

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

**SPORTİF HAREKETLER YAPAN BİR SPORCUDA ÜST EKSTREMITENİN**  
**KİNEMATİK VE KİNETİK ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Yıldırım KARAYEL**

**Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği**  
**Programı: Konstrüksiyon ve İmalat**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Faruk KARACA**

**TEMMUZ-2018**

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

**SPORTİF HAREKETLER YAPAN BİR SPORCUDA ÜST EKSTREMİTENİN**  
**KİNEMATİK VE KİNETİK ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Yıldırım KARAYEL**  
**152143104**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 27/06/2018**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 12/07/2018**

**Tez Danışmanı :** Dr. Öğr. Üyesi Faruk KARACA (Fırat Ü.)  
**Diğer Jüri Üyeleri:** Doç. Dr. Ulaş ÇAYDAŞ (Fırat Ü.)  
Dr. Öğr. Üyesi Zülküf DEMİR (Batman Ü.)



**TEMMUZ-2018**

## ÖNSÖZ

Tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında ve yürütülmesinde ilgi ve destegini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Faruk KARACA' ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarında bilgi ve tecrübelerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, tezimin oluşmasında bana fazlasıyla yardımcı olan Sayın hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Engin ÜNAL' a teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her anında maddi ve manevi destegini benden esirgemeyen, sabır ile eğitim hayatımda bana yol gösteren aileme tüm kalbimle teşekkür ediyorum.

**Yıldırım KARAYEL**  
**ELAZIU – 2018**

## İÇİNDEKİLER

|                                                         |           |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| ÖNSÖZ .....                                             | II        |
| İÇİNDEKİLER.....                                        | III       |
| ÖZET .....                                              | V         |
| SUMMARY .....                                           | VI        |
| ÇEKİLLER LİSTESİ.....                                   | VII       |
| TABLolar LİSTESİ .....                                  | XVIII     |
| <b>1. GİRİÇ .....</b>                                   | <b>1</b>  |
| 1.1. Konunun Önemi.....                                 | 1         |
| 1.2. Protez Kolların Çeşitleri ve Kontrolü .....        | 1         |
| 1.3. Günümüz Protezlerinde Karşılaşılan Zorluklar ..... | 2         |
| 1.4. Protez Teknolojisinin Literatür Araştırması .....  | 3         |
| <b>2. KOLUN ANATOMİSİ HAKKINDA BİLGİ .....</b>          | <b>15</b> |
| 2.1. Humerus .....                                      | 15        |
| 2.2. Os radialis .....                                  | 15        |
| 2.3. Os ulna .....                                      | 16        |
| 2.4. Üst Ekstremité.....                                | 17        |
| 2.5. Üst Ekstremité Kemikleri Eklemleri.....            | 18        |
| 2.6. Üst Ekstremité Kaslar .....                        | 22        |
| 2.6.1. Kol ön bölge kasları .....                       | 23        |
| 2.6.2. Kol arka bölge kasları .....                     | 23        |
| <b>3. İNSAN KOLUNUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ .....</b>      | <b>24</b> |
| 3.1. İnsan Kolunun Uzunlukları.....                     | 24        |
| 3.2. İnsan Kolunun Hareket Kabiliyetleri.....           | 25        |
| 3.3. İnsan Kolunun Dayanımı .....                       | 27        |
| 3.4. İnsan Vücutu Modelinin Oluşturulması .....         | 29        |
| 3.5. Uzun Kütlelerinin Hesaplanması .....               | 30        |
| 3.6. Uzun Boylarının Hesaplanması .....                 | 30        |
| 3.7. Uzun Kütle Merkezlerinin Belirlenmesi .....        | 31        |
| <b>4. HAREKETLERİN ANALİZİ .....</b>                    | <b>32</b> |
| 4.1. Barfiks Çekme Hareketi.....                        | 32        |
| 4.1.1. Omuz.....                                        | 32        |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 4.1.2. Dirsek.....              | 41         |
| 4.1.3. Bilek.....               | 49         |
| 4.2.1. Omuz.....                | 58         |
| 4.2.2. Dirsek.....              | 66         |
| 4.2.3. Bilek.....               | 75         |
| 4.3. Kürek ekme Hareketi ..... | 83         |
| 4.3.1. Omuz.....                | 83         |
| 4.3.2. Dirsek.....              | 92         |
| 4.3.3. Bilek.....               | 100        |
| 4.4. 7ınav ekme Hareketi.....  | 109        |
| 4.4.1. Omuz.....                | 109        |
| 4.4.2. Dirsek.....              | 117        |
| 4.4.3. Bilek.....               | 126        |
| <b>5. SONUÇLAR.....</b>         | <b>135</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>           | <b>145</b> |

## ÖZET

Bu çalışmada, Solidworks programı yardımıyla insan el-kol mekanizması şematik olarak üç boyutlu çizilecek ve Solidworks Motion menüsü ile insan kolunun barfiks çekme hareketi, dambıl kaldırma hareketi, kürek çekme hareketi ve şınav çekme hareketi gibi bazı sportif hareketler sırasındaki kinematik analiz olarak konum, hız, ivme ve sarsılma değerleri kinetik analiz olarak eklemlere etkiyen kuvvet, moment ve güç şekillerle beraber analiz edildi.

Son olarak Solidworks Motion yardımıyla yapılan kinematik ve kinetik analizlerin değerleri irdelenerek sonuçlar kıyaslanacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** İnsan kolu uzunlukları, İnsan kolu dayanımı, İnsan kolu ağırlık merkezi

## SUMMARY

### **Kinematic and kinetic analysis of the upper extremity in a sporting athlete**

In this study, with the aid of the Solidworks program, the human hand-arm mechanism will be schematically drawn in three dimensions and the position, speed, and speed of the kinematics analysis of some sporting movements such as the bar pull action, dumbbell action, rowing action and push- acceleration and shaking values were analyzed together with force, torque and force shapes acting on the joints as kinetic analysis.

Finally, the values of the kinematic and kinetic analyzes performed with the help of Solidworks Motion will be examined and the results will be compared.

**Key Words:** Human body length, Human body strength, Human body weight center

## ÇEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çekil 2.1. Kol kemikleri ve omuz kemeri.....                                                                     | 16 |
| Çekil 2.2. Üst ekstremita a.) Üst ekstremitenin önden görünüşü, b.) Omuzun üstten görünüşü.....                  | 17 |
| Çekil 2.3. Üst ekstremitenin kemikleri. ....                                                                     | 19 |
| Çekil 2.4. Scapula (kürek kemigi) hareketleri Rotasyon. ....                                                     | 20 |
| Çekil 2.5. Scapula (kürek kemigi) hareketleri Protraksiyon ve retraksiyon. ....                                  | 20 |
| Çekil 2.6. Kolun omuz eklemindeki hareketleri .....                                                              | 21 |
| Çekil 2.7. Ön kolun hareketleri, a.) Dirsek ekleminde fleksiyon ve ekstansiyon, b.) Pronasyon ve supinasyon..... | 21 |
| Çekil 2.8. Bilek ekleminde elin hareketleri .....                                                                | 22 |
| Çekil 3.1. İnsan kolunun dayanım şekilleri .....                                                                 | 27 |
| Çekil 3.2. İnsan vücudunun sagittal düzlemdeki eklem – uzuv modeli ve eklem açıları .....                        | 29 |
| Çekil 4.1. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının Solidworks ile gösterimi.....               | 33 |
| Çekil 4.2. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının konum-zaman grafiği .....                   | 33 |
| Çekil 4.3. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının hız-zaman grafiği.....                      | 34 |
| Çekil 4.4. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ivme-zaman grafiği .....                    | 34 |
| Çekil 4.5. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının sarsılma-zaman grafiği .....                | 35 |
| Çekil 4.6. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının tork-zaman grafiği.....                     | 36 |
| Çekil 4.7. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının kuvvet-zaman grafiği .....                  | 36 |
| Çekil 4.8. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının moment-zaman grafiği.....                   | 37 |
| Çekil 4.9. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ötelenme momenti-zaman grafiği .....        | 37 |

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çekil 4.10.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının açısai moment-zaman grafigi.....             | 38 |
| <b>Çekil 4.11.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafigi.....   | 39 |
| <b>Çekil 4.12.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının açısai kinetik enerji-zaman grafigi.....     | 39 |
| <b>Çekil 4.13.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafigi.....     | 40 |
| <b>Çekil 4.14.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının güç-zaman grafigi.....                       | 40 |
| <b>Çekil 4.15.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının Solidworks ile gösterimi .....             | 41 |
| <b>Çekil 4.16.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının konum-zaman grafigi.....                   | 42 |
| <b>Çekil 4.17.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının hız-zaman grafigi.....                     | 42 |
| <b>Çekil 4.18.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ivme-zaman grafigi.....                    | 43 |
| <b>Çekil 4.19.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının sarsılma-zaman grafigi.....                | 43 |
| <b>Çekil 4.20.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının tork-zaman grafigi.....                    | 44 |
| <b>Çekil 4.21.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının kuvvet-zaman grafigi.....                  | 45 |
| <b>Çekil 4.22.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının moment-zaman grafigi.....                  | 45 |
| <b>Çekil 4.23.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ötelenme momenti-zaman grafigi.....        | 46 |
| <b>Çekil 4.24.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının açısai moment-zaman grafigi.....           | 47 |
| <b>Çekil 4.25.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafigi..... | 47 |
| <b>Çekil 4.26.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının açısai kinetik enerji-zaman grafigi.....   | 48 |

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çekil 4.27.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafiği.....  | 48 |
| <b>Çekil 4.28.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının güç-zaman grafiği.....                    | 49 |
| <b>Çekil 4.29.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının Solidworks ile gösterimi .....             | 50 |
| <b>Çekil 4.30.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının konum-zaman grafiği.....                   | 50 |
| <b>Çekil 4.31.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının hız-zaman grafiği.....                     | 51 |
| <b>Çekil 4.32.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ivme-zaman grafiği.....                    | 51 |
| <b>Çekil 4.33.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının sarsılma-zaman grafiği.....                | 52 |
| <b>Çekil 4.34.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının tork-zaman grafiği.....                    | 53 |
| <b>Çekil 4.35.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının kuvvet-zaman grafiği.....                  | 53 |
| <b>Çekil 4.36.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının moment-zaman grafiği.....                  | 54 |
| <b>Çekil 4.37.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ötelenme momenti-zaman grafiği.....        | 54 |
| <b>Çekil 4.38.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının açışal moment-zaman grafiği.....           | 55 |
| <b>Çekil 4.39.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafiği..... | 56 |
| <b>Çekil 4.40.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının açışal kinetik enerji-zaman grafiği.....   | 56 |
| <b>Çekil 4.41.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafiği.....   | 57 |
| <b>Çekil 4.42.</b> Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının güç-zaman grafiği.....                     | 57 |
| <b>Çekil 4.43.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının Solidworks ile gösterimi .....            | 58 |

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çekil 4.44.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının konum-zaman grafiği.....                   | 59 |
| <b>Çekil 4.45.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının hız-zaman grafiği .....                    | 59 |
| <b>Çekil 4.46.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ivme-zaman grafiği.....                    | 60 |
| <b>Çekil 4.47.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının sarsılma-zaman grafiği .....               | 60 |
| <b>Çekil 4.48.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının tork-zaman grafiği.....                    | 61 |
| <b>Çekil 4.49.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının kuvvet-zaman grafiği.....                  | 62 |
| <b>Çekil 4.50.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının moment-zaman grafiği .....                 | 62 |
| <b>Çekil 4.51.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ötelenme momenti-zaman grafiği.....        | 63 |
| <b>Çekil 4.52.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının açılal moment-zaman grafiği.....           | 64 |
| <b>Çekil 4.53.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafiği..... | 64 |
| <b>Çekil 4.54.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının açılal kinetik enerji-zaman grafiği.....   | 65 |
| <b>Çekil 4.55.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafiği.....   | 65 |
| <b>Çekil 4.56.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının güç-zaman grafiği.....                     | 66 |
| <b>Çekil 4.57.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının Solidworks ile gösterimi .....           | 67 |
| <b>Çekil 4.58.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının konum-zaman grafiği.....                 | 67 |
| <b>Çekil 4.59.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının hız-zaman grafiği.....                   | 68 |
| <b>Çekil 4.60.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ivme-zaman grafiği.....                  | 68 |

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çekil 4.61.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının sarsılma-zaman grafiği.....                                  | 69 |
| <b>Çekil 4.62.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının tork-zaman grafiği.....                                      | 70 |
| <b>Çekil 4.63.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının kuvvet-zaman grafiği .....                                   | 70 |
| <b>Çekil 4.64.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının moment-zaman grafiği.....                                    | 71 |
| <b>Çekil 4.65.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ötelenme momenti zaman grafiği .....                         | 71 |
| <b>Çekil 4.66.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının açısıl moment-zaman grafiği.....                             | 72 |
| <b>Çekil 4.67.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafiği.....                   | 73 |
| <b>Çekil 4.68.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının açısıl kinetik enerji-zaman grafiği.....                     | 73 |
| <b>Çekil 4.69.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafiği.....                     | 74 |
| <b>Çekil 4.70.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının güç-zaman grafiği.....                                       | 74 |
| <b>Çekil 4.71.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının Solidworks ile gösterimi .....                                | 75 |
| <b>Çekil 4.72.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının konum-zaman grafiği.....                                      | 76 |
| <b>Çekil 4.73.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının hız-zaman ..... grafiği bilek kısmının hız-zaman grafiği..... | 76 |
| <b>Çekil 4.74.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ivme-zaman grafiği.....                                       | 77 |
| <b>Çekil 4.75.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının sarsılma-zaman grafiği.....                                   | 77 |
| <b>Çekil 4.76.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının tork-zaman grafiği.....                                       | 78 |
| <b>Çekil 4.77.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının kuvvet-zaman grafiği.....                                     | 79 |

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çekil 4.78.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının moment-zaman grafiği.....                  | 79 |
| <b>Çekil 4.79.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ötelenme momenti-zaman grafiği.....        | 80 |
| <b>Çekil 4.80.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının açısıl moment-zaman grafiği.....           | 81 |
| <b>Çekil 4.81.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafiği..... | 81 |
| <b>Çekil 4.82.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının açısıl kinetik enerji-zaman grafiği.....   | 82 |
| <b>Çekil 4.83.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafiği.....   | 82 |
| <b>Çekil 4.84.</b> Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının güç-zaman grafiği.....                     | 83 |
| <b>Çekil 4.85.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının Solidworks ile gösterimi .....                  | 84 |
| <b>Çekil 4.86.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının konum-zaman grafiği.....                        | 84 |
| <b>Çekil 4.87.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının hız-zaman grafiği.....                          | 85 |
| <b>Çekil 4.88.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ivme-zaman grafiği.....                         | 85 |
| <b>Çekil 4.89.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının sarsılma-zaman grafiği.....                     | 86 |
| <b>Çekil 4.90.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının tork-zaman grafiği.....                         | 87 |
| <b>Çekil 4.91.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının kuvvet-zaman grafiği.....                       | 87 |
| <b>Çekil 4.92.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının moment-zaman grafiği.....                       | 88 |
| <b>Çekil 4.93.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ötelenme momenti-zaman grafiği.....             | 88 |
| <b>Çekil 4.94.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının açısıl moment-zaman grafiği.....                | 89 |

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çekil 4.95.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafiği.....     | 90 |
| <b>Çekil 4.96.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının açısal kinetik enerji-zaman grafiği.....       | 90 |
| <b>Çekil 4.97.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafiği.....       | 91 |
| <b>Çekil 4.98.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının güç-zaman grafiği.....                         | 91 |
| <b>Çekil 4.99.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının Solidworks ile gösterimi .....               | 92 |
| <b>Çekil 4.100.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının konum-zaman grafiği .....                   | 93 |
| <b>Çekil 4.101.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının hız-zaman grafiği .....                     | 93 |
| <b>Çekil 4.102.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ivme-zaman grafiği .....                    | 94 |
| <b>Çekil 4.103.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının sarsılma-zaman grafiği .....                | 94 |
| <b>Çekil 4.104.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının tork-zaman grafiği .....                    | 95 |
| <b>Çekil 4.105.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının kuvvet-zaman grafiği.....                   | 96 |
| <b>Çekil 4.106.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının moment-zaman grafiği .....                  | 96 |
| <b>Çekil 4.107.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ötelenme momenti-zaman grafiği .....        | 97 |
| <b>Çekil 4.108.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının açısal moment-zaman grafiği .....           | 98 |
| <b>Çekil 4.109.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafiği ..... | 98 |
| <b>Çekil 4.110.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının açısal kinetik enerji-zaman grafiği .....   | 99 |
| <b>Çekil 4.111.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafiği .....   | 99 |

|                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Çekil 4.112.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının güç-zaman grafiği .....                    | 100 |
| <b>Çekil 4.113.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının Solidworks ile gösterimi.....               | 101 |
| <b>Çekil 4.114.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının konum-zaman grafiği .....                   | 101 |
| <b>Çekil 4.115.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının hız-zaman grafiği .....                     | 102 |
| <b>Çekil 4.116.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ivme-zaman grafiği .....                    | 102 |
| <b>Çekil 4.117.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının sarsılma-zaman grafiği .....                | 103 |
| <b>Çekil 4.118.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının tork-zaman grafiği .....                    | 104 |
| <b>Çekil 4.119.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının kuvvet-zaman grafiği.....                   | 104 |
| <b>Çekil 4.120.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının moment-zaman grafiği .....                  | 105 |
| <b>Çekil 4.121.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ötelenme momenti-zaman grafiği .....        | 105 |
| <b>Çekil 4.122.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının açısıl moment-zaman grafiği .....           | 106 |
| <b>Çekil 4.123.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafiği ..... | 107 |
| <b>Çekil 4.124.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının açısıl kinetik enerji-zaman grafiği. ....   | 107 |
| <b>Çekil 4.125.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafiği .....   | 108 |
| <b>Çekil 4.126.</b> Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının güç-zaman grafiği .....                     | 108 |
| <b>Çekil 4.127.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının Solidworks ile gösterimi.....                | 109 |
| <b>Çekil 4.128.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının konum-zaman grafiği .....                    | 110 |

|                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Çekil 4.129.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının hız-zaman grafigi .....                     | 110 |
| <b>Çekil 4.130.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ivme-zaman grafigi .....                    | 111 |
| <b>Çekil 4.131.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının sarsılma-zaman grafigi .....                | 111 |
| <b>Çekil 4.132.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının tork-zaman grafigi .....                    | 112 |
| <b>Çekil 4.133.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının kuvvet-zaman grafigi .....                  | 113 |
| <b>Çekil 4.134.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının moment-zaman grafigi .....                  | 113 |
| <b>Çekil 4.135.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ötelenme momenti-zaman grafigi .....        | 114 |
| <b>Çekil 4.136.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının açısai moment-zaman grafigi .....           | 115 |
| <b>Çekil 4.137.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafigi ..... | 115 |
| <b>Çekil 4.138.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının açısai kinetik enerji-zaman grafigi. ....   | 116 |
| <b>Çekil 4.139.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafigi. ....   | 116 |
| <b>Çekil 4.140.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının güç-zaman grafigi .....                     | 117 |
| <b>Çekil 4.141.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının Solidworks ile gösterimi.....             | 118 |
| <b>Çekil 4.142.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının konum-zaman grafigi .....                 | 118 |
| <b>Çekil 4.143.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının hız-zaman grafigi .....                   | 119 |
| <b>Çekil 4.144.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ivme-zaman grafigi .....                  | 119 |
| <b>Çekil 4.145.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının sarsılma-zaman grafigi .....              | 120 |

|                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Çekil 4.146.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının tork-zaman grafigi .....                    | 121 |
| <b>Çekil 4.147.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının kuvvet-zaman grafigi.....                   | 121 |
| <b>Çekil 4.148.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının moment-zaman grafigi .....                  | 122 |
| <b>Çekil 4.149.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ötelenme momenti-zaman grafigi .....        | 122 |
| <b>Çekil 4.150.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının açısai moment-zaman grafigi .....           | 123 |
| <b>Çekil 4.151.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafigi ..... | 124 |
| <b>Çekil 4.152.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının açısai kinetik enerji-zaman grafigi. ....   | 124 |
| <b>Çekil 4.153.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının toplam kinetik enerji zaman grafigi.....    | 125 |
| <b>Çekil 4.154.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının güç-zaman grafigi .....                     | 125 |
| <b>Çekil 4.155.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının Solidworks ile gösterimi.....                | 126 |
| <b>Çekil 4.156.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının konum-zaman grafigi .....                    | 127 |
| <b>Çekil 4.157.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının hız-zaman grafigi .....                      | 127 |
| <b>Çekil 4.158.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ivme-zaman grafigi .....                     | 128 |
| <b>Çekil 4.159.</b> Çınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının sarsılma-zaman grafigi .....                 | 128 |
| <b>Çekil 4.160.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının tork-zaman grafigi .....                     | 129 |
| <b>Çekil 4.161.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının kuvvet-zaman grafigi .....                   | 130 |
| <b>Çekil 4.162.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının moment-zaman grafigi .....                   | 130 |

|                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Çekil 4.163.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ötelenme<br>momenti zaman grafiği.....         | 131 |
| <b>Çekil 4.164.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının açışal<br>moment-zaman grafiği .....           | 132 |
| <b>Çekil 4.165.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ötelenme<br>kinetik enerji-zaman grafiği ..... | 132 |
| <b>Çekil 4.166.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının açışal kinetik<br>enerji-zaman grafiği. ....   | 133 |
| <b>Çekil 4.167.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının toplam kinetik<br>enerji-zaman grafiği. ....   | 133 |
| <b>Çekil 4.168.</b> ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının güç-zaman<br>grafiği .....                     | 134 |

## TABLÖLER LİSTESİ

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 3.1.</b> Ortalama bir insan kolunun uzunlukları .....    | 24 |
| <b>Tablo 3.2.</b> Ortalama bir insan kolu hareket kabiliyeti..... | 25 |
| <b>Tablo 3.3.</b> Ortalama bir insan kolu hareket kabiliyeti..... | 26 |
| <b>Tablo 3.4.</b> İnsan kolunun dayanımı.....                     | 27 |
| <b>Tablo 3.5.</b> İnsan kolunun dayanımı.....                     | 28 |
| <b>Tablo 3.6.</b> İnsan kolunun dayanımı.....                     | 28 |



## **1. GİRİÇ**

### **1.1. Konunun Önemi**

İş kazaları, trafik kazaları, hastalık ve askeri personellerin terörle mücadele gibi sebeplerden insanların yitirmiş olduğu kol ve el kaybı kişilerde psikolojik sorunlara neden olabilmektedir. İkinci Dünya Savaşı'ndan bu yana hastalık, savaş ve kazalarda kol ve bacaklarını yitiren kişiler, uzun yıllar tasarımı neredeyse hiç değişmeyen protezlerle idare etmek zorunda kalmışlardır. Bu protezler kişinin sadece görsel yönden eksikliğini gidermekte ancak gerçek bir insan kolu hareketini yerine getirememektedir. Ayrıca insanların bu sebeplerden uzuv kaybına uğraması günlük hayatında çeşitli zorluklara ve aksamalara sebep olmaktadır. Bu durumlarda insanların gündelik hayatını sürdürmek için normal el-kol mekanizmasının yapabileceği hareketleri minimum düzeyde yapabilen bir proteze ihtiyacı olmuştur. Günlük ihtiyaçlarını gidermenin yanı sıra kol ve elin kullanımıyla birlikte kişiye psikolojik destek sağlanmıştır. Amaç uzuvlarını yitiren kişileri topluma yararlı birey haline getirmektir. Benzer çalışmaların hayata geçirilmesiyle ülkeye sağlanacak maddi ve manevi katkı şüphesiz büyük olur. Ayrıca bu çalışma alanı gelecek nesillere bilim alanında teşvik edici olacaktır [1,2].

### **1.2. Protez Kolların Çeşitleri ve Kontrolü**

Hastanın günlük hayatında protez kolu rahatlıkla kullanılabilmesi için bir kontrol sistemi oluşturulmalıdır. Konvansiyonel protezler vücut gücüyle çalışan protezlerdir. Eksternal Güçlü-Myoelektrik protezler protezin soketi içine yerleştirilmiş elektrotlar tarafından kontrol edilir. Elektrotlar cilde temas eder. Güdük içinde kalan kaslarda oluşturulan istemli kası sonucu oluşan kas aksiyon potansiyellerini saptar. Saptanan elektriksel sinyal amplifiye edilir ve yöneltir. Elektrik motorunu çalıştırarak istenen fonksiyonu oluşturur. Motor, elektrot ve pil içerdiğinden normal protezlerden daha ağırdır.

Ağır olması nedeniyle hasta tarafından kabul edilmeyebilir [3]. Pasif-Kozmetik amaçlı protezler bunlar kişinin kaybettiği uzvun görünümünü tamamlamak amacıyla kullanılır [3].

Günümüzde yaygın olarak kullanılan protez çeşidi görsel yani pasif protezlerdir. Pasif protezler herhangi bir serbestlik derecesine sahip olmamalarına rağmen hafif ve gerçek uzva benzediği için yaygın olarak kullanılır. Konvansiyonel protezler pasif yani

görsel protezlerden farklı olarak tek veya iki serbestlik dereceli protezlerdir. Bu protezlerin uçlarına genelde “hook” ismi verilen bir el takılır ve bu el kablolar vasıtasıyla kişinin omuzunu hareket etmesiyle çalışır. Diğer bir protez çeşidi ise myoelektrik sensörüyle çalışan protezlerdir. Bu protez kişinin kalan uzvuna sensörler bağlanır ve bu sensörler kopma olayından sonra kalan kaslardaki hareketleri algılayarak kontrol sistemine sinyaller gönderir. Kontrol sistemi bu sinyalleri işler ve kişinin yapmak istediği hareketleri motorlar sayesinde yapmayı sağlar. Yüzeye elektrotları ile verimli bir şekilde çalışan kollar yapılmıştır. Yapılan bir başka çalışmayla birlikte yüzey elektrotları yerini kalan kaslarda yerleştirilen başka bir tabirle enjekte edilen 1,5 mm çapındaki myoelektrik sensörlere bırakılmıştır. Bu sistemde en büyük sorun sensörlerin güç ihtiyacıdır. Fakat bu sorun kalan sensörlerin içine bobin yerleştirilmesiyle çözülmüştür. Dışarıdan bobine yollanan elektriksel sinyallerle sensörün elektrik ihtiyacı karşılanmış olur. Bu yolla kontrol edilebilen eller geliştirilme sürecindedir [3].

### **1.3. Günümüz Protezlerinde Karşılaşılan Zorluklar**

Protez kolların insana adaptasyonunda gelişen teknolojiye rağmen zorluklar devam etmektedir. En büyük zorluklardan biri protezin kontrolüdür. Kişinin protezi kontrolü için çeşitli nedenlerle kopan uzuvdan kalan kısımdaki artık kasların üzerine yapıştırılanların yüzey elektrotları ya da basınç sensörleri ile kişinin yapmak istediği hareket anlaşılmaktadır. Bu teknikte kişi bir hareketi yapmak için sanki kolu varmış gibi düşünmesi istenerek kişinin herhangi bir hareketi yapması istenmektedir. Böylece kalan uzuvdaki kalan kaslar hareket geçecek ve bu sayede kişinin yapmak istediği hareket anlaşılmış olacaktır. Diğer önemli bir problemde protezin vücuda bağlanmasıdır. Vücuttaki kalan uzva bağlanan protezler kalan uzvun zamanla daha da incelmesine sebep olmaktadır. Yapay uzvun gerçeğine benzer hale gelmesini sağlamanın bir yolu da onu vücuda sabitlememiyor, yalnızca “giyilebiliyor” olmasıdır. Buda bazı sorunlar doğuruyor. Örneğin, protezin yuvası terden veya sürtünmeden hasar görebiliyor. Ayrıca hafif bir gevşeme kontrol ve güç kaybına yol açabiliyor. Araştırmacılar, bağları sıkarak sağlamlaştırmak yerine, yapay kol veya bacağı iskelete doğrudan bağlamanın daha doğru olduğunu düşünüyor [4].

İsveç, Gothenburg’daki Sahlgrenska Teaching Üniversitesi Hastanesi’nden Rickard Branemark’ın başkanlığında bir ortopedist grubu dış implantlarında kullanılan teknige

benzer bir sistem üzerine de çalışıyor. Bilim ekibi hastanın kol ve bacağında arta kalan kemiklere titanyum uzantılar implant ederek deriden 2 cm dışarıya uzanan destekler bırakıyorlar. Protez uzuv bu desteye bağlanıyor. Herhangi bir bagıntı yuvasına gerek bırakmayan bu sistem, yapay kol ve bacağın kolayca takılıp çıkartılmasını kolaylaştırırken ana eklem hareketlerine de engel olmuyor. Bu sistem şuanda deneme safhasındadır. Kullanılan hareketlilik ve rahatlık açısından şansıda vardır. Ancak deriden dışarı taşan destegin çevresine enfeksiyon oluşma riski sorun yaratabiliyor. Bundan başka zaten zayıf olan arta kalan kemikler üzerlerine binen ilave yük ile daha da kırılğan hale geliyor. University College London'dan Gordon Blunn liderliğindeki bir İngiliz ekibi enfeksiyon sorununu titanyum implantlara gözenek açarak çözümlediklerini bildiriyor. Deri, kas ve kemik dokusu, gözeneklerden destegin içine ve çevresine doğru gelişerek vücut ile daha sıkı bağlar oluşturuyor. Yapay bacak ve kolu vücudun gerçek bir uzantısı haline getirdikten sonra sıra protezi doğrudan sinir sistemine bağlamaya geliyor. Bu sayede beyin sinyallerini yakalamak, gerçek zamanda şifresini çözmek ve proteze yönlendirmek anlamına geliyor. Ayrıca protezden çıkan duyuşal girdinin merkezi sinir sistemine geri gönderilmesi gerekiyor [4].

#### **1.4. Protez Teknolojisinin Literatür Araştırması**

Son yıllardaki teknolojik gelişmelere paralel olarak protez teknolojisindeki gelişmeler meydana gelmiştir. Gerek görüntüsü gerekse işlevi ile gerçeğine çok benzer hale getirilmiş yapay kol ve bacaklar, laboratuvarlardan çıkıp, kullanıcıların hizmetine girmeye başlamıştır. İmdiye kadar insan eli üzerine yapılan çalışmalar neticesinde yapısı, ağırlığı ve işlevi itibariyle insan eline çok benzeyen mekanik eller yapılmıştır [1,2]. Bugün hastalık veya kaza sonucu bacağın yitirmiş bir insan akıllı bir yapay bacaga sahip olabiliyor. Üretilen yeni protez bacaklar içerdikleri ‘‘akıllı’’ yazılım sayesinde kullanıcının yürüme hızını öğreniyor ve farklı zeminlere göre uyum sağlıyor [1,2].

Massachusatts Institute of Technology'deki Biyomekanik Grubu başkanı Hugh Herr ‘‘Bacaklarını yitirmiş olanlar daha yavaş yürür ve daha fazla metabolik enerji harcar, kaldı ki düz zeminde bile dengeleri çok sağlam değildir’’ der. Bu soruna çözüm getirmek için Hugh Herr'in ekibi ‘‘iWalk PowerFootOne’’ adını verdiği protez ayak tasarladı. Bu protez ayak, Elektrik motoru ve tendona benzer yaylardan yararlanarak kullanıcının öne doğru ivme kazanmasını sağlıyor veya yavaşlatıyor [5].

Bunlar ayak bileğinin konumunu ölçen iki mikro işlemci ve altı sensör tarafından kontrol ediliyor. Çok hızlı bir gelişme gösteren protez teknolojileri yalnızca daha güçlü ve daha esnek organların yolunu açmakla kalmıyor; aynı zamanda dokunmaya duyarlı bir derinin ve beyin tarafından kontrol edilebilen uzuvların üretimine de yeşil ışık yaktıyordu [5].

Kol veya bacağı yitirmiş bir hastayı, eskisinden daha hızlı ve güçlü hale getirmek artık zor değildir. Kas, kemik ve bacak kaybının yarattığı olumsuzlukların tarihe karışması bekleniyor. Bütün bu gelişmelere rağmen kol protezleri ne yazık ki bacak protezlerine oranla daha yavaş bir gelişme kaydediyor. Bunun nedenlerinden biri kol ve el kaybının bacak kaybı kadar yaygın olmamasıdır. Ayrıca kollar daha küçüktür ve hareket alanı bacaklardan daha geniştir. Bu nedenle gerçek bir kolu taklit edecek yapay bir protezin içine gerekli olan donanımı sığdırmak çok zordur. Ayrıca kollardaki serbestlik dereceleri arttıkça boyutu ve ağırlığı artmaktadır ve kullanılan malzemelerin seçiminde robot kollarının tasarımında önemli bir parametresi olmuştur. Geliştirilen son protez kollar biyonik olarak isimlendirilmeye başlanmıştır [5].

Bireyin kalan uzuvlarındaki kaslardan alınan sinyaller sayesinde kontrol edilmiş ve bunun için kalan uzuvlarındaki kasların üzerine yüzey elektrotları yerleştirilmiştir. Bunlardan biri touch bionik firmanın ürettiği “ilimb” isimli biyonik koldur. ?imdiye kadar yapılan protezlerde sadece başparmak ve diğer iki parmak işlev görüyordu. Bu protezde ise bütün parmaklar birbirinden bağımsız olarak çalışabilir. Parmakları birbirinden bağımsız olarak oynatabilen kol, tenis topunu rahatça kavrayabiliyor. Protez kol herhangi bir ameliyata gerek kalmadan vücuda monte edilebilir. Beyinden alınan komutlar kolun kopan kısmına kadar gelebiliyor. Bu komutlar elektronik bir alet yardımıyla proteze aktarılıyor ve protez bu komutlara göre hareket ediyor [5].

Günümüzde en başarılı biyonik kollardan bir tanesi de Dean Kamen tarafından yapılan “Luke Arm” isimli biyonik koldur. Amerika İleri Savunma Araştırma Projeleri Dairesi (DARPA) tarafından finanse edilmiş [5]. Irak ve Afganistan’da meydana gelen patlamalarda kol ve bacaklarını yitirmiş savaş gazilerinin sayılarının artması DARPA’nın bu alana öncelik vermesinin en önemli nedenidir. DARPA’da son yıllarda düşünce kontrollü biyonik kol tasarımına yaklaşık olarak 50 milyon dolarlık bütçe ayrılmıştır. Luke Arm, kullanıcının el sıkmasına, kilidin içinde anahtarı döndürmesine ve kahve çekirdeği gibi küçük nesneleri tutabilecek kadar hassas hareketleri yapabilmesine olanak tanıyor. Myoelektrik sensörler veya ayakkabının içine giyilebilen ayak kontrollü joystick ile

kontrol ediliyor. Dokunsal geri besleme, kullanıcının derisine tutturulmuş, salınım yapan küçük bir motordan geliyor. Bu motor kavrama gücü yükseldikçe daha yüksek bir frekansta titreşim yapıyor [5].

Bu cihazlar ne kadar gelişmiş olursa olsun, daha aşılması gereken çok sayıda engel mevcuttur. Örneğin kullanıcının kemiklerine ve sinir sistemine doğrudan bağlanan bir protez, vücudun ayrılmaz bir parçası olarak doğal bir uzantı haline gelebilmelidir. Gerçekçi yapay bir deri protezin vücudun doğal uzantısı haline getirilmesinde çok önemli bir rol oynuyor. ?uanda görüntü açısından çok iyi bir deri kaplama malzemesi geliştirilmiştir. Derinin üzerindeki gözenekler ve kıllar doğal görünümü tamamlıyor. Fakat bu deri henüz dokunsal geri besleme özelliğine sahip değildir [5].

Son yıllarda gelişen teknoloji ile insan kolunun kinetik ve kinematik analizi hakkında daha detaylı araştırmalar ve daha gelişmiş çözümler bulmak için de çeşitli çalışmalar yapılmıştır [6].

Insanın uzuv eksiklerini gidermek amacıyla yapılmaya başlanan bilimsel çalışmalar günümüzde daha ileriye giderek insanların bu uzuv kayıplarını önlemek için tehlikeli işlerde veya günlük hayatta insanlara yardımcı olmak amacıyla insanların hareket kabiliyetleri dikkate alınarak uzuv kontrolünü sağlamak ve gerektiğinde hızlı hareket etmek amacıyla dinamik tabanlı kontrol,ile kolun engel olan yerlerde çalışacağı durumlar için ters dinamik kontrol modeli için ters kinematik hesaplanmasında sözde ters jakobiye kullanılmış ve yazılım olarak C++ ile Python kullanılmıştır. C++ ile Python gibi uygulamalarda kullanılabilen kütüphane ve araçları barındıran bir açık kaynaklı işletim sistemi olan ROS (Robot İşletim Sistemi) kullanılmıştır [7]. Ayrıca ters kinematik çözüm yöntemi ile oluşturulan çözüm örneklerinden oluşan veri setleri ve MATLAB Neural Network Toolbox yapay sinir ağı elde edilip ileri bir seviyeye taşınmıştır [8].

Son yıllarda özellikle elektronik elemanların küçülmesiyle ve malzeme teknolojisinin gelişmesi kol teknolojisinin insan hayatına daha kolay adapte olmasını sağlamıştır. İnsan kolunun özellikleri, dayanım ve performansına göre üretilen bu yapay kollar insanların günlük hayat ihtiyacını gidermek için büyük umut olmuştur [9].

Doğal frekans ve mod şekillerini türetmek için insan el-kol sisteminin bir sonlu eleman (FE) modeli sunarak insan el-kol sisteminin geliştirilmiş sonlu elemanlar modellerinin [10], el-kol titreşim mekanizmasının farklı bileşenleri için uygun frekans ağırlıklarının elde edilmesine yardımcı olabileceği, el-kol yaralanma mekanizması ortaya çıkarılabileceği gösterilmiştir [11].

İnsan koluna uygulanan kuvvetlerin etkisi altında ölçülen elektromiyografi (EMG) sinyalleri el-kol kontrolünde kullanılması amputasyona uğramış insanların doğal el hareketlerine ve görünümüne sahip olmasını sağlamaktadır [12].

Bazen kas gücüyle yapılmayacak kuvvetteki işleri de yapabilmek için insan kolunda yer alan kaslara bağlanan elektrotlar yardımıyla alınan sinyallerin (EMG) elektronik devreler ve yazılımlarla insan kolunun hareketlerinin kodları çıkarılmış ve insan kolu kemiklerinden hareket ve kavrama kabiliyetinden yola çıkılmıştır [13].

İnsan el-kol mekanizmasına gerçekçi bir yaklaşımla uç boyutlu modeli oluşturulup karpal kemikleri, ligamalar ve eklem bölgelerindeki yük dağılımları incelenmiştir [14].

İnsan el-kol mekanizması Makine ve Mekanizma anabilim dalında biyomekanige girmekte ve bu alanda konu ile ilgili bir çok çalışma yapılmaktadır [15].

Yapılan çalışmaların birinde, doğal frekansları ve mod şekillerini türetmek için insan el-kol sisteminin bir Sonlu Eleman (FE) modelini sunulmuştur. FE modeli, Operasyonel Modal Analiz (OMA) ve aktarılabirlik kullanılarak analiz edilen deneysel titreşimden elde edilen modal parametreler dikkate alınarak kalibre edilmiştir. FE modelinin modal ve harmonik analizleri iki sınır koşulu için gerçekleştirilmiştir. Birincisi sabit omuz koşulunu düşünürken, ikincisi omuz hareketine izin vermek için gövde tanıtılmış. Sonuçlar, ikinci modelin omuz hareketine izin veren doğal frekanslarının, ölçümlerden belirlenenlerle karşılaştırılabilir olduğunu gösterilmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçları, insan el-kol sisteminin geliştirilmiş sonlu eleman modellerinin el-kol yaralanması mekanizmasını ortaya çıkarabileceğini göstermiştir. El-kol titreşim sendromunun farklı bileşenlerinin değerlendirilmesi için uygun frekans ağırlıklarının türetilmesinde yardımcı olabilir [16].

Başka bir çalışmada uzatılmış el-iletimli titreşimlere (HTV) maruz kalan işçiler üzerine yapılan birçok epidemiyolojik çalışma, genellikle el-kol titreşim sendromu (HAVS) olarak adlandırılan vasküler, sensorinöral ve kas-iskelet sistemi bozuklukları gibi çeşitli zararlı etkileri ortaya çıkarmıştır [17]. Bu, titreşime maruz kalan insan el-kol sisteminin dinamik özellikleri ve HTV'ye uzun süre maruz kalma ile ilişkili potansiyel yaralanmanın değerlendirilmesi konusunda araştırma çabalarına ilham vermiştir [18].

Bu araştırma çabaları, HTV'ye mesleki maruziyetle ilişkili sağlık sorunlarının daha iyi anlaşılmasını sağlamış ve HTV'nin etkilerini ölçmek, değerlendirmek ve hafifletmek için birçok Uluslararası Standart'a yol açmış olsa da, titreşimlerden kaynaklanan el-kol yaralanma mekanizması henüz tam olarak değildir [19]. Ayrıca, mevcut ISO 5349-1 [20]

kılavuzları ve epidemiyolojik çalışmalara [17,19,21] dayanan yaralanma değerlendirmeleri arasında önemli tutarsızlıklar bulunulmuştur.

Güvenilir bir el-kol modelinin geliştirilmesi, insan el-kol sisteminin rapor edilen biyodinamik özelliklerinde varyasyonları azaltabilir ve el-kol yaralanması mekanizmasının anlaşılmasını geliştirebilir. İnsan el-kolu, tekdüze olmayan, doğrusal olmayan, anizotropik ve kompozit bir sistem olmasına rağmen, el-kol alt yapılarının biyodinamik tepkilerini ve enerji emilim özelliklerini karakterize etmek için giriş-parametresi modelleri ve giriş teorisine dayanan sürekli model geliştirilmiştir [22]. Çalışmaların yazarları, toplanmış modellerin sürekli parmak-el-kol sistemini temsil etmediğini ve lokasyona özgü yanıtları doğru şekilde tahmin edemeyeceğini kabul etmişlerdir [22]. Yakın zamanda yapılan bir çalışma [23], hem Kol-Nokta Mekanik Empedansı (DPMI) hemde el-kol kolu duruşları ve anatomik yapı göz önüne alındığında iletilebilirlik yanıtlarından türetilen el-kol sisteminin biyomekanik modellerini sunmuştur. Son zamanlarda yapılan bir ön çalışma, sonlu elemanların (FE) modellerin, titreşime maruz kalan insan el-kolunun yaralanma mekanizmasını ve el-kol rezonans frekanslarının güvenilir bir şekilde tanımlanmasını anlamak için gerekli hayati bilgiyi sağlayabileceğini öne sürmektedir [24].

İnsan el-kol sisteminin sonlu eleman modelinin, rezonans frekanslarının ve el-kol sisteminin mod şekillerinin güvenilir bir şekilde belirlenmesini sağlamak amacıyla yapılan bir çalışma, insan el-kolunun farklı alt yapılarının doğal frekanslarını ve mod şekillerini belirlemek için el-kol sisteminin sonlu eleman (FE) modelini sunmuştur [24].

İnsan el-kol mekanizmasının iki boyutlu sonlu elemanlar (FE) modelinin modal ve harmonik analizleri ANSYS programı yardımıyla yapılmış ve sonucunda insan el-kol modelinin farklı alt yapılarda gerilme ve şekil değiştirme dağılımı elde edilmiştir [16].

İnsan kolunun eklem açılarını hesaplamak içinde çeşitli yöntemler üzerine çalışılmıştır. Bunlardan biri Ters kinematik Algoritma 'ydı [25]. Jacobian kontrol metodu ve ters kinematik beklenenden daha yavaş sonuçlar verince bunların yanında başka yöntemler araştırılmıştır [26,27,28,29]. Analitik ve geometrik hesaplamalar kullanarak insan kolunun hareketini karakterize eden eklem açılarını hesaplamak için yeni bir algoritma önerilmiştir. İnsan kolu hareketi ve robot hareketi arasındaki eşleştirmeleri tanımlamak için özel bir platform oluşturulmuş ve elde edilen açılardan insan kolu hareketi (Kinect sensör tarafından gözlemlenir) daha sonra önceden tanımlanmış eşleştirmeler kullanılarak dönüştürülmüş ve robota yüklenmiştir. Böylelikle robot insan hareketini taklit etmiş ve artık çok fazla eğitime gerek kalmadan kolayca kontrol edilebilmiştir [30].

Başka bir çalışmada, sagittal düzlemde hareket eden bir insan kolunun yörünge izleme kontrolü, sinir ağı haritalaması, evrimsel hesaplama ve dinamik sistem kontrolü kombinasyonu ile disiplinler arası bir yaklaşımla incelenmiştir [31].

Robotik operasyonların performansını geliştirmek için insani kontrol stratejilerinin kullanılma avantajı üzerinde çalışılmıştır. Kontrol teorilerinin nöro fizyolojiye bir bakış açısı kazandırmak için kullanılması uzun geçmişe sahip olmasına rağmen, son beş yılda insan kol hareketlerini modelleme ve kontrol etme konusunda geniş çaplı araştırma faaliyetleri olmuştur. Hiyerarşik model [36], nöral ağ [32,37,40], optimal kontrol [39], adaptif kontrol [33,38], yinelemeli öğrenme [35] ve bu yöntemlerin [41] kombinasyonları, insan kolunun çeşitli hareket kontrolleri üzerine çalışılmıştır.

İnsansı makinelerin tasarımı için ve musculo iskelet müdahalelerinin dışarı çıkma tahminlerinin tahmin edilmesi için birçok uygulama mevcuttur. Bir çalışmada, izometrik el kuvvetlerine yanıt olarak kol konumunu tahmin edebilmek ve araştırmak için ters dinamik yöntem uygulanmış ve Any Body Modelleme Sistemi (AMS) kullanılarak üç boyutlu bir musculo iskelet modeli yapılmıştır [42].

Kas-iskelet modellemesi ve dijital mankenler ortopedi [43,44], sakatlanma [45], ergonomi [46,47,48] ve endüstriyel tasarım gibi çeşitli alanlarda kritik rol oynarlar [49]. Aynı zamanda doğal kinematik için, dijital insan modelleri ya deneysel kinematik tarafından ya da konum hareketlerini tahmin etme yeteneğine sahip olmalıdır. Bu sebeple, izometrik el kuvvetlerinde doğal insan kolu postür değişimlerini tahmin etmek için bir optimizasyon tabanlı musculo iskelet analizi tekniğinin geçerliliğini araştırılmıştır ve merkezi sinir sisteminin (CNS) izometrik el yüküne tepki olarak insan kolu duruşlarının kontrolünün temel bir anlayışına katkıda bulunulmuştur [42].

Ters dinamiklere dayalı formülasyonda, kinematik serbestlik derecesi, bir optimizasyon probleminin bağımsız parametreleri olarak kabul edilir. İyileştirici, optimum postüral konfigürasyonu üretmek için bu parametreleri tanımlar. Performans kriterine ve fizyolojik, anatomik ve çevresel kısıtlamalara tabidir. Bu fikir Rasmussen ve arkadaşları [50] tarafından tanıtılmış ve daha sonra diğer araştırmacılar tarafından [51,52] “ters ters dinamikler” adı altında kullanılmıştır. Daha yakın zamanda, Davoudabadi Farahani ve ark. (2014), Kestirimsel Dinamikleri olarak da bilinen bu tekniği kullanarak pedal çevirmenin kinematikini ve kinetikini tahmin etmiştir [53].

Izometrik el yüklerine yanıt olarak glenohumeral abduksiyon açısının (GHAA) öngörülmesindeki performans kriterleri olarak karesel kas aktivitesi (SSMA) toplamının ve

karesel normalleştirilmiş eklem momentlerinin (SSNJT) toplanmasının geçerliliği araştırılmıştır [42].

İnsansı robotlarda yapılan araştırmalar, Leonardo da Vinci döneminden beri başlamıştır [54]. O zamandan beri, özel şirketler ve üniversiteler tarafından geliştirilen insansı robotlar var. Olan mobil insansı robotlar arasında Waseda Üniversitesi'nün TWENDY-ONE [55], Karlsruhe Institute of Technology'nin ARMAR III [56], Bonn Üniversitesi'nin Dynamaid [57] ve Carnegie Mellon Üniversitesi'nden Snackbot [58] geliştirilmiştir. Bu platformlar çok gelişmiş yeni geliştirilmiş mobil robotla karşılaştırmakla birlikte, bir insanın basitliği ve temel işlevi vardır [59].

Son yıllarda, özellikle engelli, minyatür bilgisayar ve elektronik sistemler ve sensörler olmak üzere robot teknolojilerini, engelliler için akıllı hareketlilik yardımcılarını geliştirmek amacıyla araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırma temel olarak kör ve fiziksel hareketlilik sorunları olan bireylerin ihtiyaçları [60,62]. Çok az çalışma, yaşlıların sorunlarına değindi. Yürüme yeteneğine sahip olmayan insanlar için bir dizi akıllı tekerlekli sandalye tipi yardım malzemesi tasarlanarak çalışmada yaşlılara yardımcı olmak için yeni bir mobil insansı robot tasarlanmış ve insansı robot, nesneleri tanımak için görsel bir sensörle donatılmıştır [61,62]. Mobil platformun alt kısmına yerleştirilen Laser Range Finder, engelleri tespit etmeyi mümkün kılmış ve hedef nesneyi belirledikten sonra, robot nesneye doğru hareket etmeye başlamış ve ardından kavrama hareketi oluşturulurken kinematik, mekatronik ve robotik özellikler ele alınmıştır. Amaç, yaşlılara yardım etmek ve insanlarla hastane veya ev gibi gerçek ortamda etkileşimli çalışmak için mobil insansı robotu kullanmak olmuştur. Bununla birlikte, daha önce geliştirilmiş sistemlerin çoğu yaşlıların çevrede gezinmesine yardımcı olur. Yaşlılara yardımcı olmak için yeni bir üst gövde mobil insansı robotu önerilmiştir. İnsan hareketinin temelini ve yeterli ev işlerini yapmak için üst ekstremitenin, daha fazla esneklik ve hareketlilik bir mobil platforma eklenmiştir. Mobil platform, bir çift bacak üzerindeki stabilite ve sadeliğine dayanarak seçilmiştir [59].

Robotun manipülasyonu ve manevra kabiliyeti bilgisayar mimarisine ve yazılıma bağlıdır. MATLAB, USB konektörü üzerinden kontrol panosu ile ara yüz oluşturma esnekliği ve yeteneği için kullanılır. Kart 8 dc motor, 6 servo motor ve 6 potansiyometre okuyabilmek için uyumludur ve bilgisayar ile mobil robot arasında arayüz sağlar [59].

1970'li yıllardan beri yakın-erimli fotogrametrik (close-range photogrammetry) yöntemler biyomekaniksel hareket analizlerinin temelini oluşturmaktadır. Braune ve

Fischer gibi biyomekanikğin öncüleri insan hareketi araştırmaları için yüksek hızlı foto?ekil yöntemler önermiş, gelişen sayısal elektronik ve bilgisayar teknikleri ile beraber insan hareketlerinin incelenmesi için yeni ufuklar açmışlardır [63]. Tüm fotogrametrik veri toplama sistemleri, ister sinemato?ekil isterse optoelektronik veya röntgeno?ekil olsun, elde edilmek istenen verileri iki boyutlu (2B) alıcı yardımıyla kaydeder. Ancak, insan hareketi genelde bir düzlem yerine 3B bir uzayda gerçekleşir. Hareket analizi için gerekli olan 3B uzaysal konum bilgisini elde edebilmek için, ilgilenilen hareketin en az eşzamanlı iki farklı görüntüsüne gereksinim vardır. Bu iki farklı görüntüden 3B uzaysal konum bilgisine geçiş, ‘Dogrudan Dogrusal Dönüşüm’ (DDD) (Direct Linear Transformation) yönteminin geliştirmesiyle sağlanmıştır. Görüntü ile uzaysal konum arasındaki matematiksel ilişkiyi eşleyen DDD yönteminde, bilinen en az altı uzaysal kontrol noktasına göre görüntü kalibrasyonu gerçekleşir. Günümüzde birçok ticari yazılım bu matematiksel dönüşüm metodunu uygulayarak 2B görüntülerden 3B uzaysal konum bilgilerini elde etmektedir [64]. Günlük yaşamda veya sportif amaçla gerçekleştirilen tüm hareketler açısal değişiklikler içerir. Aynı zamanda, bu hareketler sadece bir değil, birak açısal alanı da içerir. Dolayısıyla, hareketler meydana geldikleri eklemlerin özelliklerine göre farklı düzlemlerde oluşurken, bu düzlemlerde farklı açısal dilimleri içerir. Oluşan açısal değişiklikler ise, biyomekanikte kinematikğin bir alt dalı olan açısal kinematik alanında incelenir. Açısal kinematik ile yapılan değerlendirmeler ve elde edilen sonuçlar, sporcuların gerçekleştirdikleri hareketlerin analiz edilmesinde, sporcuların ve antrenörlerin kendilerini geliştirmesinde ve yeni tekniklerin yaratılmasında yardımcı olur [65].

Masa tenisi, bılardo ve dart gibi teknik becerilerin ön planda olduğu spor branşlarında küçük değerler ile ölçülebilen kinetik değişkenler, halter, boks ve güreş gibi kuvvetin yoğun olarak gözlemlendiği spor branşlarında oldukça büyük değerlere ulaşabilir. Kinematik değişkenler için de benzer durumlar söz konusudur. Örneğin; körling ya da bocce gibi dallarda sporcuların kullandıkları objeler, okçuluk ya da atıcılıkta kullanılanlardan çok daha yavaş hızda hareket ederek hedeflerine ulaşır. Kinetik değişkenlerin ölçülmesinde araştırmacıların en çok başvurdugu ölçüm araçları kuvvet platformları ve yük hücreleridir. Kinematik değişkenlerin gözlenebilmesi, hareket takibine dayanır. Çeşitli ölçüm araçları ile yapılan hareket izleme süreci sonunda, cisimlerin ne kadar hızlı, ne kadar uzaga ve ne kadar yükseğe gittiği gibi bilgiler sağlanmış olur.

Ayrıca cisimlerin pozisyonları, vektörel hızları ya da ivmeleri de kinematik ölçümler ile belirlenir. Yüksek hızlı görüntü yakalama sistemleri kinematik ölçümler için en çok

kullanılan yöntemler arasındadır. Ancak teknolojik gelişmeler ile birlikte farklı sensörler yardımıyla hareketi takip etmek mümkün hale gelmiştir. İvmeölçerler, jiroskoplar, manyetometrelerden oluşan sistemler, görüntüye ihtiyaç duymadan kinematik ölçümler yapabilmektedir. Performansın geliştirilmesinde, tekniğin, fiziksel yapı veya fizyolojik kapasiteden daha baskın olduğu spor ve etkinliklerde biyomekanik biliminin daha kullanışlı olduğu görülmektedir [66].

Üst düzey sporcular tarafından uygulanan zorluk derecesi yüksek hareketler çoğu zaman anatomik ve fizyolojik sınırları zorlar. Bunun yanında, performans sınırlarının sürekli zorlandığı günümüz sporlarında bu hareketler, doğru uygulandığında bile çoğu zaman sakatlanma riski taşır. İşte bu noktada, hareket analizi, spor ve sağlık alanları arasında bir köprü görevi yapar. Gerek profesyonel gerekse amatör düzeyde spor yapan bireylerde yapılan hareket analizi çalışmaları, araştırmacılara hem hareket hem de hareketi uygulayan hakkında birçok bilgi sağlar. Elde edilen bilgilerin olması gerektiği düşünülenlerle karşılaştırılması sonucu ortaya çıkan fark, araştırmacılara yapılan hareketin doğruluktan ne kadar uzakta olduğuna dair fikir verir. Bu uzaklık ya da daha basit şekliyle hata; teknik, dengesiz kas kuvveti, yanlış ekipman gibi birçok etmen nedeniyle oluşabilir. Hangi nedenden kaynaklanıyor olursa olsun, ortaya çıkan bu istenmeyen durumun er ya da geç olumsuz sonuç vermesi kaçınılmazdır. Atletik performans açısından bakıldığında, hata miktarı fazla olan sporcu için iki olasılık söz konusudur. Bunlardan ilki, sporcunun istenen performans düzeyine ulaşamayacak olmasıdır. İkincisi ise; eğer yapılan hata anatomik açıdan bir uygunsuzluk nedeniyle ortaya çıkıyorsa, örneğin yanlış koşu tekniği nedeniyle alt ekstremit eklemlerine olması gerekenden fazla ağırlık etki ediyorsa, büyük ihtimalle sporcunun kısa ya da uzun vadede bir sakatlık veya travma yaşamasının muhtemel olmasıdır. Bahsedilen olumsuz durumlar ortaya çıkmadan önce yapılacak hareket analizleri, hem performansı arttırmada hem de sağlığın korunmasında büyük önem taşır. Sağlık açısından bakıldığında ise, hareket analizinin rolü bu noktadan sonra da büyük önem taşır. Özellikle sakatlıkların tedavi ve rehabilitasyon süreçlerinde yapılan hareket analizleri bir kontrol mekanizması gibi çalışarak, öncelikle tedavinin başarısı hakkında bilgi verirken, sonrasında rehabilitasyon sürecinin verimli şekilde tamamlanmasını sağlar. Nicel ve nitel yaklaşımlar, hemen her alanda olduğu gibi hareket analizi çalışmaları içinde uygulanabilir. Nicel yaklaşımlar, vücut ya da vücut bölümlerinin hareketlerini sayısal veriye dönüştürerek incelenmesini sağlar. Örneğin, araştırmacı bir vücut bölümünün hareketlerini belirli zaman aralıklarında takip ederek, bu bölümün ne kadar hızlı hareket

ettigini bulabilir. Bu yaklaşımın en önemli avantajlarından birisi, tercih edildiğinde subjektif tanımlamalardan uzaklaşılmasıdır. Ayrıca, araştırmacıya istenen veriyi yüksek hassasiyetle inceleme olanakı tanır. Ancak veri sayısallaştırmada kullanılan donanım göz önüne alındığında, bu yöntemin oldukça pahalı ve zaman alıcı bir yöntem olduğu anlaşılır. Buna rağmen, özellikle gözün görmekte zorlandığı hareket türlerinde nicel yaklaşım kullanılması en doğru yaklaşımdır. Biyomekanikte nitel yaklaşım ise, hareketi sayısal ifadeler kullanmadan tarif etmektir.

Bu yaklaşım daha çok konunun uzmanları tarafından becerinin kritik noktalarının belirlenmesi amacıyla kullanılır. Hareket analizi, hareketli bir mekanizmadaki tüm bileşenlerin kinematigi (konum, hız ve ivme dahil) ve dinamigi (eklem tepkileri, eylemsizlik kuvvetleri ve güç gereksinimleri dahil) hakkında nicel bilgiler sağlar. Hareket analizinin amacı, normal hareketi bireysel farklılıklardan bağımsız sayısal verilerle ifade edebilmek ve normalden farklı hareketi, bu farklılığın altında yatan neden veya işlevsel uyum ile ilişkilendirebilmektir. Sporda hareket analizi günümüzde hem laboratuvar hem de sahada gerçekleştirilebilir. Ancak, spor branşına özgün küçük farklılıkların belirlenmesinde teknolojinin sınırlarının bulunduğu göz ardı edilmemelidir. Saha ölçümleri büyük oranda kamera görüntülerine dayanır. Kuvvet platformunun sahada sınırlı kullanılabilmesi araştırma çalışmalarının önünde önemli bir engeldir. İnsan hareketinin büyük bölümü bilinçli olarak öğrenildikten sonra bu bilgiler beynin bazal gangliyonunda otomatikleşir. Bu nedenle spor etkinliklerinde yanlış yapılan otomatikleşmiş hareketin düzeltilmesi oldukça güçtür. Özellikle genç yaşlarda, motor becerinin yeni öğrenildiği süreçte, erken alınan önlemler bu sorunu ortadan kaldırabilir. Bu yüzden, motor beceri gerektiren teknik oluşumların en iyi şekilde tanımlanması ve uygulama alanına aktarılması gerekir. Spor alanında başarılı olmak ve olası yaralanmaları önleyebilmek için hareketin doğru öğrenilmesi ve sporcuya öğretilmesi gerekir [67]. Sporda hareket analizi, sporcunun uyguladığı becerinin karakterini değerlendirirken performansını geliştirici bilgilerin edinilmesine yardımcı olur. Bu yöntem ayrıca spora bağlı yaralanmanın önlenmesine de yardımcı olabilir. Sporcu sağlığı ekibinin en önemli sorumluluklarından birisi, her düzeyde sporcunun yaralanmalardan korunmasını sağlamaktır. Hem bireysel hem de takım sporlarında önemli olan karmaşık hareket paternlerinin değerlendirilmesinde fiziksel bakı ya da gözlem ile yeterli olmaz. Ancak, sporcuların yaralanma risklerinin değerlendirilmesi son derece önemli olup, fizik muayene bulgularının yanı sıra oyun taktiklerinin değerlendirilmesi, zamana bağımlı hareket analizi ve pozisyon izleme (takip) sistemi

kullanılarak da yapılır [68]. Gözlem yolu ile yapılan takipteki soruları aşabilmek ve oyuncuların en uygun pozisyonda oynatılması amacıyla, doksanlı yılların başlarında video-kamera görüntüleme yöntemleri kullanılmıştır.

Daha sonraları, hentbol, basketbol, skuaş ve tenis gibi sporlarda oyuncuların hareketlerinin geniş ölçekli analizi için geliştirilmiş ve yüksek güvenilirliği olan bilgisayar-görsel tabanlı “kuş-gözü kamera konumlamalı” (Sagit) sistemler kullanılmaya başlanmıştır [5,6]. Video teknolojisindeki gelişmeler sayesinde, oyuna ve oyuncuya hiçbir müdahalede bulunmaya gerek kalmadan kayıt alabilmek mümkün hale gelmiştir [69,70]. Ancak, erken dönem hareket analizi sistemleri, yalnızca sportif aktivite esnasında en çok tekrarlanan fiziksel aktivitelerin değerlendirilmesi üzerinde durmuştur. Bu sistemler, aktivite sırasında, özellikle de temas ve yoğun fiziksel aktivite gerektiren sporlar dallarında, orcunun fiziksel yeterliliği hakkında fikir vermekte oldukça yetersiz kalır. Bu sistemler kullanılarak ani yön değişim hızı, hızlanma ve yavaşlama oranının ve koşu paternlerinin değerlendirilmesi imkansızdır. Bu yönü ile sporcunun tam olarak değerlendirilmesinde eksik ve yetersiz kalmaktadır. Teknik, taktik, fiziksel ve fizyolojik etmenlerden etkilenen spor aktivitelerinde fiziksel hareket sistemi kullanılır. Her sporcunun kendine özgü farklı yeteneği olduğu, bu yeteneklerin teknik ve fizyolojik değişimlerden etkilendiği unutulmamalıdır. Kuvvet, güç, hız, cesaret ve dayanıklılık gibi diğer bireysel farklılıkların, planlanmış ve tekrarlı eğitimle değiştirilmesi sporcunun başarısını arttırabilir [71]. Sporda hareket analizi, tarihsel süreç içerisinde yaşayan canlıların hareketlerinin incelenmesi amacıyla ortaya çıkan teknolojiden yararlanılarak geliştirilmiştir [72].

Son yıllarda gelişen teknoloji ile artık sporda, sahada da ölçüm yapma olanagı vardır. Yürüyüş analizi laboratuvarları dışında, özellikle spor alanına hizmet eden ve belirli amaçlar doğrultusunda çalışma alanları özelleşmiş laboratuvarlar bulunur. Bu laboratuvarlarda, sporcuların yaptıkları her türlü hareketi ortaya koymak için çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Özellikle eklem ve kasların biyomekanik ve anatomik analizleri yapılmıştır [73]. Teknolojinin ilerlemesine paralel olarak dijital fotogrametrik yöntemlerle imaj analizlerinin üç boyutlu (3B) analizi, birçok vücut hareketinin değerlendirilmesine yeni bir boyut kazandırmıştır [74]. Bu literatür ışığında gerçekleştirilen medikal çalışmalar, sporcuların karşılaşılabilecekleri birçok patolojik predispoze etmenin teşhis ve tedavisinde fotogrametrik yöntemlerin geçerliliğini doğrular [75].

Bununla birlikte, yapılan literatür taraması sonucu, birçok spor dalıyla ilgili hareketlerin 3B analizlerinin henüz ortaya koyulamadığı tespit edilmiştir [76].

Temel olarak hareket, bir cismin duragan bir noktaya göre yer değiştirmesi olarak tanımlanır. Biyolojik varlıkların hareketlerini mekanik prensipler kullanarak açıklamaya ve değerlendirmeye çalışan bilim disiplinine ise biyomekanik adı verilir [77]. Bir başka deyişle, biyomekanik fiziksel hareketlerin sayısal veriye dönüştürölerek incelendiği bir disiplin olarak ifade edilebilir. Ana unsuru hareket olması nedeniyle ölkemizde terim olarak hareket analizi, biyomekanik ile sıklıkla anlamdaş olarak kullanılır [66]. Hareket analizinin veri çeşitliliğini büyük oranda kuvvet ve kuvvete bağlı kinetik değişkenler ile daha çok görsel verilerin sayısallaştırılması sonucu ortaya çıkan kinematik değişkenler oluşturur [66].

Bu çalışmanın amacı insan el-kol mekanizmasının barfiks çekme, dambıl kaldırma, kürek çekme ve şınav çekme gibi bazı sportif hareketler sırasında insan el-kol mekanizmasındaki omuz, dirsek ve bilek kısımlerinin kinematik olarak konum, hız, ivme ve sarsılma analizini, kinetik olarak kuvvet, moment, enerji ve güç değişimlerini inceleyerek gelecekte yapılacak olan çalışmalara yardım etmektir.

## **2. KOLUN ANATOMISI HAKKINDA BILGI**

Insan bedeninde birçok hareketi ve işlevleri yapmaya yarayan ve gövdeye bağlı uzuvlara kol kemigi denir. Kol iki bölümden meydana gelir ve kol uzuvları ön kol, kol olarak adlandırılır. Omuz mafsallından dirsek kısmına kadar oluşan bölüme kol, dirsek mafsallından da ele kadar ulaşan bölüme de ön kol denir. Fakat halk arasında kol denilince iki bölüm birden kastedilir. Kol yapısı itibarı ile çeşitli yönlerde hareket ettirilebilir. Yukarı aşağı, öne arkaya, içe döngü ve dışa döngü hareketleri vardır. Bu hareketler omuz mafsallı ile bağlandığı kaslar yardımı ile yapılır[78].

Kol üzerinde hareketleri sağlayan dört kas bulunmaktadır. Bu kaslar içerisinde en önemlisi iki başlı pazu kasıdır ve ön kolun bükülmesini sağlayan kastır. Ön kol ile yapılan içe dönüş ve dışa dönüş hareketleri yapılır ve dirsek mafsallı vasıtası ile koldan başlayıp ön kol kemikleri üzerinde oluşan kaslar sayesinde hareketleri gerçekleştirir. Ön kol üzerinde toplamda 18 kas vardır. Bu kaslar el ve parmakların hareketini sağlamaktadır [78].

Kolun bütün uzuvlarında üç kemik çeşidi vardır. Bunlar;

### **2.1. Humerus**

Kol diye adlandırılan birinci uzuvda yer alır. Kolda bulunan en kalın kemik humerustur. Omuz mafsallı ile dirsek arasında tek bir parçadan oluşan bu sert kemik kolun gövde ile olan bağlantısını sağlar. Humerus'un gövde kısmına corpus humerus, üstteki ucuna ise carput humerus denir. Humerus kemiginin en çok kırılma olasılığının olduğu kısım carput humerustur. Özellikle düşmelere bağlı veya darbeler sonucunda bu bölge çok risklidir [78].

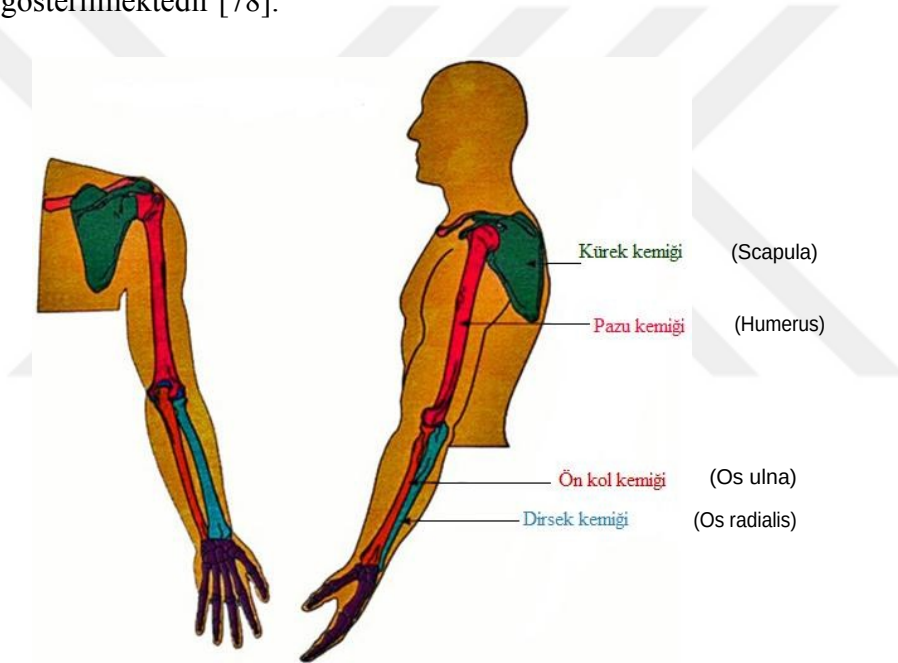
### **2.2. Os radialis**

Dirsek mafsallı ve el arasında bulunan iki kemikten birisidir. Ön kol kemigi olarak da bilinir. Bu kemigin ön kısmına Karpus Radialis denir. Üst ucu yukarıda humerus kemik ile birleşirken dirsek kemigini meydana getirir. Altı ucu ise el bileği ile bağlantıyı sağlar. El bileği ile eklemler aracılığı ile birleşir [78].

### 2.3. Os ulna

Ön kol kemiklerinden ikincisidir. Diğer birinci kemige göre uzun bir kemik olan bu kemik ön kolun iç tarafında bulunur. Kemigin gövde kısmını oluşturan bölümüne carpus ulna adı verilmiştir. Bu kemigin üst kısmında yarım ay şeklinde bir çentik vardır. Bu çentik ulnanın en çok kırılan ve zarar gören bölümüdür. Özellikle spor dalları arasında jimnastik hareketi sporları ve cirit atma, gülle atma gibi el sporlarında oluşabilir. Bu arada tekvando her ne kadar ayak sporu gibi gözükse de koruma amaçlı olarak kullanılan kollarda kırılmalara yada çatlamalara sebep olacak tehlikeli hareketleri vardır [78].

Şekil 2.1’de insan kolunun pazu kemigi ve dirsek, ön kol kemigi olarak iki bölümden oluştuğu gösterilmektedir [78].



Şekil 2.1. Kol kemikleri ve omuz kemeri [78]

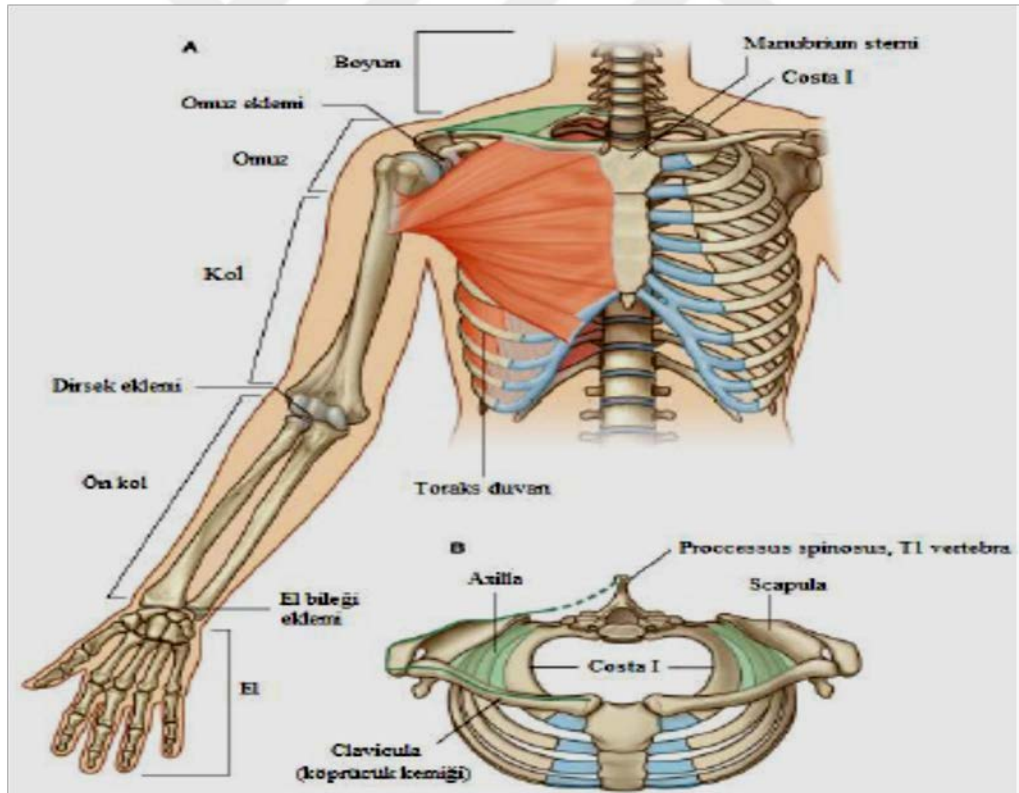
Tıp literatürü dışında ellerde kolun bir parçası gibi algılandığından el kemikleri de kol kemikleri arasına alınabilir. El kemikleri üçe ayrılır ve ossa kemigi denilen birinci kemik elin bilege bağlanmasını sağlayan kemiktir. Toplam sekiz parçadan oluşan bu kemik yuvarlak bir yapıya sahiptir. İki sıra halinde elde dizili olan bu kemik üst sırada dört alt sırada dört adet olacak şekilde sıralanmıştır. Alt sıradaki kemikler tarak kemigi dediğimiz kemikler ile birleşir. El tarak kemiklerinin adı Ossa Metacarpidir. Bu kemikler kısa kemiklerdendir. Her elde beş adet bulunan bu kemikler, bir ucu bilek kemiklerine bir ucu da parmak kemiklerine bağlanır. Parmak kemiklerini oluşturan kemiklere de Ossa

Phalanges denir. Beş parçaya bölünen bu kemigin iki parçası baş parmakta üçerli parçalar halinde diğer parmaklarda bulunur. Her bir elde on dört parmak kemigi bulunur [78].

## 2.4. Üst Ekstremité

Üst ekstremité, boynun alt bölümünün dış yan tarafı ile ilişkilidir. Gövdeye, clavícula (köprücük kemigi) ve sternum arasındaki küçük bir iskelet eklemi ve kaslarla asılıdır. Büyük eklemlerin ve ilişkide olan kemiklerin konumu temel alınarak üst ekstremité omuz, kol, ön kol ve el olarak bölünmüştür. Şekil 2.2.'da üst ekstremitéyi oluşturan kısımlar belirtilmiştir [79].

Omuz, üst ekstremitenin gövdeye tutunma bölgesidir. Kol, üst ekstremitenin omuz ve dirsek eklemi arasındaki parçasıdır. Ön kol, dirsek eklemi ve bilek eklemi arasındadır ve el, bilek eklemi distalindedir [79].



Şekil 2.2. Üst ekstremité a.) Üst ekstremitenin önden görünüşü, b.) Omuzun üstten görünüşü [79]

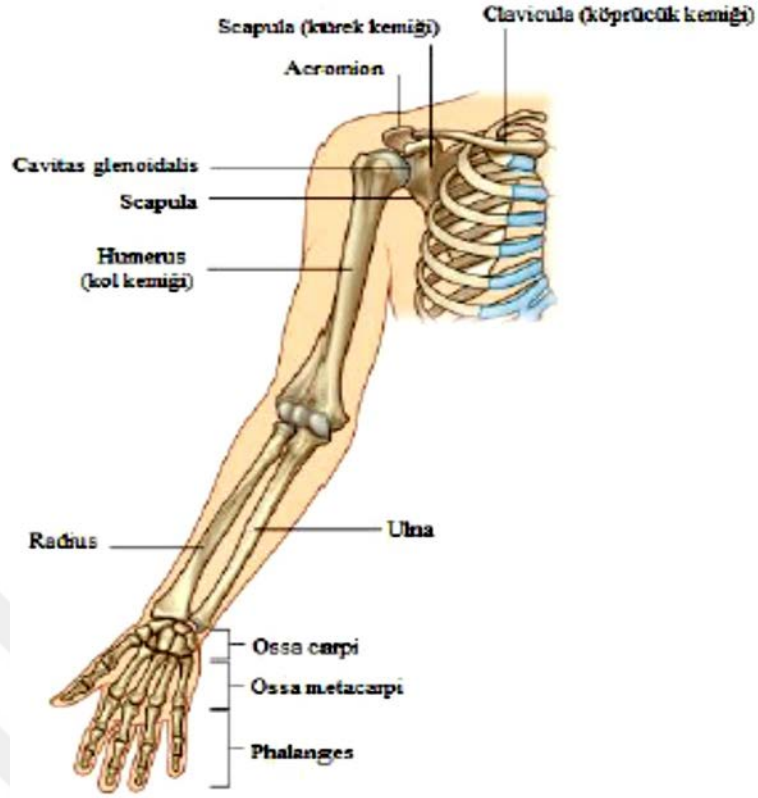
Destek, denge ve hareket için kullanılan alt ekstremiteden farklı olarak, üst ekstremitte eli konumlandırmak için yüksek oranda hareketlidir. Elin esas görevlerinden biri, objeleri kavramak ve yönlendirmektir. Objelerin kavranması genel olarak başparmaga doğru parmakların fleksiyonunu içerir. Kavramanın tipine bağlı olarak el kaslarının hareketi; ön koldan çıkan ve el parmaklarında sonlanan uzun tendonların hareketlerini düzenlemek ve ön koldan gelen uzuv fleksor ve ekstensor tendonlar tarafından meydana getirilemeyen her bir parmaktaki eklem hareketlerinin kombinasyonlarını üretmektir [79].

## **2.5. Üst Ekstremitte Kemikleri Eklemleri**

Şekil 2.3.'da görülen üst ekstremitte kemikleri clavícula (köprücük kemigi) ile başlar. 15-17 cm uzunluğunda “S” şeklinde bükülmüş bir kemiktir. Clavícula, insan iskeletinin en erken kemikleşmeye başlayan parçasıdır [79].

Scapula (kürek kemigi) üç köşeli, üç kenarlı ve ikiyüzlü yassı bir kemiktir. Humerus (kol kemigi), bütün kemiklerde olduğu gibi iki uca sahiptir. Üst uç scapula, alt uç ön kol kemikleri ile eklem yapar. Kemigin alt ucu geniş yassıdır. Ön kol kemikleri, radius ve ulna adı verilen iki kemikten meydana gelir. Bu iki kemik proksimal ve distal uçlarında birer eklem aracılığı ile birbirleriyle temas halindedirler [79].

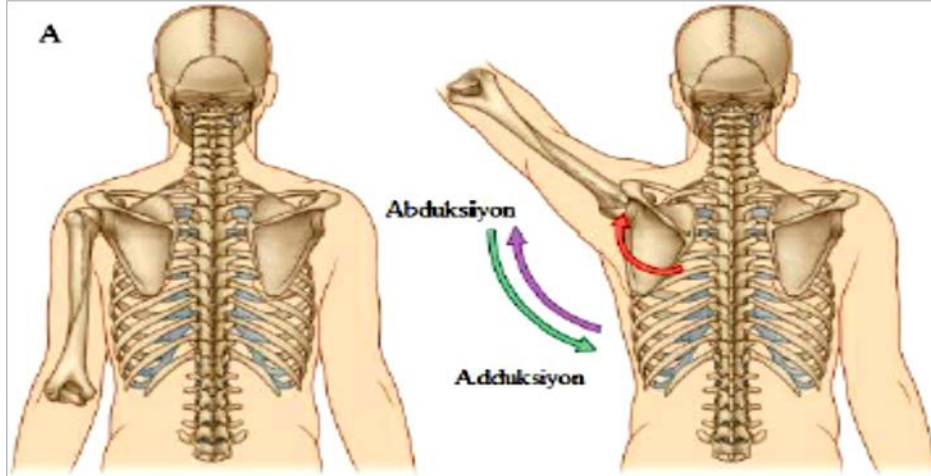
Eller üzerine dayanıldığı zaman, gövde ağırlığını taşımak bakımından her iki kemik de önemli rol oynar.



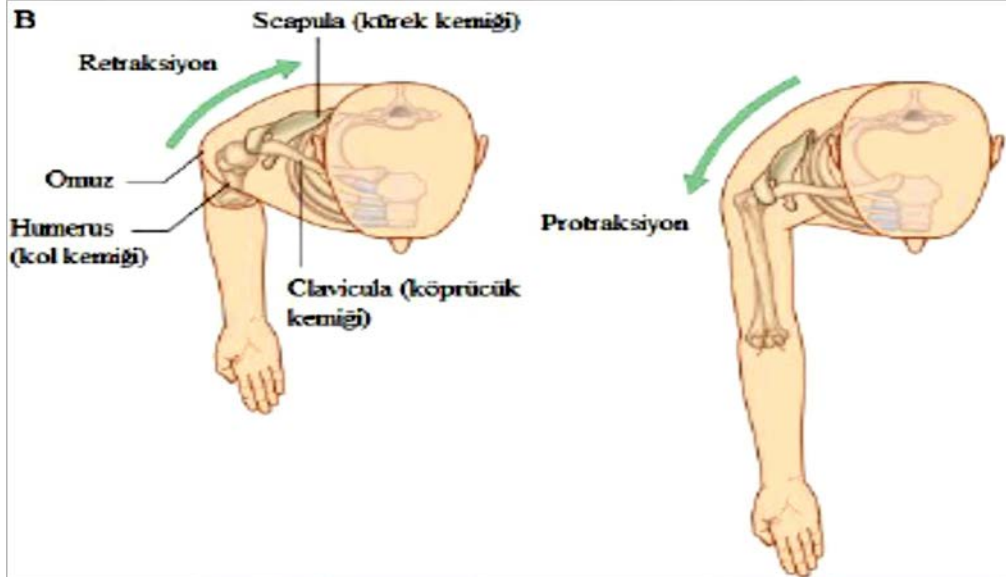
Çekil 2.3. Üst ekstremitenin kemikleri [79]

Radius'un üst ucu silindir biçimindedir ve buna radius başı denir. Radius üç yüzlü ve kenarlı olup önden arkaya basık ve aşağıya doğru geniş ve kalındır. Ulna, radiusa nazaran üst ucu kalın ve alt ucu incedir. Radius gibi ulna da üç kenarlı ve üç yüzlüdür. El iskeleti 36 eklem ile birleşmiş 27 kemikten meydana gelmektedir. El kemikleri; carpus (el bileği), metacarpus (el bileği) ve phalanges (parmak kemikleri) olmak üzere üç gruba ayrılır.

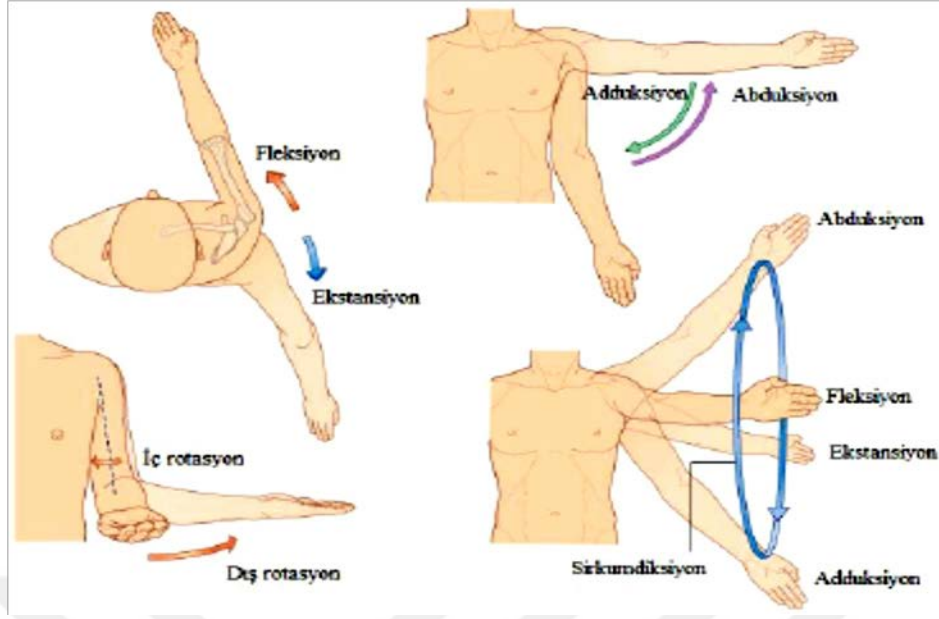
Omuz eklemi, humerus başı ile scapulanın sıg bir çukur olan glenoid çukuru arasında oluşan eklemdir. Vücudun iki küresel ekleminde biridir. Hareket kabiliyeti çok fazladır. Çekil 2.4. ve 2.5.'de kürek kemiğinin, Çekil 2.6.'da kolun hareketleri görülmektedir [79].



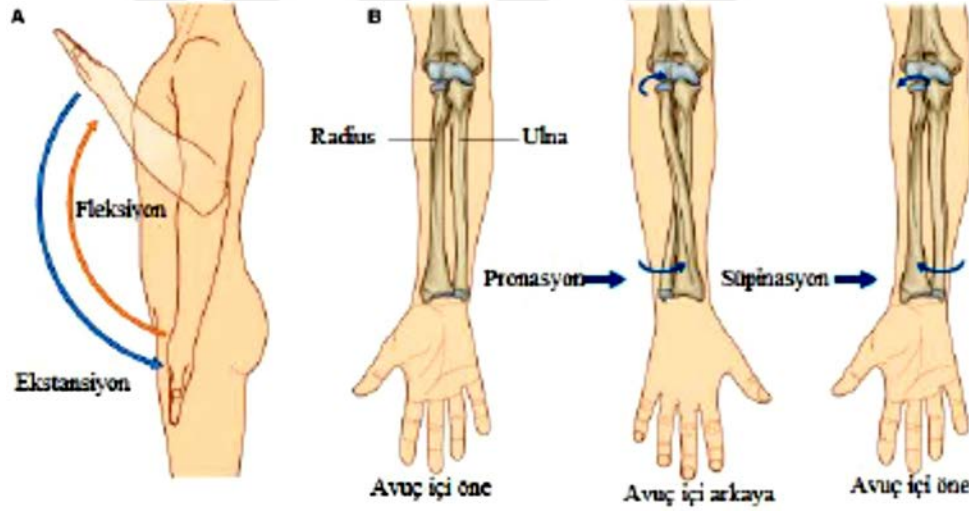
Çekil 2.4. Scapula (kürek kemigi) hareketleri Rotasyon [79]



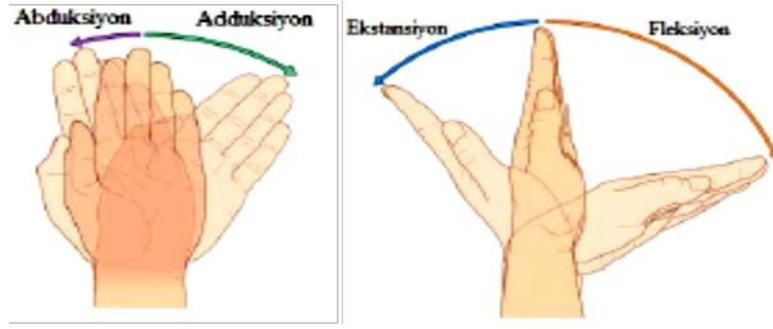
Çekil 2.5. Scapula (kürek kemigi) hareketleri Protraksiyon ve retraksiyon [79]



Çekil 2.6. Kolun omuz eklemindeki hareketleri [79]



Çekil 2.7. Ön kolun hareketleri, a.) Dirsek ekleminde fleksiyon ve ekstansiyon, b.) Pronasyon ve supinasyon[79]



**Çekil 2.8.** Bilek ekleminde elin hareketleri [79]

Dirsek eklemi, humerusun alt ucu ile radius ve ulnanın üst uçları arasında oluşan üç noktadan bağlantılı bir yapıdır. Fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerini rahatlıkla gerçekleştirebilir. Dirsek eklemi vasıtasıyla gerçekleştirilen ön kol hareketleri Çekil 2.7. ile gösterilmiştir. Çekil 2.8.'de gösterilen el bileği eklemi, radiusun alt ucu ile el bilek kemiklerinin üst sıradaki ilk üç kemigi arasında oluşur. Fleksiyon, ekstansiyon, abduksiyon ve adduksiyon hareketlerini gerçekleştirebilir [79].

## 2.6. Üst Ekstremité Kaslar

Omuz kasları, kol kasları, ön kol kasları ve el kasları olarak 4 gruba ayrılır. M. Deltoideus (deltoid kas ), omuz eklemi ön, dış ve arkadan saran kalın, üçgen şeklinde bir kaktır. Omuzun yuvarlak şeklini verir. Deltoid kas, clavicuların dış kısmı scapuların acromion çıkıntısı ve spina scapuladan ( kürek dikenini ) üç parça halinde başlar. Humerusun üst ucunun dışında sonlanır. Deltoid kas kola; fleksiyon, iç rotasyon, abduksiyon, ekstansiyon ve dış rotasyon yaptırır. Diğer omuz kasları şunlardır: M. Supraspinatus (diken üstü kas), M. Infraspinatus (diken altı kas), M. teres minor (küçük yuvarlak kas ), M. teres major (büyük yuvarlak kas), M. Subscapularis (kürek altı kası ). Kol kasları; kol ön bölgesi kasları ve kol arka bölgesi kasları olarak gruplandırılır [79].

### 2.6.1. Kol ön bölge kasları

M. Biceps Brachii (iki başlı kol kası – pazu kası) kolun ön bölümünde yer alır. Kola bir miktar fleksiyon, ön kola fleksiyon ve supinasyon (dış rotasyon) yaptırır. M. Brachialis (Korako – brakial kas) humerusun ön yüzünden başlar ulnanın üst ucunda sonlanır. İki başlı kol kasıyla sinerjist çalışır. Ön kola fleksiyon yaptırır[79]. Coracobrachialis (korako-brakial kas) kolun üst bölümü iç yanındadır. Kasıldığında kola, fleksiyon ve adduksiyon yaptırır [79].

### 2.6.2. Kol arka bölge kasları:

M. Triceps Brachii (üç başlı kol kası ) kolun arkasında bulunan üç başlı bir kastır. Kas başının biri, scapulanın glenoid çukurunun altından, diğer ikisi humerus gövdesinden başlar. Kasın ayrı ayrı başlayan üç başı birleşerek ulnanın dirsek çıkıntısında sonlanır. Ön kola ekstansiyon yaptırır.

Ön kol kasları, ön kol ön bölge, arka bölge ve dış yan kasları olarak 3 grupta incelenir. Ön bölge kasları yüzeysel ve derin olarak bulunur. Bu kaslar genellikle ön kola, ele ve parmaklara fleksiyon yaptırır. Ön kol arka bölge kasları; derin ve yüzeysel olmak üzere iki grupta incelenir. Bu kaslara ekstansor grup kasları da denir. Genellikle ele ve el parmaklarına ekstansiyon yaptırır. Ön kol dış yan kaslarının en önemlisi, brakioradial kastır.

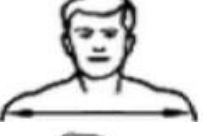
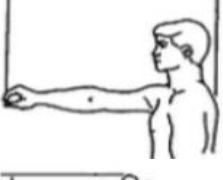
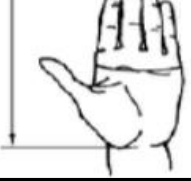
M. Brachioradialis, humerusun alt ucunun dış yan kenarından başlar, radiusun alt ucunun dış yanında sonlanır. Bu kas ön kola fleksiyon yaptırır [79].

### 3. INSAN KOLUNUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

#### 3.1. İnsan Kolunun Uzunlukları

Tabloda verilen insan kolunun uzuv boyutları ortalama 40 yaşındaki bir Amerikan erkeği için verilmiştir. Tablolarda verilen değerler binlerce insan üzerinde yapılan istatistiksel çalışmalar sonucu ortaya konmuştur. Tablo 3,1’de çalışmalardan ortaya çıkan kola ait değerler verilmiştir [80].

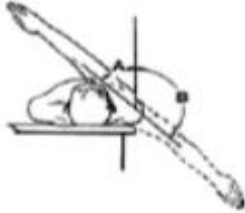
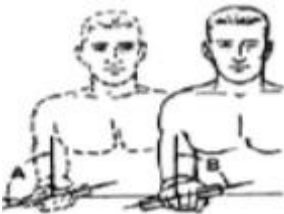
**Tablo 3.1.** Ortalama bir insan kolunun uzunlukları [80]

|                                                                                     | <b>Kolun Bölümleri</b>                    | <b>Ortalama Uzunluklar (mm)</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|
|   | <i>Omuz Dirsek Arası Uzunluk</i>          | 394                             |
|  | <i>Dirsek-Parmak Uçları Arası Uzunluk</i> | 446                             |
|  | <i>Omuzlar Arası Genişlik</i>             | 532                             |
|  | <i>Kol Uzunluğu</i>                       | 979                             |
|  | <i>Sırt-Parmak Ucu Arası Uzunluk</i>      | 882                             |
|  | <i>El Uzunluğu</i>                        | 187                             |

### 3.2. İnsan Kolunun Hareket Kabiliyetleri

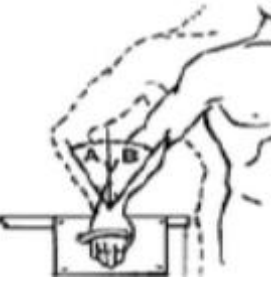
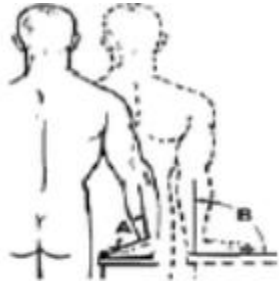
Tablo 3.2 ve Tablo 3.3’ te verilen insan kolunun hareket kabiliyetleri 40 yaşındaki ortalama bir Amerikan erkeği için verilmiştir. Bu kabiliyetler kişiden kişiye ırktan ırka, kişi kilo ve boyuna vb. özelliklere göre farklılık gösterebilmektedir. Bu tablolar bize ortalama kabiliyetleri vermektedir. Bu hareketleri insan kolu çalışma alanı olarak özetleyebiliriz. İnsan kolu gerek esnek yapısı ile gerekse kaslar yardımı ile hareket etmesinden dolayı sahip olduğu kol uzunlughunun rijit kabiliyetinden daha fazla bir çalışma alanına sahiptir [80].

**Tablo 3.2.** Ortalama bir insan kolu hareket kabiliyeti [80]

|                                                                                     | Kolun Bölümleri                                   | Hareket<br>(derece) | Kabiliyeti |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------|------------|
|   | <i>Omuz Yatay Hareketi<br/>(A+B)</i>              | 188.7               |            |
|  | <i>Omuz Döndürme Hareketi</i><br>A<br>B           | 96.7<br>126.6       |            |
|  | <i>Omuzlar Germe Basma<br/>Hareketi</i><br>A<br>B | 210.9<br>83.3       |            |
|  | <i>Ön Kol Döndürme</i><br>A<br>B                  | 125.8<br>116.1      |            |

Tablo 3.2’ de verilenler, temel insan kolunun hareket alanını tanımlayan istatistiksel çalışmalardır. İstenirse bunlara farklı hareketler eklenerek ayrıntı verilebilir.

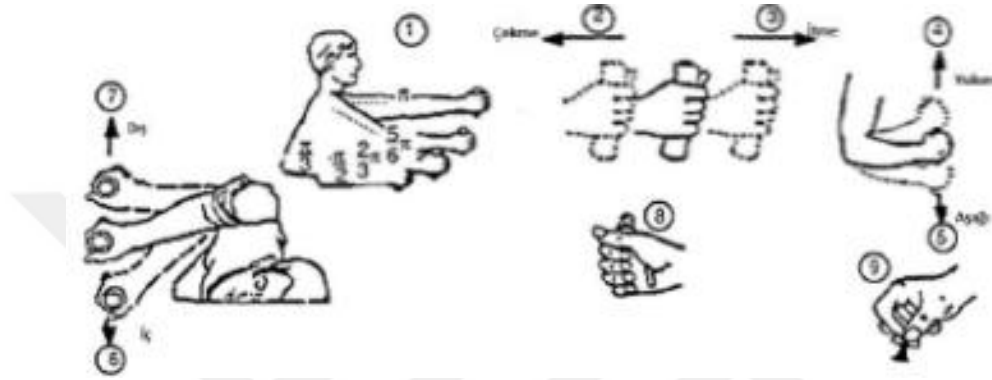
**Tablo 3.3.** Ortalama bir insan kolu hareket kabiliyeti [80]

| Kolun Bölümleri                                                                                                                                   | Hareket<br>(derece) | Kabiliyeti |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------|
|  <p><i>Dirsek Bükülme</i><br/>A</p>                              | 159                 |            |
|  <p><i>Bileği Radyal ve Ulnar<br/>Bükülmesi</i><br/>A<br/>B</p> | 47.9<br>36.7        |            |
|  <p><i>Bilek Germe Basma Hareketi</i><br/>A<br/>B</p>          | 94.8<br>78          |            |

Literatür araştırmalarında da bahsedildiği gibi araştırmacılar insan kolu üzerinde çalışırken bu esnekliği ve kaslar ile hareket etme kabiliyetini taklit etmeye çalışmaktadırlar. Bunu gerek kas benzeri yapılar kullanarak gerekse fazladan serbestlik dereceleri vererek sağlamaktadırlar [80].

### 3.3. İnsan Kolunun Dayanımı

Şekil 3.1’de ve Tablo 3.4 ve Tablo 3.5’de, insan kolunun dayanım gücüne dair bilgiler verilmiştir. Tüm bilgiler 40 yaşındaki bir Amerikalı adamın ortalama değerleridir. Şekil 3.1’de verilen hareket tanımlamaları verilmiştir [80].



Çekil 3.1. İnsan kolunun dayanım şekilleri [8]

Şekil 3.1’ de gösterilen figürlerine ait dayanım değerlerini Tablo 3.4 ve Tablo 3.5’te verilmiştir (National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2013). Bu değerler insanlar üzerinde yapılan istatistiksel çalışmalar sonucunda ortaya konulmuştur[80].

**Tablo 3.4.** İnsan kolunun dayanımı [80]

| (1)                                      | (2)   |     | (3)  |     | (4)    |     | (5)   |     | (6) |     | (7) |     |
|------------------------------------------|-------|-----|------|-----|--------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Dirseğin hareket<br>serbestliği<br>(rad) | Çekme |     | İtme |     | Yukarı |     | Aşağı |     | İç  |     | Dış |     |
|                                          | Sol   | Sag | Sol  | Sag | Sol    | Sag | Sol   | Sag | Sol | Sag | Sol | Sag |
|                                          | 222   | 231 | 187  | 222 | 40     | 62  | 53    | 75  | 58  | 89  | 36  | 62  |
| n                                        | 187   | 249 | 133  | 187 | 57     | 80  | 80    | 89  | 67  | 89  | 36  | 67  |
| 5/6 n                                    | 151   | 137 | 116  | 160 | 76     | 107 | 93    | 116 | 89  | 98  | 45  | 67  |
| 2/3 n                                    | 142   | 165 | 98   | 160 | 76     | 89  | 93    | 116 | 71  | 80  | 45  | 71  |
| 1/2 n                                    | 116   | 107 | 96   | 51  | 67     | 89  | 80    | 89  | 76  | 89  | 53  | 76  |
| 1/3 n                                    |       |     |      |     |        |     |       |     |     |     |     |     |

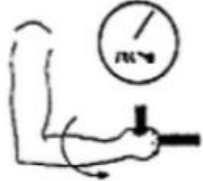
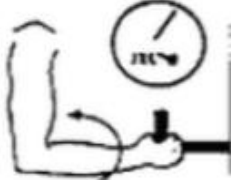
Tablo 3.5’ de verilen degerlerde, kolun yaptığı harekete göre sag ve sol kolun farklı degerlerde tepki verdigi görülmüştür. Bu farklılık insan dogası geregi sag elini daha çok kullanmasından kaynaklanmadır [80].

**Tablo 3.5.** İnsan kolunun dayanımı [80]

|                             | (8)                      |            | (9)                                 |
|-----------------------------|--------------------------|------------|-------------------------------------|
|                             | <i>El ile Sıkıştırma</i> |            | <i>Parmak Uçları ile Sıkıştırma</i> |
|                             | <i>Sol</i>               | <i>Sag</i> |                                     |
| <i>Sıkma Momenti (N.mm)</i> | 56                       | 59         | 60                                  |
| <i>Tutma Momenti (N.mm)</i> | 33                       | 35         | 35                                  |

Tablo 3.6’ da içerisinde verilen degerler insan eli ile yapılabilen maksimum sıkma ve tutma momentlerdir (NASA, 2013) [81].

**Tablo 3.6.** İnsan kolunun dayanımı [80]

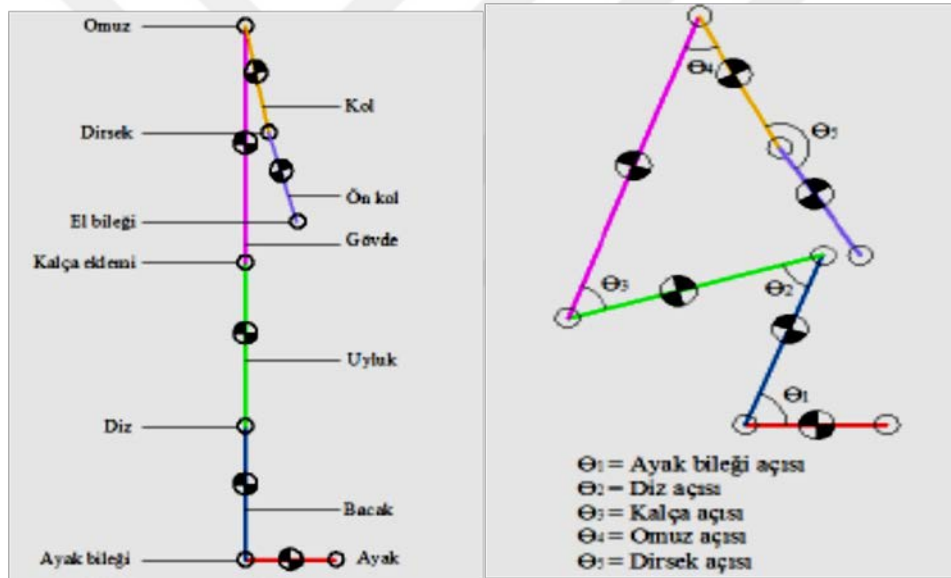
| Maksimum Tork Tipi                                                                  | Uygulanabilen Yük (Nm) |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
|  | 13.73                  |
|  | 17.39                  |

İnsan kolu için Tablo 3.6’da verilmiş olan maksimum ortalama tork degerleri çok önemlidir[80].

Sıkma sonucu oluşan tork degerlerinde, digerlerinde olduğu gibi saga ve sola hareket sonuçlarında farklılıklar bulunmaktadır. Kol için bu deger sag ve solun ortalaması olarak alınacaktır [80].

### 3.4. İnsan Vücudu Modelinin Oluşturulması

İnsan vücudunun biyomekanik olarak modellenmesinde eklem–uzuv modelleri sıklıkla kullanılmaktadır. Eklem–uzuv modellerine antropometrik verilerin de eklenmesiyle anlamlı analizler gerçekleştirmek mümkündür. Bu çalışmada, alt ekstremitenin öncülük ettiği hareketlerin incelenmesine odaklanılmıştır. Bundan dolayı insan vücudu; ayak, bacak, uyluk, gövde, kol ve ön kol olmak üzere toplam 6 katı uzuvdan oluşan ve açık zincir mekanik yapıya sahip bir eklem-uzuv modeli ile temsil edilmiştir. İncelenen hareketlerde vücut simetrik olarak hareket ettiği için ikişer adet olan uzuvların sadece birer adedi modele eklenmiştir (el, modele dahil edilmemiştir). Şekil 4.1’de insan vücudunun eklem–uzuv modeli görülmektedir [81].



Çekil 3.2. İnsan vücudunun sagittal düzlemdeki eklem – uzuv modeli ve eklem açıları[81]

Dinamik analizler için gerekli uzuv boyları, uzuv ağırlıkları, uzuv atalet momentleri, uzuv kütle merkezlerinin yeri gibi verilerin elde edilmesi için antropometrik modellerden ve bilgisayar yazılımlarından faydalanılmıştır [81].

### 3.5. Uzun Kütellerinin Hesaplanması

Uzun kütellerinin belirlenmesinde, kadavra çalışmalarına dayalı olarak Dempster tarafından geliştirilen uzun parametrelerinden yararlanılmıştır. Dempster, çalışmaları neticesinde uzun kütellerini, toplam vücut kütlesinin ( $m_t$ ) oranı şeklinde ifade etmiştir. Bu çalışmaya dayanarak hesaplanan uzun kütelleri denklem 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 ve 3.6'da belirtilmiştir (bu tez çalışmasındaki gönüllü denegın kütlesi 70.2 kg, boyu 174 cm'dir) [81].

Ayagın kütlesi ( $m_a$ );

$$m_a = 0.0145 \times m_t \longrightarrow m_a = 0.0145 \times 70.2 = 1.018 \text{ kg} \quad (3.1)$$

Bacagın kütlesi ( $m_b$ );

$$m_b = 0.0465 \times m_t \longrightarrow m_b = 0.0465 \times 70.2 = 3.264 \text{ kg} \quad (3.2)$$

Uylugun kütlesi ( $m_u$ );

$$m_u = 0.1 \times m_t \longrightarrow m_u = 0.1 \times 70.2 = 7.02 \text{ kg} \quad (3.3)$$

Gövdenin kütlesi ( $m_g$ ) hesaplanırken, baş ve boyun bölgeleri de işleme tabi tutulmuştur. Ancak, sagital düzlemde vücudun yarısı baz alınarak modelleme işlemi yapıldığı için hesaplanan gövde kütlesinin yarısı modele dahil edilmiştir [81].

$$m_g = 0.578 \times m_t \longrightarrow m_g = 0.578 \times 70.2 = 40.57 \text{ kg} \quad (3.4)$$

Kolun kütlesi ( $m_k$ );

$$m_k = 0.028 \times m_t \longrightarrow m_k = 0.028 \times 70.2 = 1.965 \text{ kg} \quad (3.5)$$

Ön kolun kütlesi ( $m_{ök}$ );

$$m_{ök} = 0.016 \times m_t \longrightarrow m_{ök} = 0.016 \times 70.2 = 1.123 \text{ kg} \quad (3.6)$$

### 3.6. Uzun Boylarının Hesaplanması

Uzun kütellerinde olduğu gibi uzun boylarının hesaplanmasında da antropometrik çalışmalardan faydalanılmaktadır. Bu çalışmaların bazılarında uzun boyları, toplam vücut boyunun oranı şeklinde belirtilmiştir [81].

Serbest'in yaptığı çalışmada, farklı yaş ve fiziksel özelliklerdeki 6 adet tüm haldeki insan kadavrası üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada, çeşitli ölçümler ve hesaplamalar yaparak insan vücudunun antropometrik özelliklerini incelemişlerdir. Ortalama vücut boyunun 174 cm olduğu bu çalışmadan faydalanılarak; ayak boyu ( $l_a$ ) 24.33 cm, bacak boyu ( $l_b$ ) 37.53 cm, uyluk boyu ( $l_u$ ) 45.82 cm, gövde boyu ( $l_g$ ) 66.44 cm, kol boyu ( $l_k$ ) 30.52 cm, ön kol boyu ( $l_{ök}$ ) 26.3 cm olarak belirlenmiştir [82].

### 3.7. Uzun Kütlesinin Merkezlerinin Belirlenmesi

İnsan vücudunu oluşturan uzuvların kütle merkezlerinin belirlenmesinde de antropometrik çalışmalardan yararlanılmaktadır. Bu çalışmada, uzuvların kütle merkezlerinin yeri bulunurken Dempster'in uzuv parametrelerinden faydalanılmıştır. Uzunların, proksimal uçtan itibaren kütle merkezlerinin yeri denklem 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 ve 3.12'de hesaplanmıştır [83].

Proksimal uçtan itibaren ayagın kütle merkezinin yeri ( $R_a$ ); (3.7)

$$R_a = 0.5 \times l_a \longrightarrow R_a = 0.5 \times 33 = 12.16 \text{ cm}$$

Proksimal uçtan itibaren bacağın kütle merkezinin yeri ( $R_b$ ); (3.8)

$$R_b = 0.433 \times l_b \longrightarrow R_b = 0.433 \times 37.53 = 16.25 \text{ cm}$$

Proksimal uçtan itibaren uylugun kütle merkezinin yeri ( $R_u$ ); (3.9)

$$R_u = 0.433 \times l_u \longrightarrow R_u = 0.433 \times 48.82 = 19.84 \text{ cm}$$

Proksimal uçtan itibaren gövdenin kütle merkezinin yeri ( $R_g$ ); (3.10)

$$R_g = 0.495 \times l_g \longrightarrow R_g = 0.495 \times 66.44 = 32.88 \text{ cm}$$

Proksimal uçtan itibaren kolun kütle merkezinin yeri ( $R_k$ ); (3.11)

$$R_k = 0.436 \times l_k \longrightarrow R_k = 0.436 \times 30.52 = 13.3 \text{ cm}$$

Proksimal uçtan itibaren ön kolun kütle merkezinin yeri ( $R_{ök}$ ); (3.12)

$$R_{\ddot{o}k}=0.43\times l_{\ddot{o}k}$$

$$R_{\ddot{o}k}=0.43\times 26.3=11.31\text{ cm}$$



## 4. HAREKETLERİN ANALIZİ

### 4.1. Barfiks Çekme Hareketi

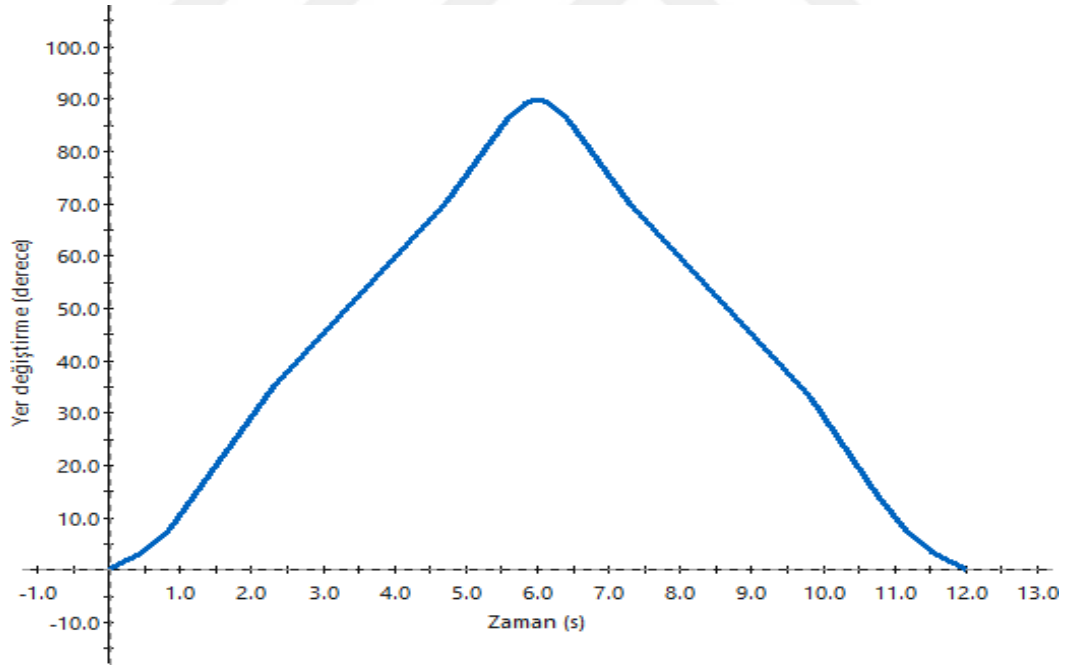
#### 4.1.1. Omuz

Yetişkin bir insan kolu ölçüleri referans alınarak Solidworks programı ile çizilen insan kolu ?ekil 4.1.'de gösterilmiştir. Sporcu bir insanın barfiks hareketi Solidworks Motion'da gerçek hayatta sporcunun barfiks hareketi boyunca takip edilen eksenler dikkate alınarak barfiks hareketi gerçeğe yakın taklid edilmeye çalışılmıştır.

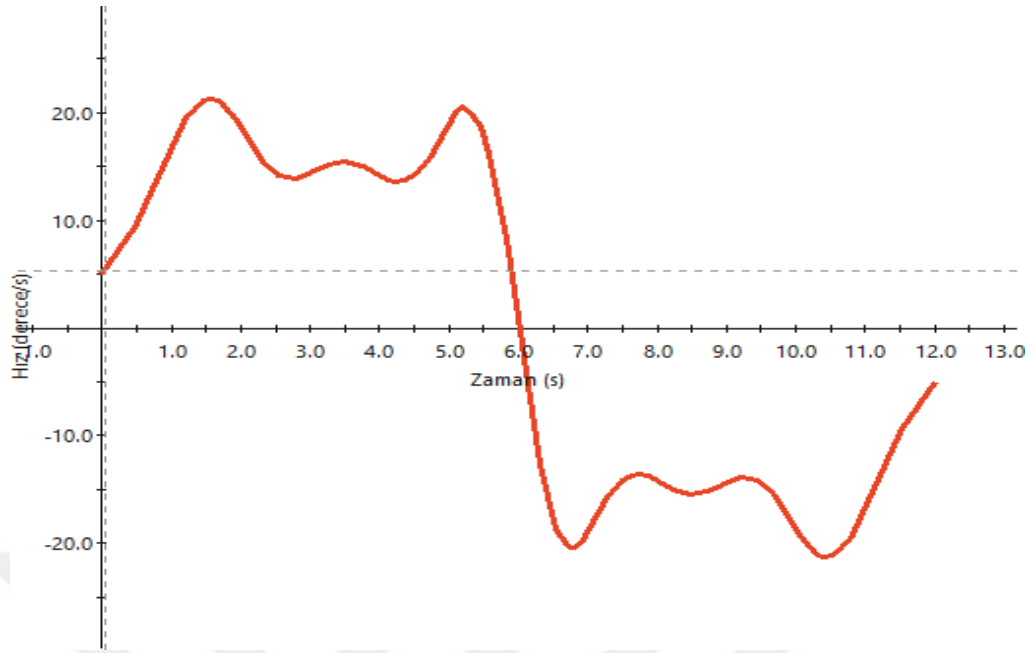
?ekil 4.1'de gösterilen sporcu bir insan kolunun omuz kısmının barfiks hareketi yaparken Y ve Z eksenleri boyunca hareket ederken meydana gelen zamana bağlı konum değişimi ?ekil 4.2'de verilmiş olup maksimum  $90^\circ$  açı değeri belirlenmiştir, omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı hız değişimi ?ekil 4.3'de verilmiş olup 0 sn'de 5 derece/sn ile başlayıp maksimum değeri yaklaşık olarak +25 derece/sn minimum değer olarak yaklaşık -25 derece/sn değerine ulaşmıştır. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ivme değişimi ?ekil 4.4'te verilmiş olup 0 sn'de +7.5 derece/sn<sup>2</sup> olup maksimum değeri yaklaşık olarak +20 derece/sn<sup>2</sup> olup minimum değerine 6.sn'de yaklaşık olarak -50 derece/sn<sup>2</sup> olmuştur ve omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı sarsılma değişimi ?ekil 4.5'te verilmiş olup 0.sn'de 10 derece/sn<sup>3</sup> olup minimum değeri 5-6sn'ler arasında yaklaşık olarak -65 derece/sn<sup>3</sup> görünürken maksimum değeri 6-7sn'ler arasında +65 derece/sn<sup>3</sup> olduğu gözlenmiştir.



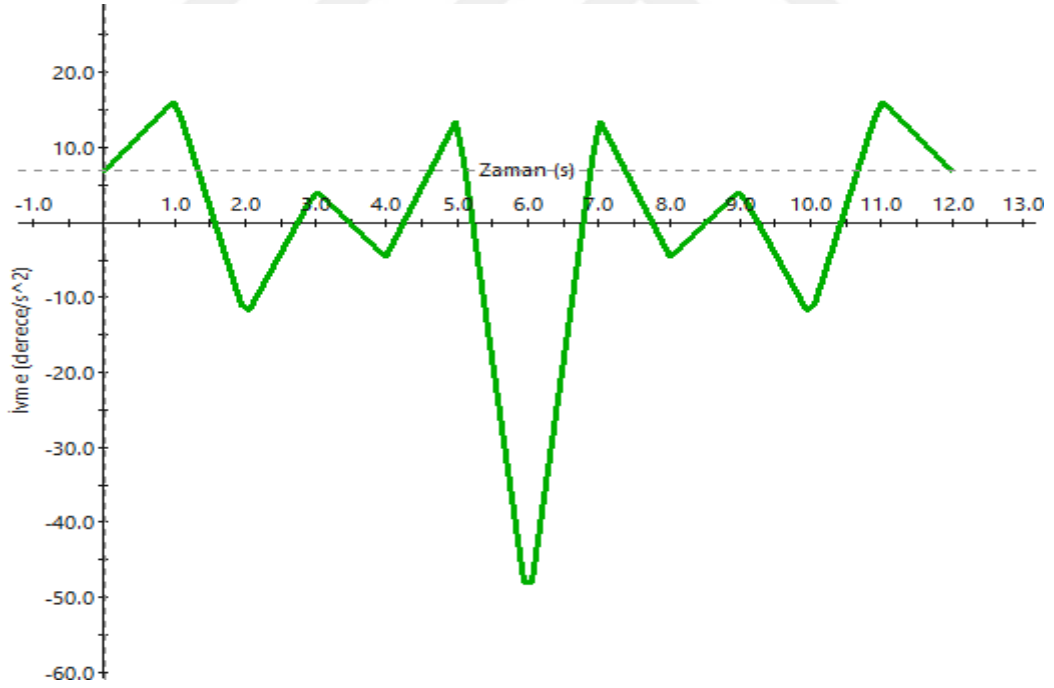
**Çekil 4.1.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının Solidworks ile gösterimi



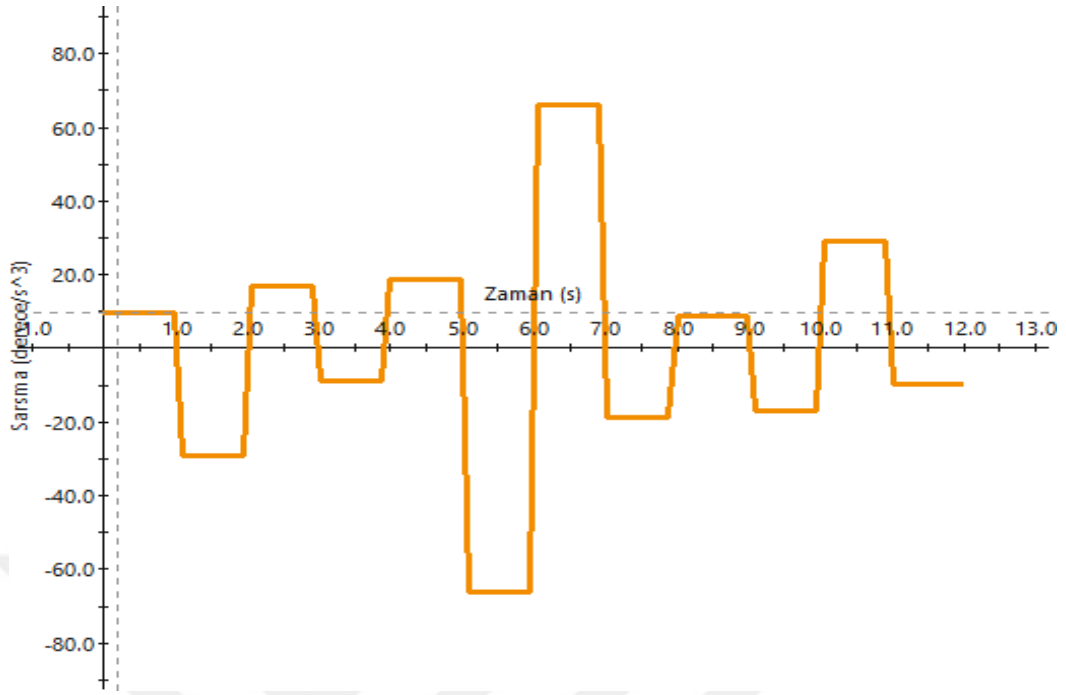
**Şekil 4.2.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının konum-zaman grafiği



**Çekil 4.3.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının hız-zaman grafiği

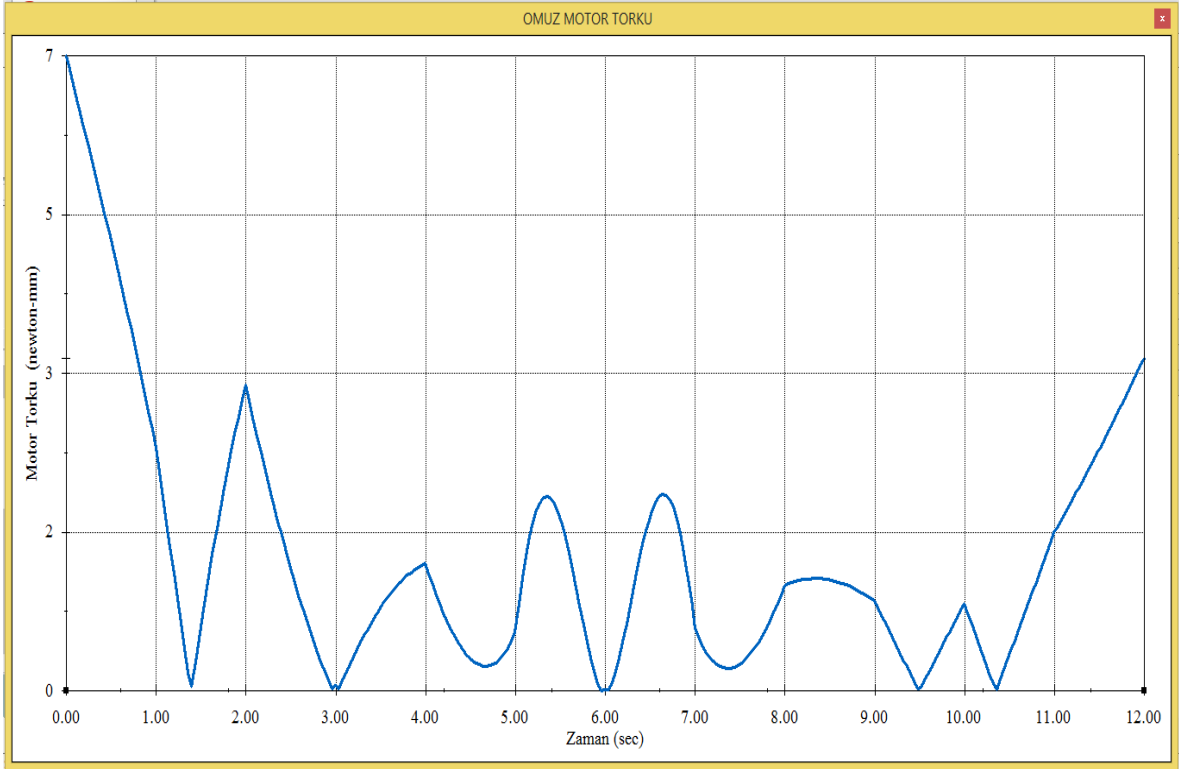


**Çekil 4.4.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ivme-zaman grafiği

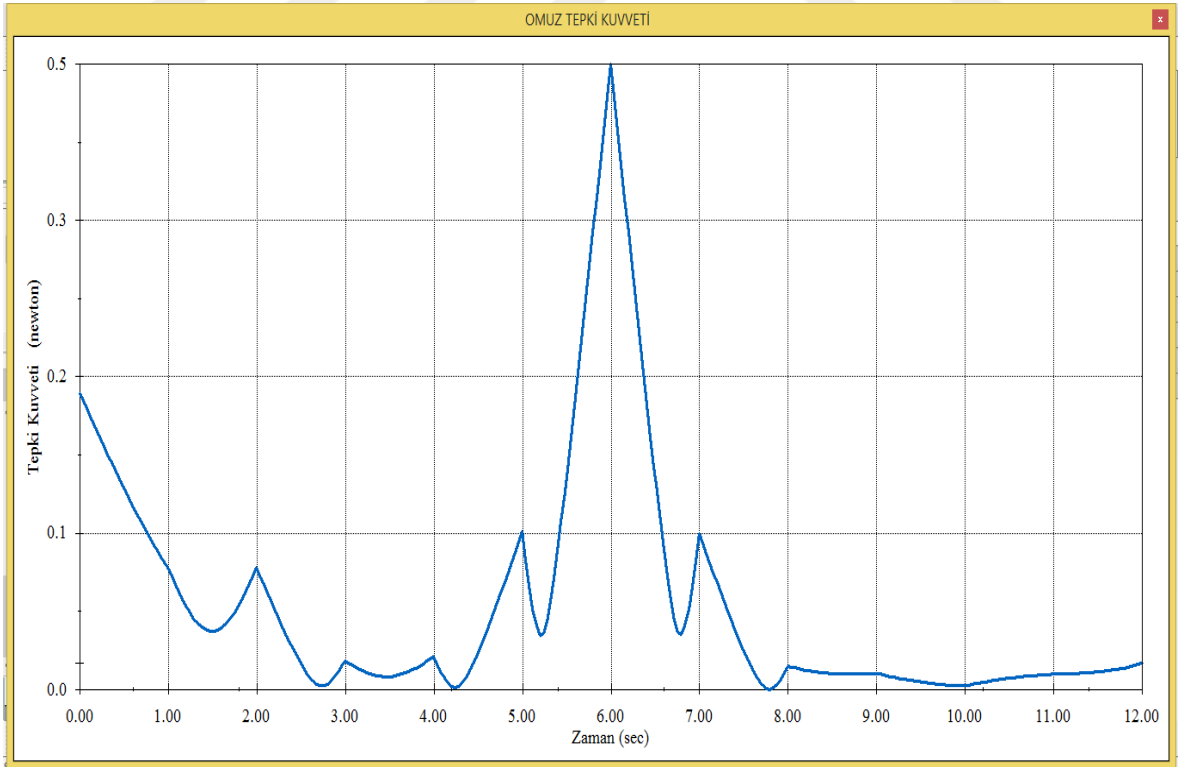


**Çekil 4.5.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının sarsılma-zaman grafiği

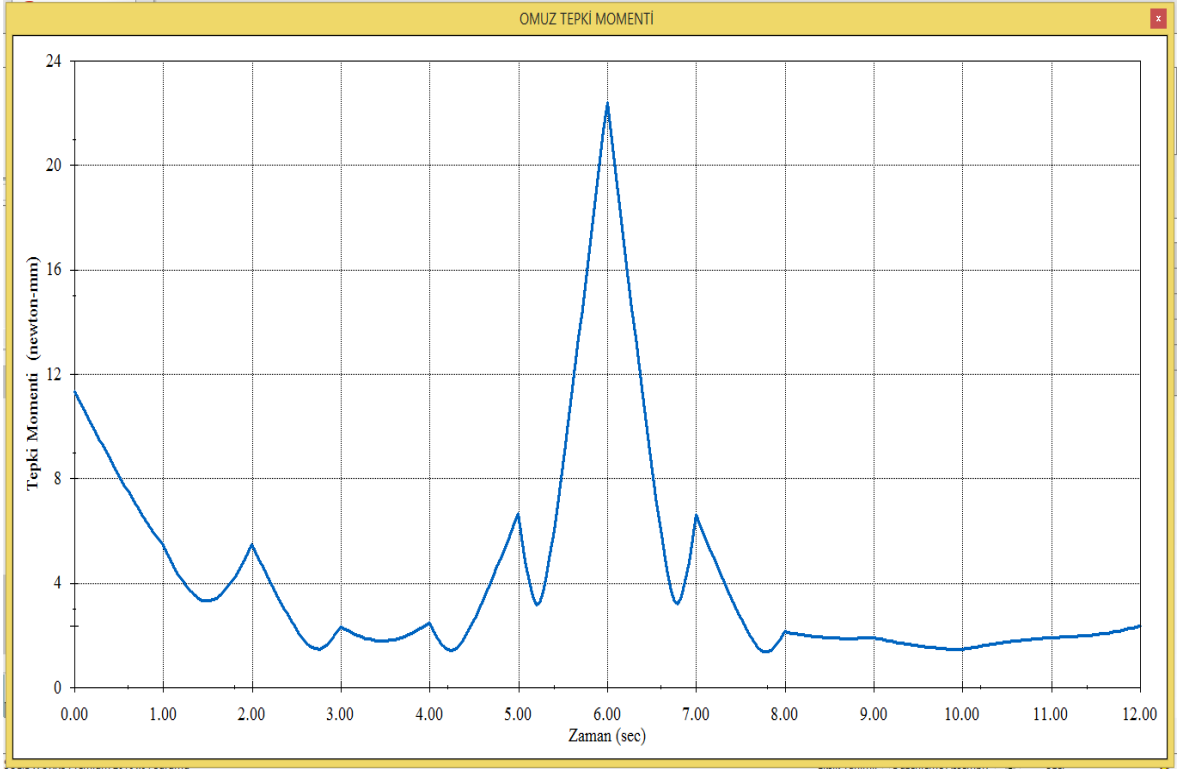
Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı tork değişimi Çekil 4.6'da verilmiş olup 0.sn'de maksimum değeri olan 7 N.mm ile başlamış olup 12.sn'de yaklaşık olarak 3.3 N.mm değeriyle hareketi tamamlamıştır. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı kuvvet değişimi Çekil 4.7'de verilmiş olup 0.sn'de yaklaşık olarak 0.2 N değeri ile başlarken maksimum değerini 6.sn'de 0.5 N almıştır, omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı tepki momenti değişimi Çekil 4.8'de verilmiş olup 0.sn'de yaklaşık olarak 12 N.mm değeriyle başlamış olup maksimum değerine 6.sn'de yaklaşık olarak 24 N.mm değerine ulaşmıştır. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ötelenme momenti değişimi Çekil 4.9'da verilmiş olup 0.sn'de 4 N.s değeriyle başlarken maksimum değeri 109036 N.s olduğu görülmüştür.



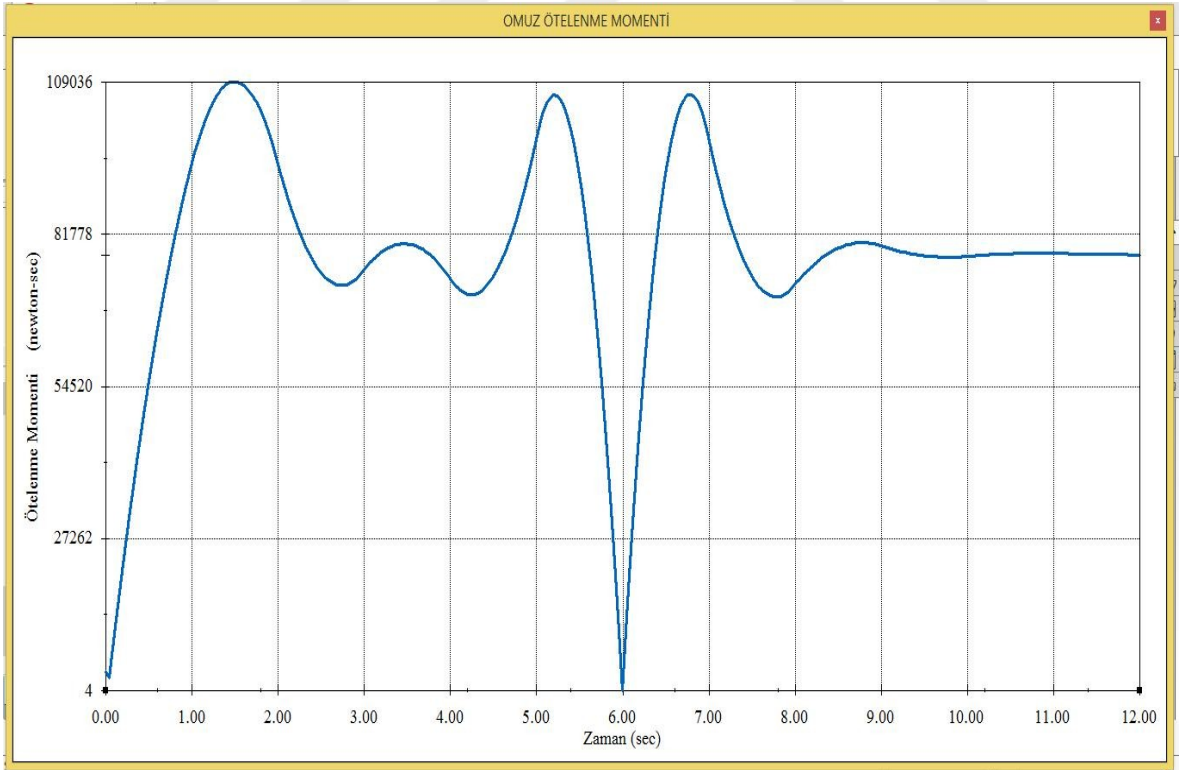
**Şekil 4.6.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının tork-zaman grafiği



**Çekil 4.7.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu omuz kısmının kuvvet-zaman grafiği

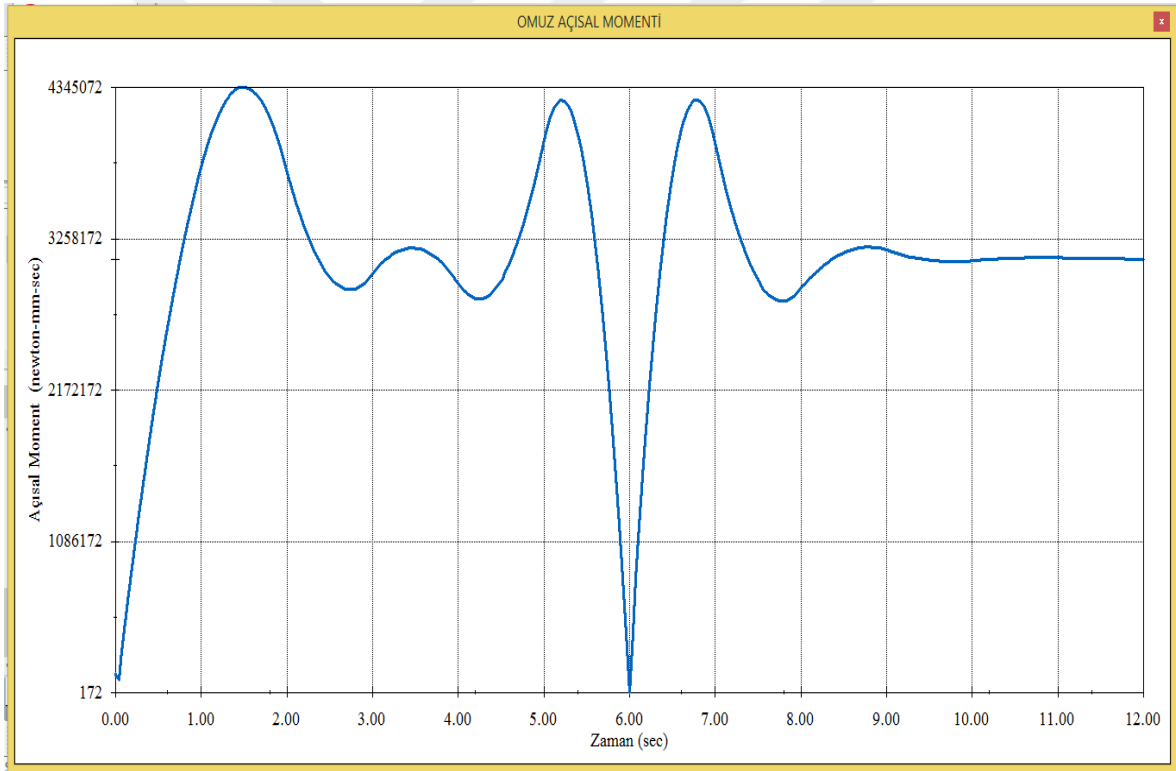


**Çekil 4.8.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının tepki momenti-zaman grafiği

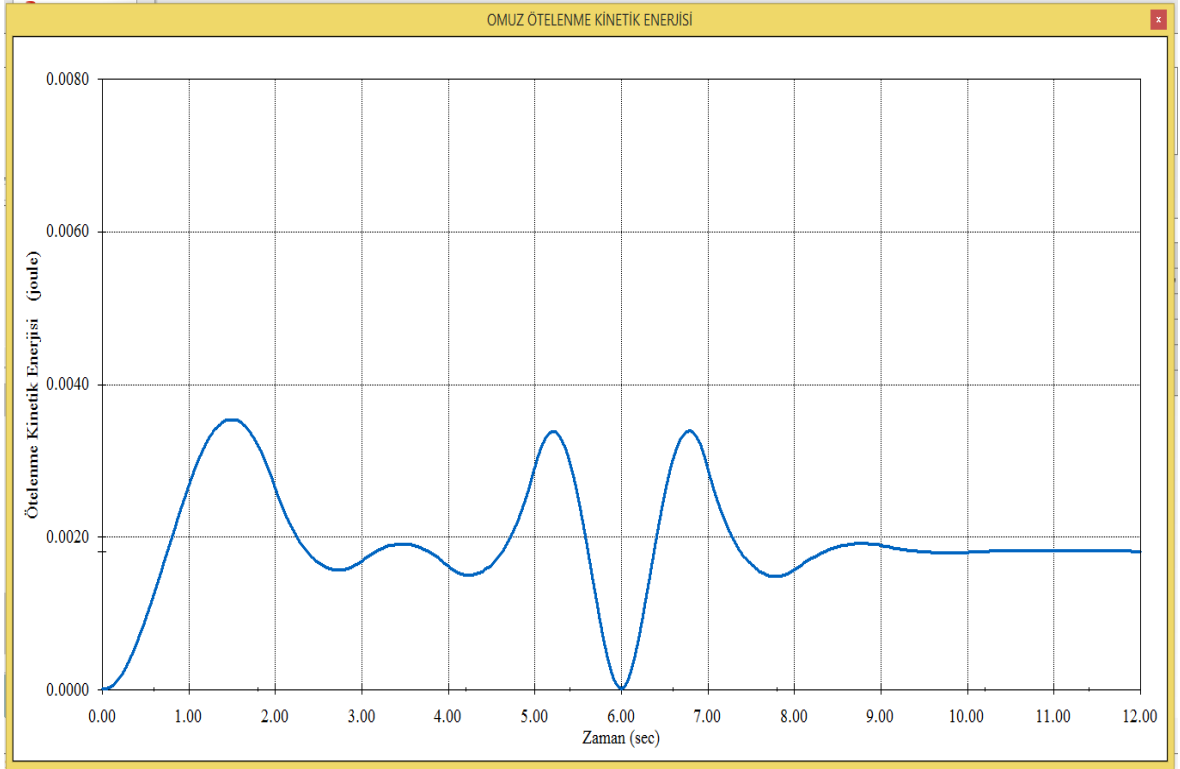


**Çekil 4.9.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ötelenme momenti-zaman grafiği

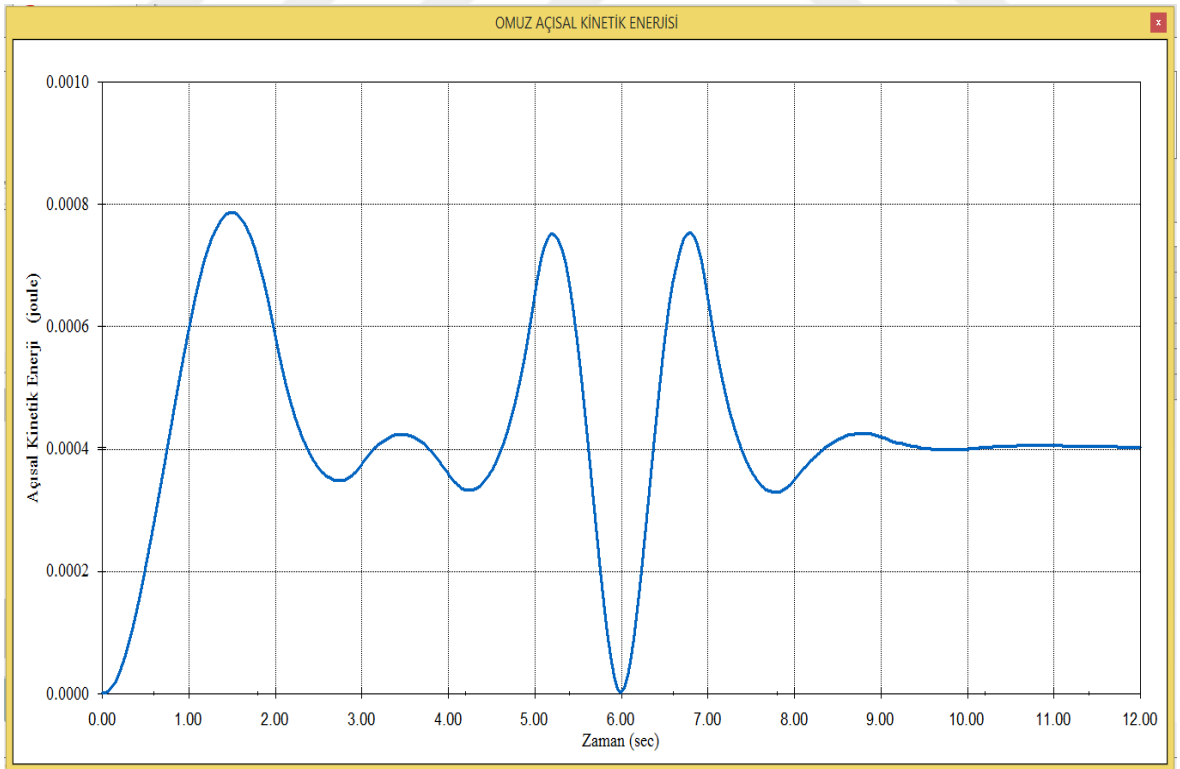
Şekil 4.10’da, omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı açısal moment verilmiş olup 0.sn’de yaklaşık 172 N.mm.sn degeriyle başlamış ve maksimum degeri 4345072N.mm.sn olarak belirlenmiştir. Şekil 4.11’de Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ötelenme kinetik enerjisi verilmiş olup maksimum degeri yaklaşık olarak 0.0040 j, 12.sn’de yaklaşık olarak 0.0020 j olduğu görülmüştür. Şekil 4.12’de Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı açısal kinetik enerji değişimi verilmiş olup maksimum degeri yaklaşık olarak 0.0008 j olup 12.sn’de yaklaşık olarak 0.0004 j olmuştur. Şekil 4.13’te omuzun Y ve Z eksenlerindeki toplam kinetik enerji verilmiş olup maksimum degeri yaklaşık olarak 0.0045 j, 12.sn’de yaklaşık olarak 0.0025 j degerine ulaşmıştır. Barfiks hareketi boyunca omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı güç değişimi Şekil 4.14’te verilmiş olup degerleri yaklaşık olarak +0.0010 watt ile -0.0010 watt arasında değişmiştir.



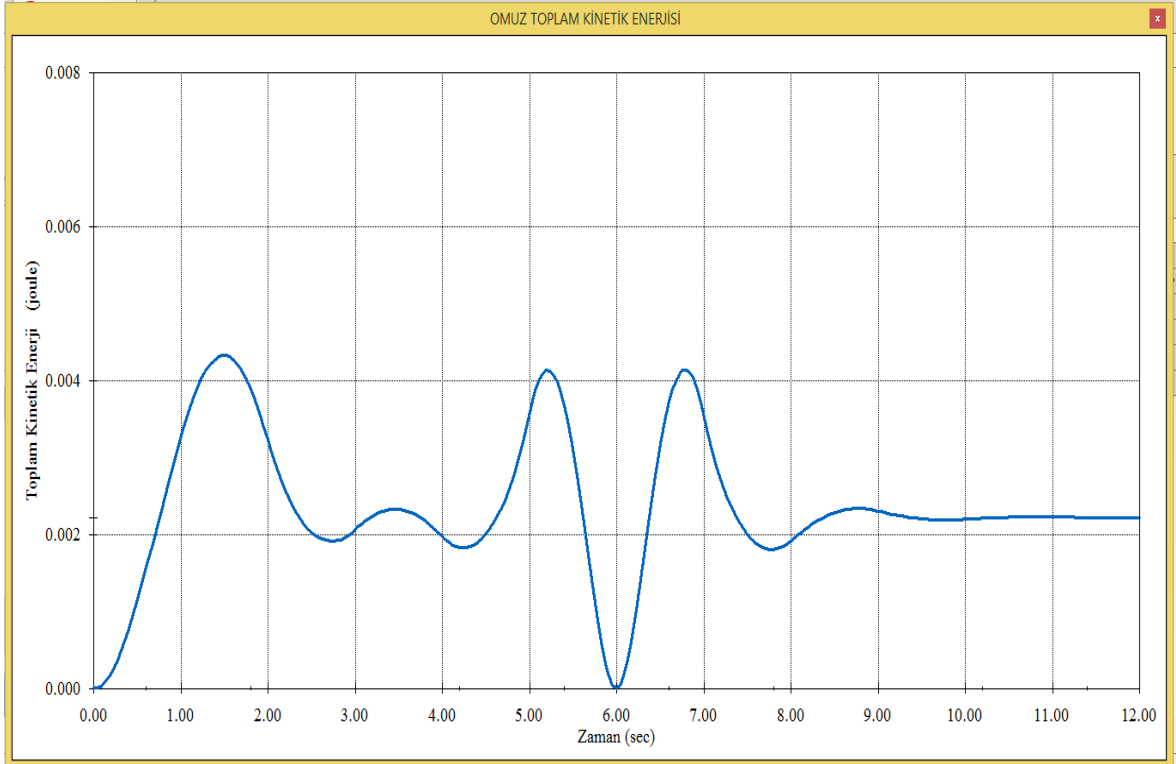
**Çekil 4.10.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının açısal moment-zaman grafiği



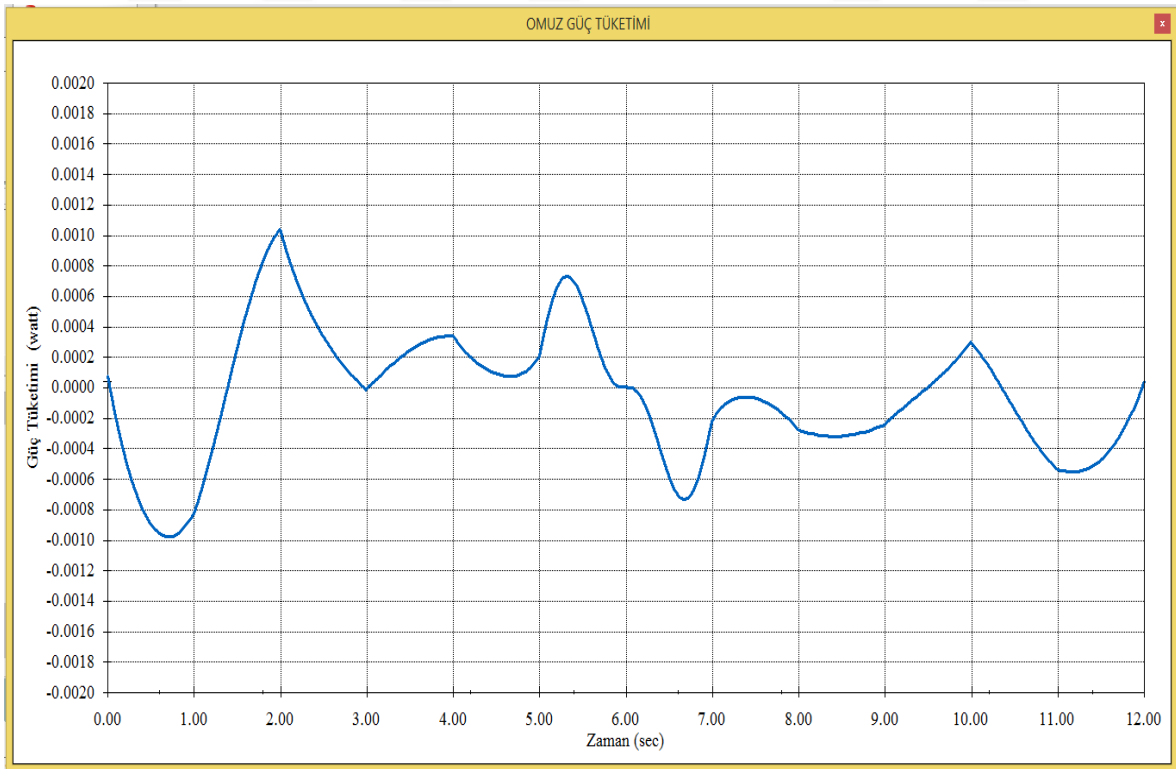
**Çekil 4.11.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafiği



**Çekil 4.12.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının açısal kinetik enerji-zaman grafiği



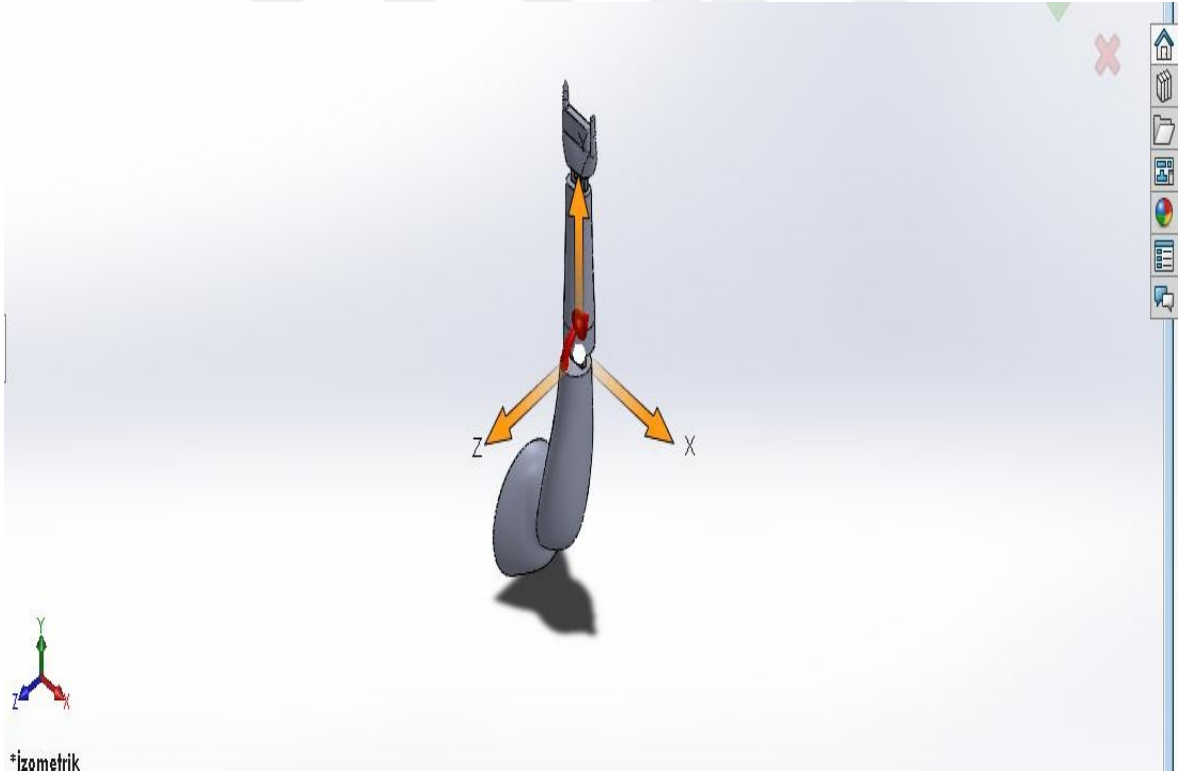
Çekil 4.13. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafiği



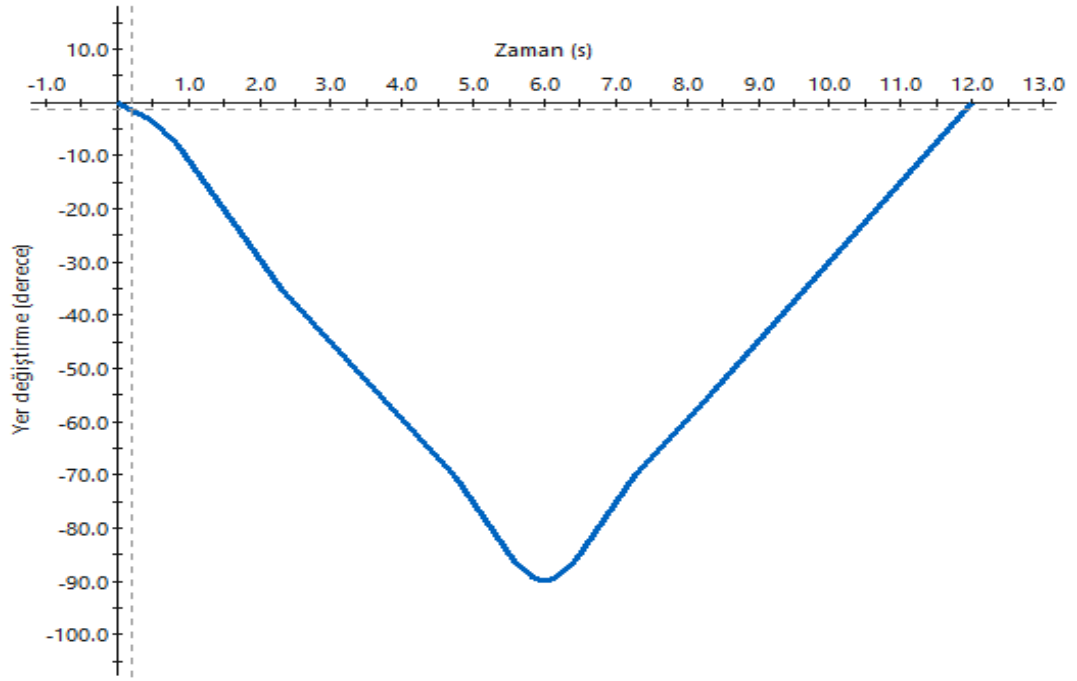
Çekil 4.14. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının güç-zaman grafiği

#### 4.1.2. Dirsek

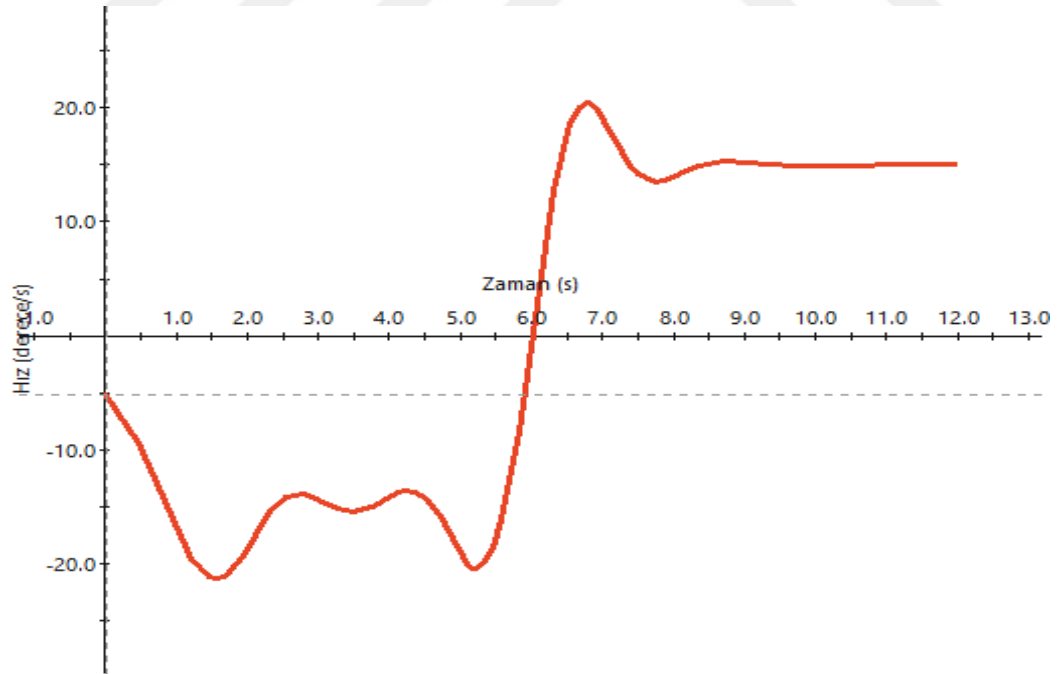
Şekil 4.15’de sporcu kolunun dirsek kısmı eksenleri ile birlikte gösterilmiştir. Bir sporcunun barfiks çekme hareketi yaparken kolunun dirsek kısmının Y ve Z eksenlerinde hareket boyunca meydana gelen zamana bağlı konum değişimi Şekil 4.16’da verilmiş olup maksimum değeri  $-90^\circ$  olarak belirlenmiştir. Dirsekteki Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı hız değişimi Şekil 4.17’de verilmiş olup 0.sn’de  $-5$  derece/sn olup maksimum değeri yaklaşık olarak  $+25$  derece/sn, minimum değeri ise yaklaşık olarak  $-25$  derece/sn olduğu görülmüştür. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ivme değişimi Şekil 4.18’de verilmiş olup 6.sn’de maksimum değeri yaklaşık olarak  $50$  derece/sn<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı sarsılma değişimi Şekil 4.19’da verilmiş olup maksimum değeri yaklaşık olarak  $+65$  derece/sn<sup>3</sup>, minimum değeri  $-65$  derece/sn<sup>3</sup> olduğu görülmüştür.



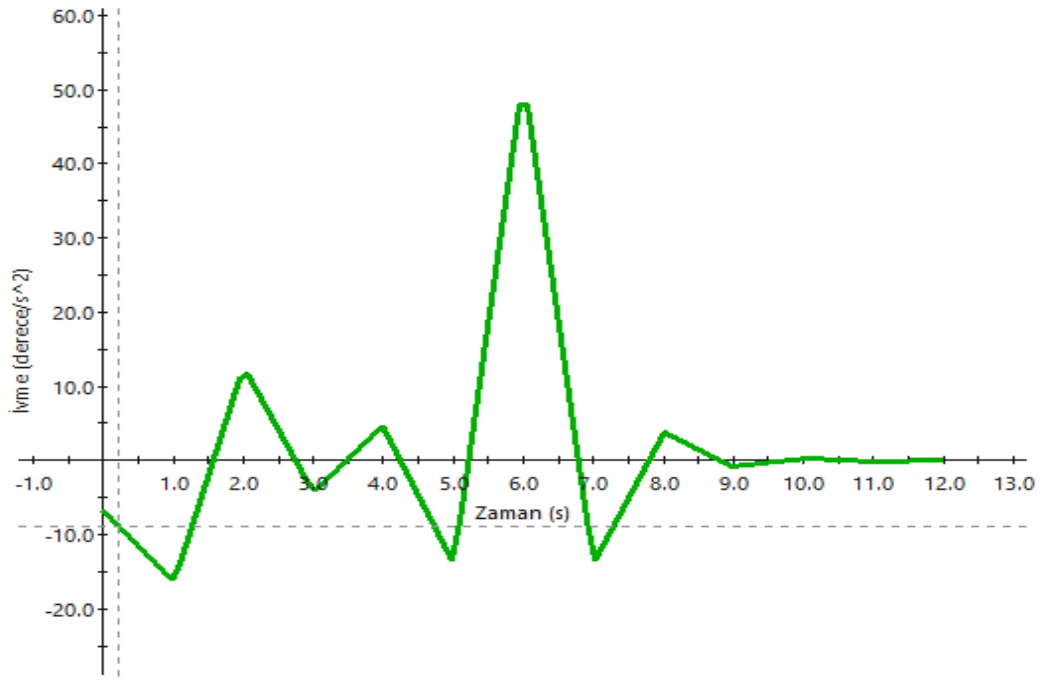
**Şekil 4.15:** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının Solidworks ile gösterimi



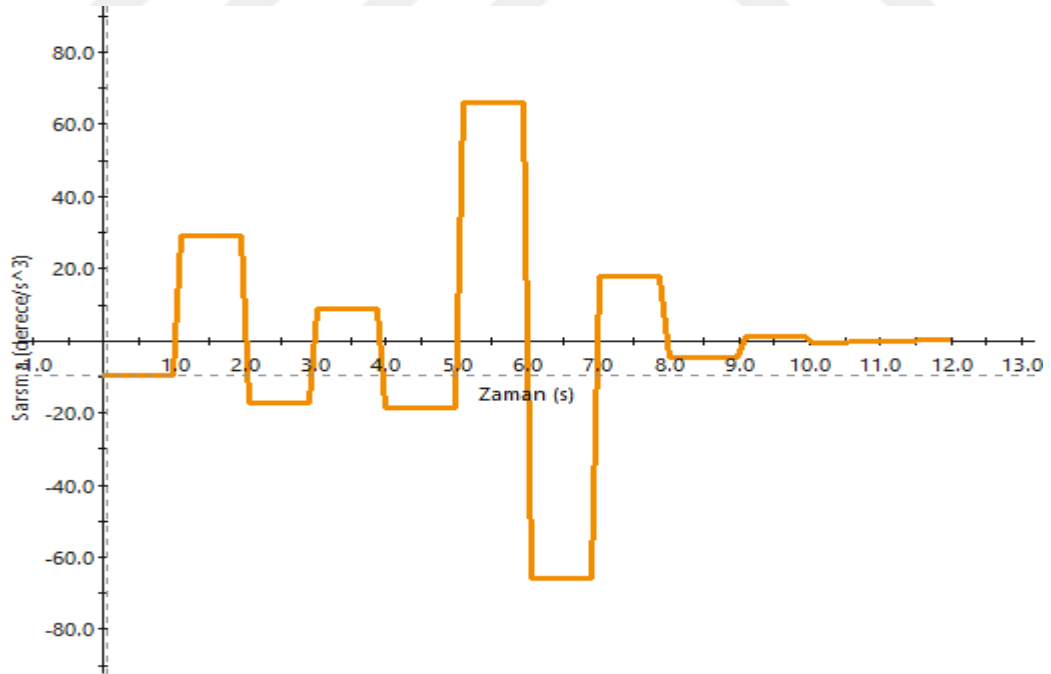
**Çekil 4.16.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının konum-zaman grafiğı



**Çekil 4.17.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının hız-zaman grafiğı

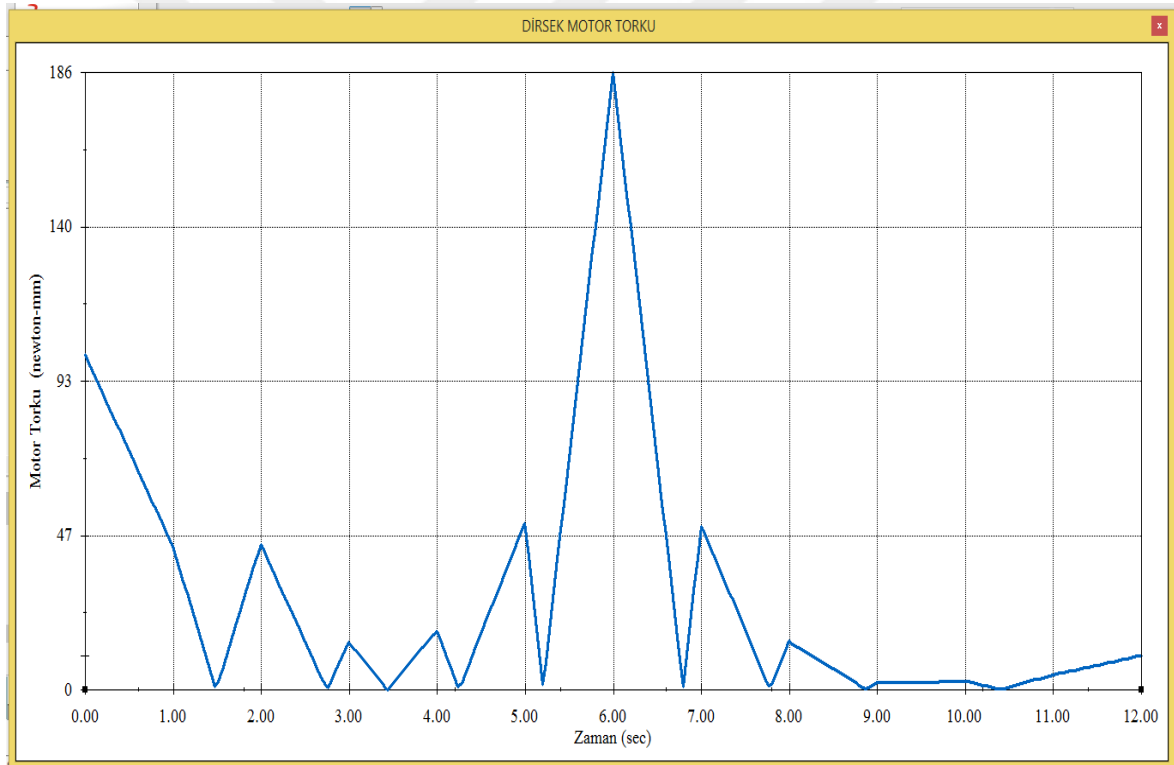


Çekil 4.18. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ivme-zaman grafiği

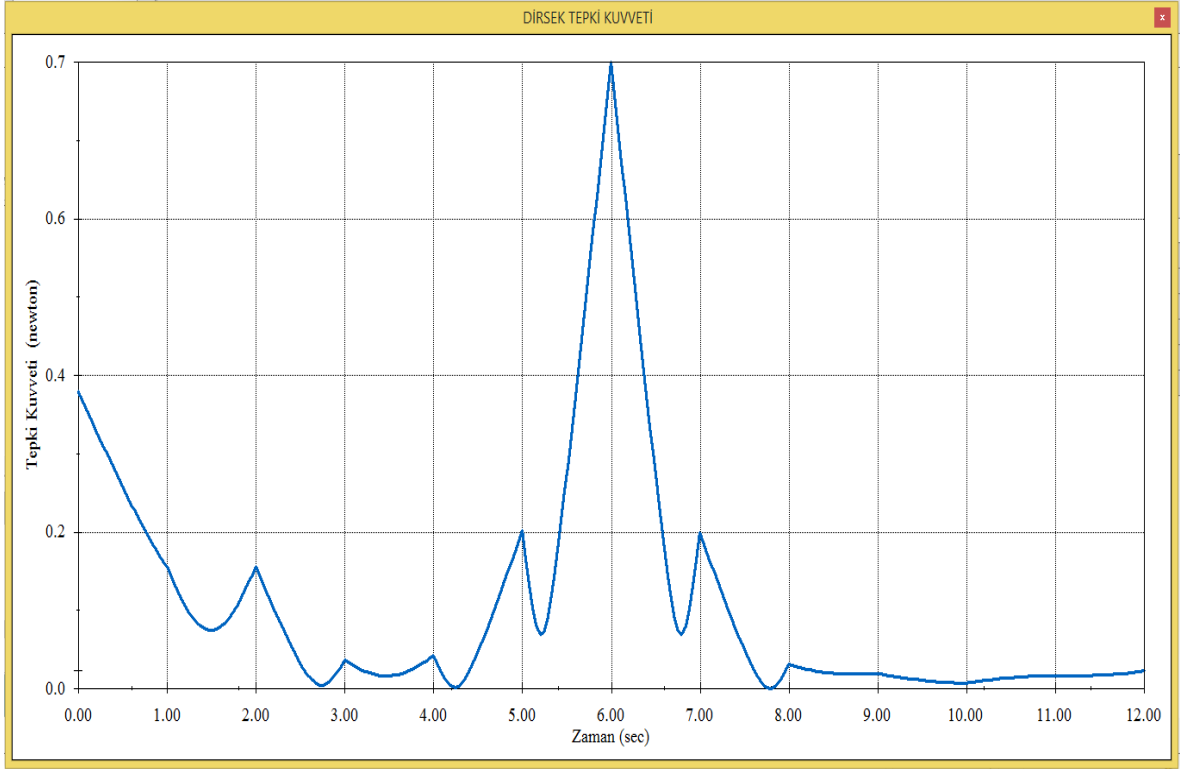


Çekil 4.19. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının sarsılma-zaman grafiği

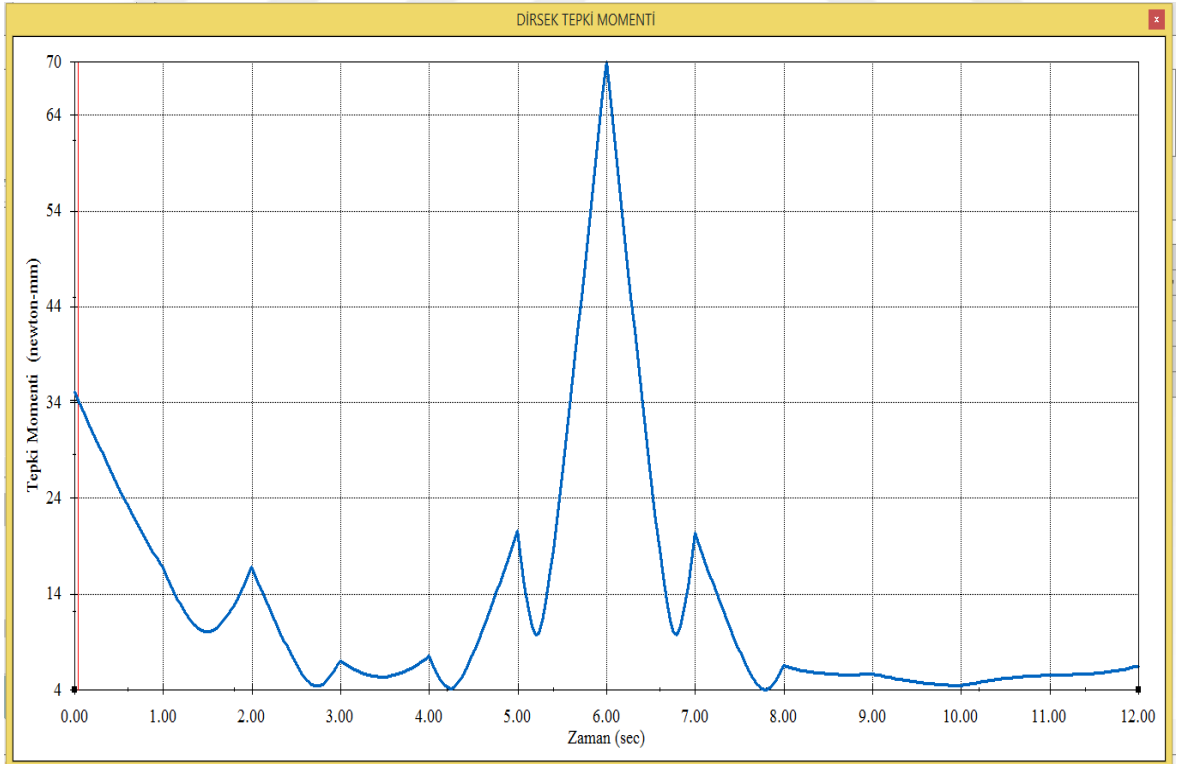
Barfiks hareketi yapan sporcunun hareket boyunca kolunun dirsek kısmında Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı tork değişimi Şekil 4.20’de verilmiş olup 0.sn’de yaklaşık olarak 95 N.mm değerini almış olup 6.sn’de maksimum değerine ulaşmış yaklaşık olarak 186 N.mm olduğu görülmüştür. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı kuvvet değişimi Şekil 4.21’de verilmiş olup 0.sn’de yaklaşık olarak 0.4 N olduğu, maksimum değerine ise 6.sn’de 0.7N olduğu görülmüştür. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı tepki momentinin değişimi Şekil 4.22’de verilmiş olup 0.sn’de yaklaşık olarak 34 N.mm, maksimum değerine ise 6.sn’de 70 N.mm olduğu görülmüştür. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ötelenme moment değişimi Şekil 4.23’te verilmiş olup 0.sn’de yaklaşık olarak 0.4 N.sn ile başlayıp maksimum değeri yaklaşık olarak 109036 N.sn olduğu görülmüştür.



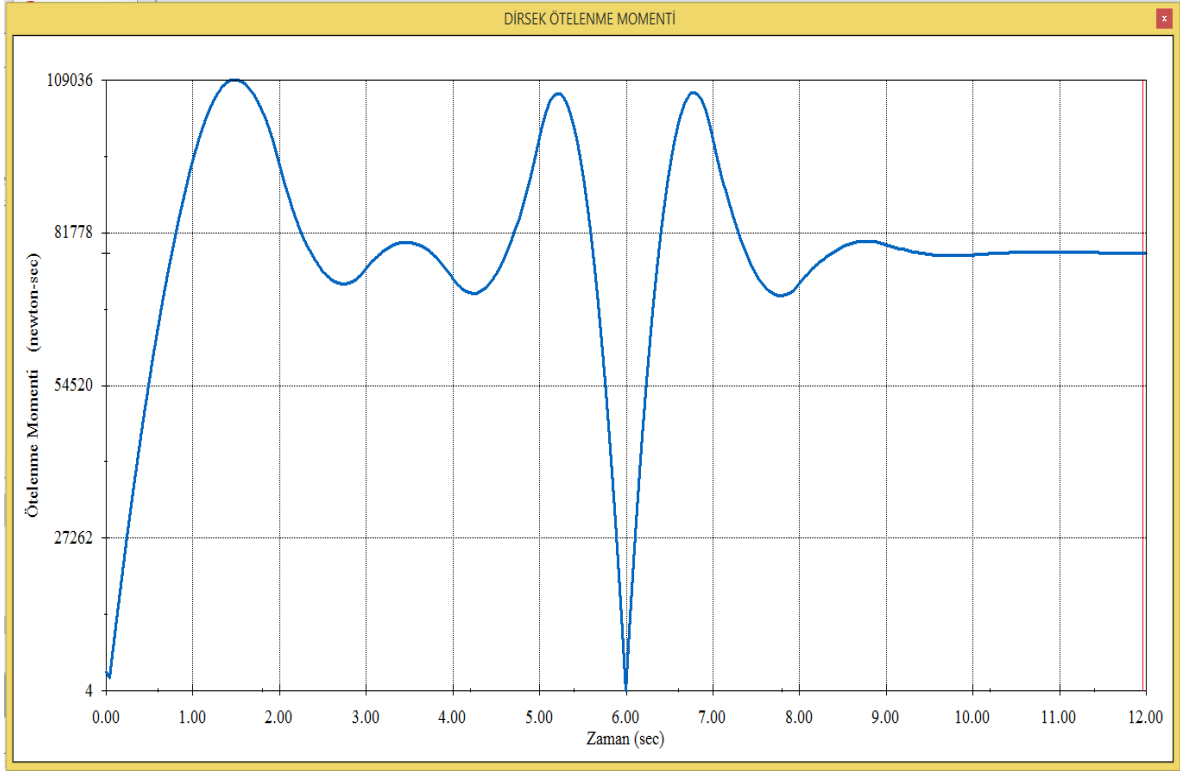
Şekil 4.20. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının tork-zaman grafiği



Çekil 4.21. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının kuvvet-zaman grafiği

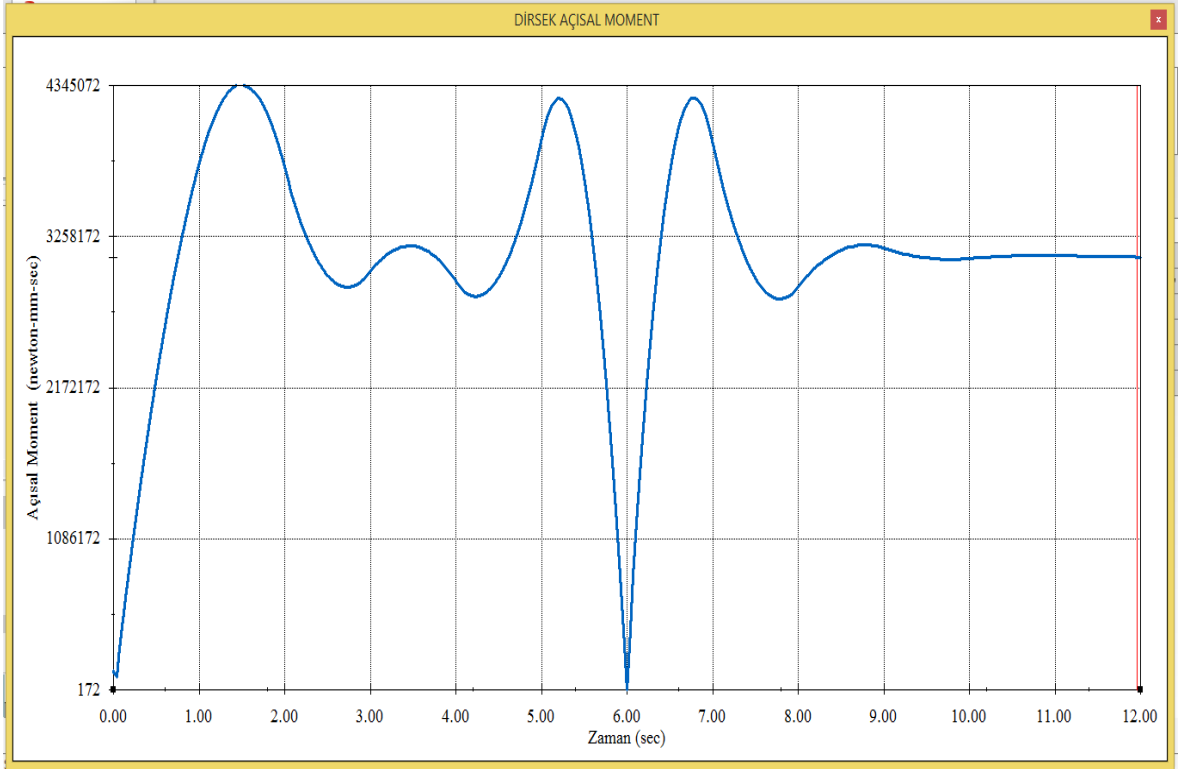


Çekil 4.22. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının tepki momenti-zaman grafiği

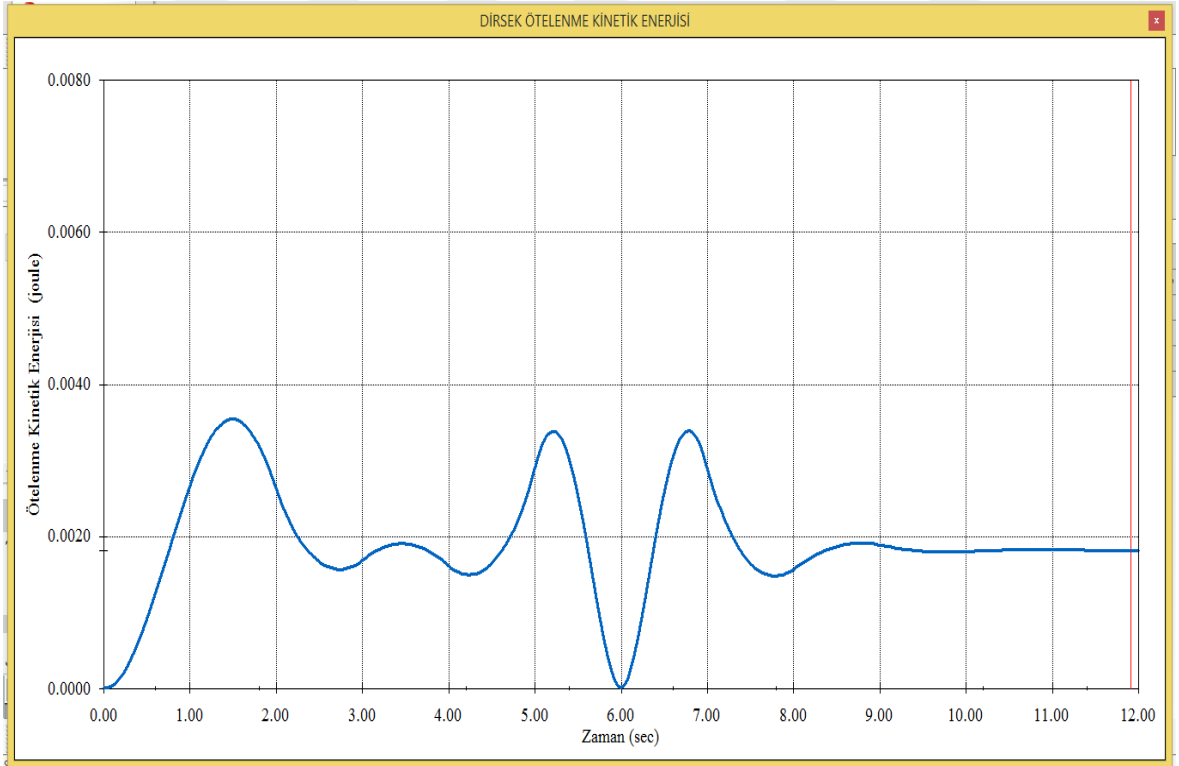


**Çekil 4.23.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ötelenme momenti-zaman grafiği

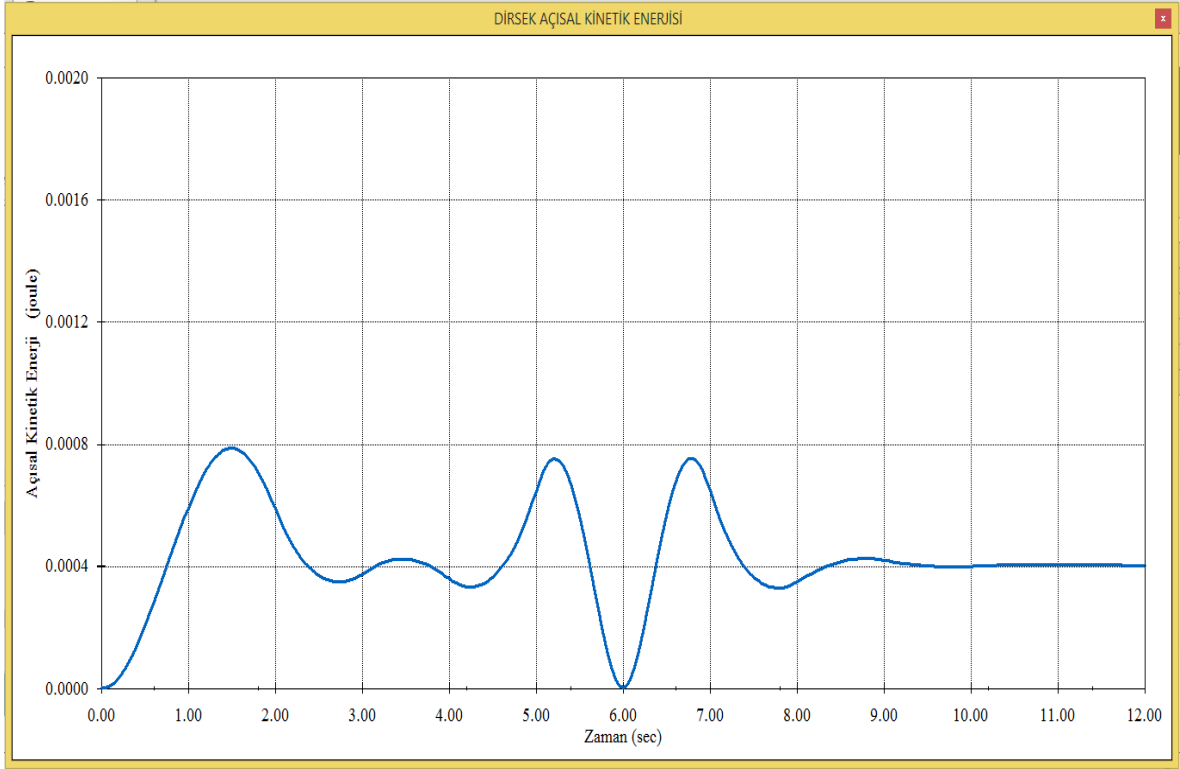
Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı açısal moment değişimi Çekil 4.24’de verilmiş olup 0.sn’de 172 N.mm.sn ile başlayıp maksimum değerinin yaklaşık olarak 4045072 N.mm.sn olduğu izlenmiştir. Ayrıca Y ve Z eksenlerindeki ötelenme kinetik enerjisinin zamana bağlı değişimi Çekil 4.25’te verilmiş olup maksimum değerinin yaklaşık olarak 0.0040 j, 6.sn’de ise minimum değerini alarak 0joule değerini aldığı görülmüştür. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki açısal kinetik enerjinin zamana bağlı değişimi Çekil 4.26’da verilmiş olup maksimum değeri yaklaşık olarak 0.0008 j, minimum değerinin 6.sn’de 0 j olduğu görülmüştür. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı toplam kinetik enerji değişimi Çekil 4.27’de verilmiş olup maksimum değeri yaklaşık olarak 0.0042 j, minimum değerini 6.sn’de 0 j olarak almıştır. Hareket boyunca dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı güç değişimi Çekil 4.28’de verilmiş olup minimum değeri -0.03 watt, maksimum değeri +0.03 watt olarak gözlemlenmiştir.



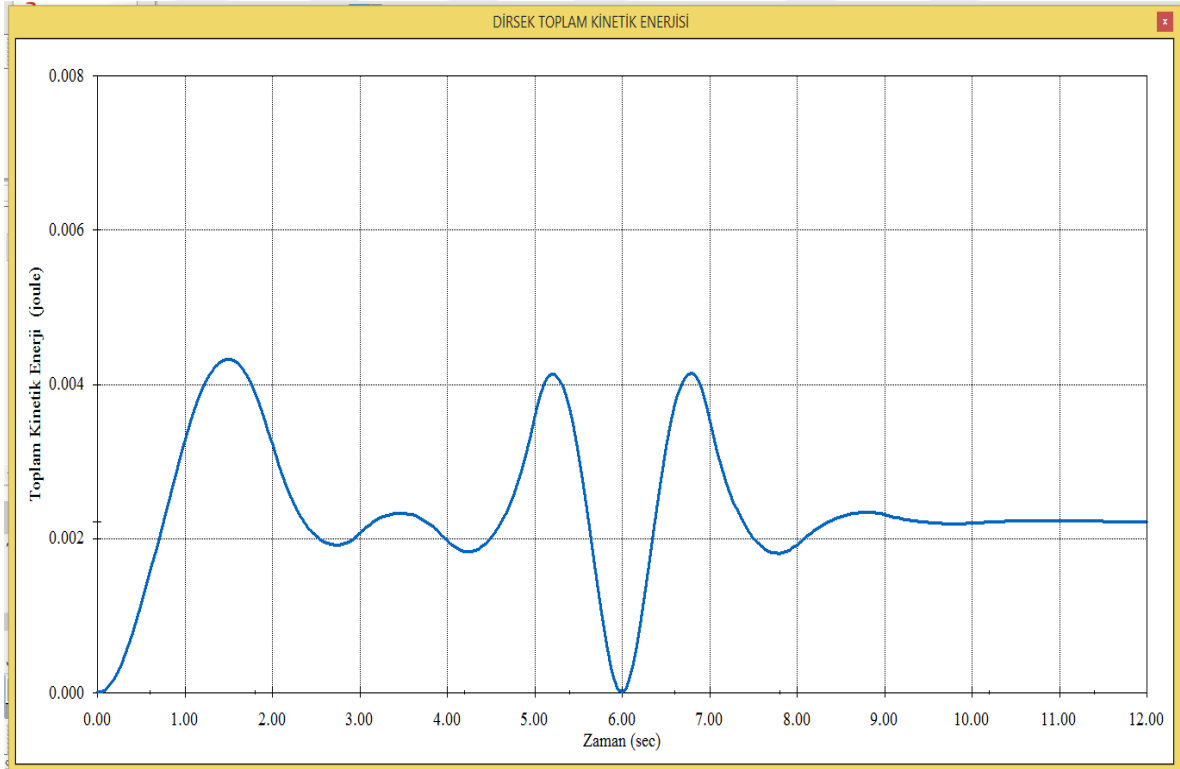
Çekil 4.24. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının açısai moment-zaman grafigi



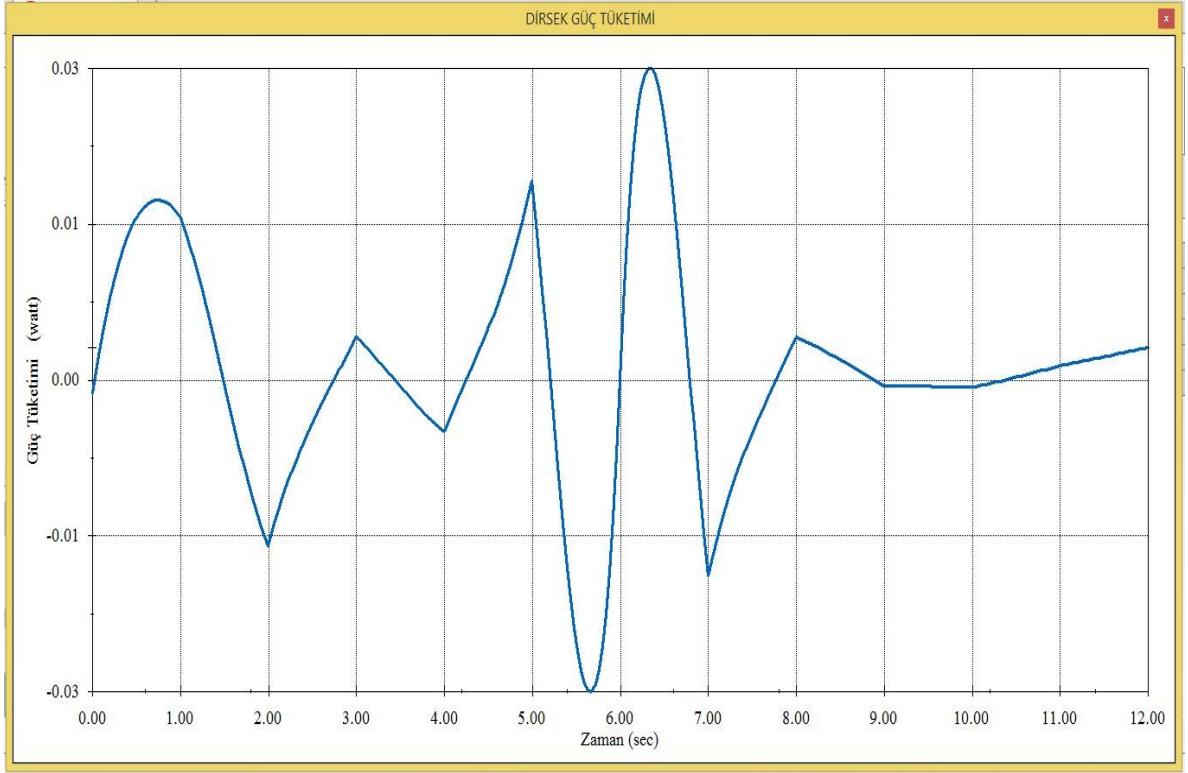
Çekil 4.25. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafigi



Çekil 4.26. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının açısız kinetik enerji-zaman grafiği



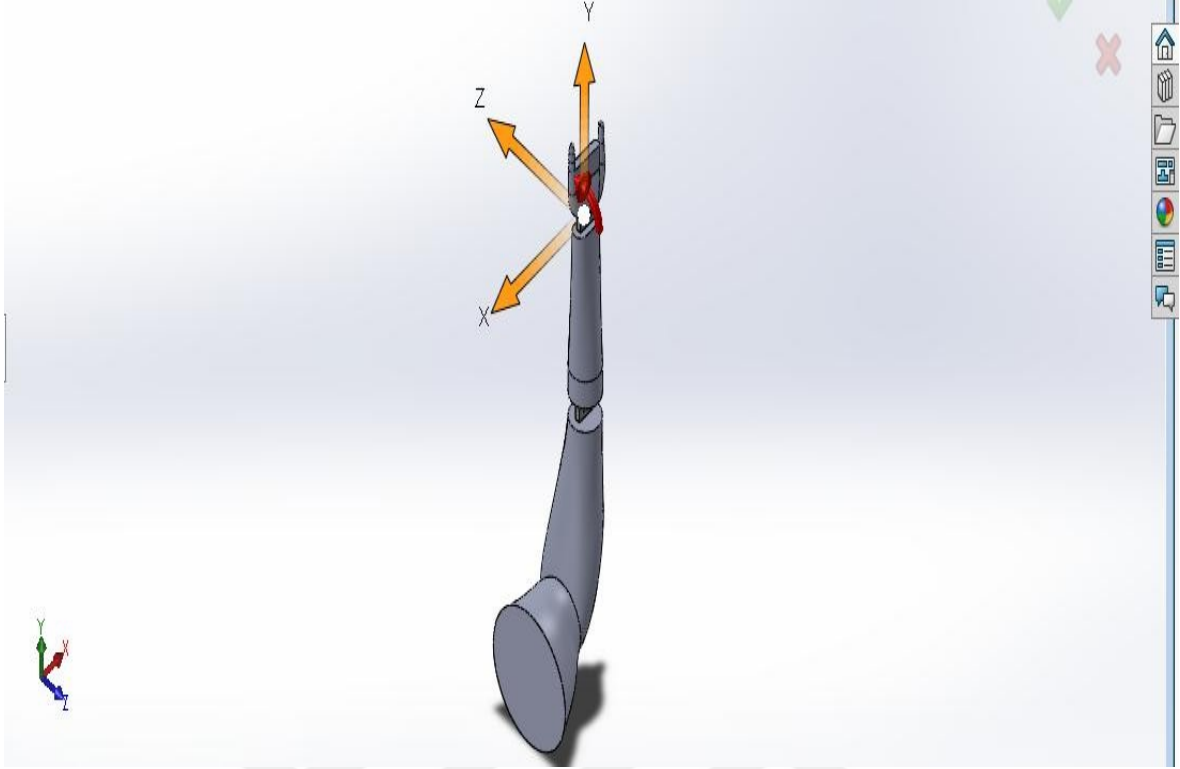
Çekil 4.27. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafiği



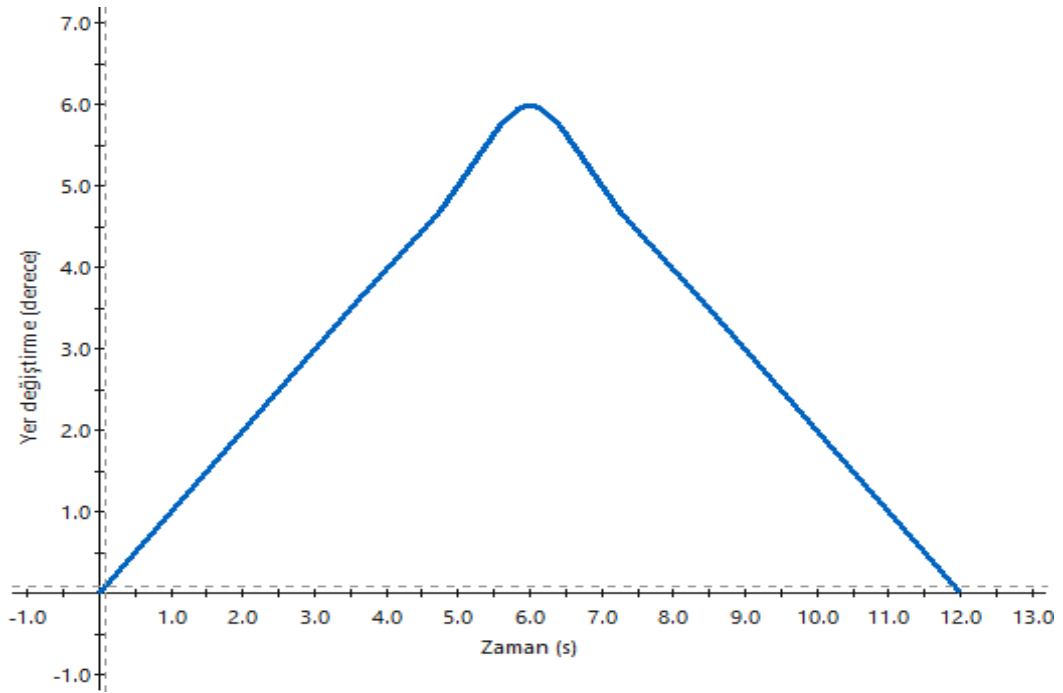
**Çekil 4.28.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının güç-zaman grafiği

#### 4.1.3. Bilek

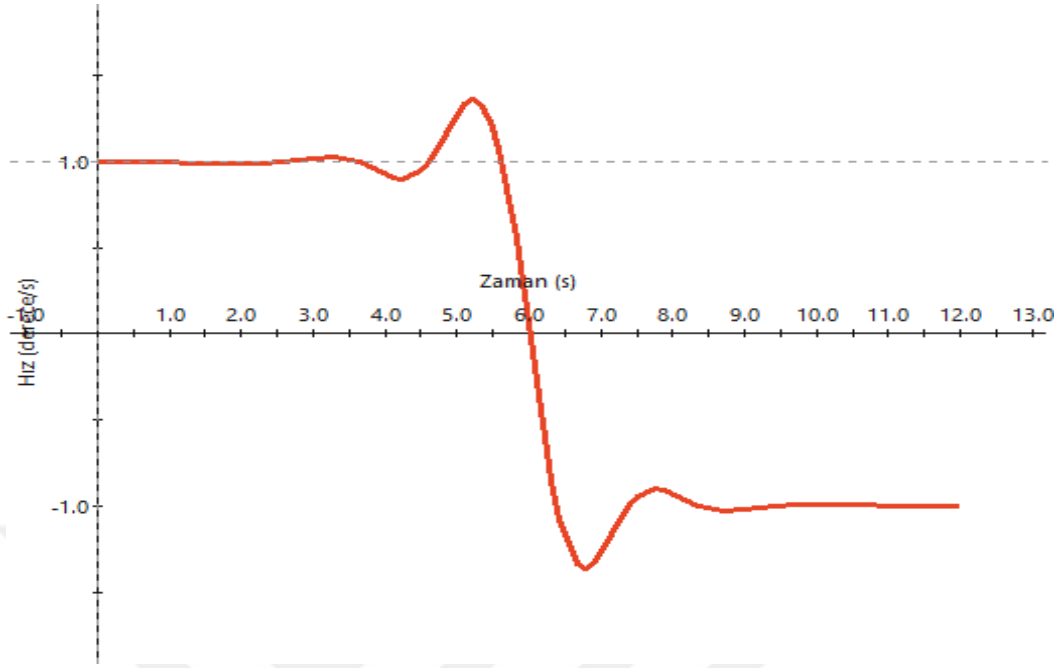
Sporcunun barfiks çekme hareketi yaparken kolunun bilek kısmı Çekil 4.29’da X,Y ve Z eksenlerinden Y ve Z eksenlerinde hareket ettiği görülmektedir. Bu sporcunun barfiks çekme hareketi yaparken hareket boyunca sporcu kolunun bileğinin Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı konum değişimi Çekil 4.30’da verilmiş olup maksimum hareket açısı  $6^\circ$  olarak belirlenmiştir. Bileğin Y ve Z eksenlerinde zamana bağlı hız değişimi Çekil 4.31’de verilmiş olup maksimum değeri  $+2$  derece/sn, minimum değeri  $-2$  derece/sn olduğu gözlemlenmiştir. Bileğin Y ve Z eksenlerinde zamana bağlı ivme değişimi Çekil 4.32’de verilmiş olup maksimum değeri yaklaşık olarak  $+1$  derece/sn<sup>2</sup>, minimum değeri ise yaklaşık olarak  $-3$  derece/sn<sup>2</sup> olduğu gözlemlenmiştir. Bileğin Y ve Z eksenlerinde zamana bağlı sarsılma değişimi Çekil 4.33’te verilmiş olup maksimum değerleri yaklaşık olarak  $+5$  derece/sn<sup>3</sup> ile  $-5$  derece/sn<sup>3</sup> arasında değişmektedir.



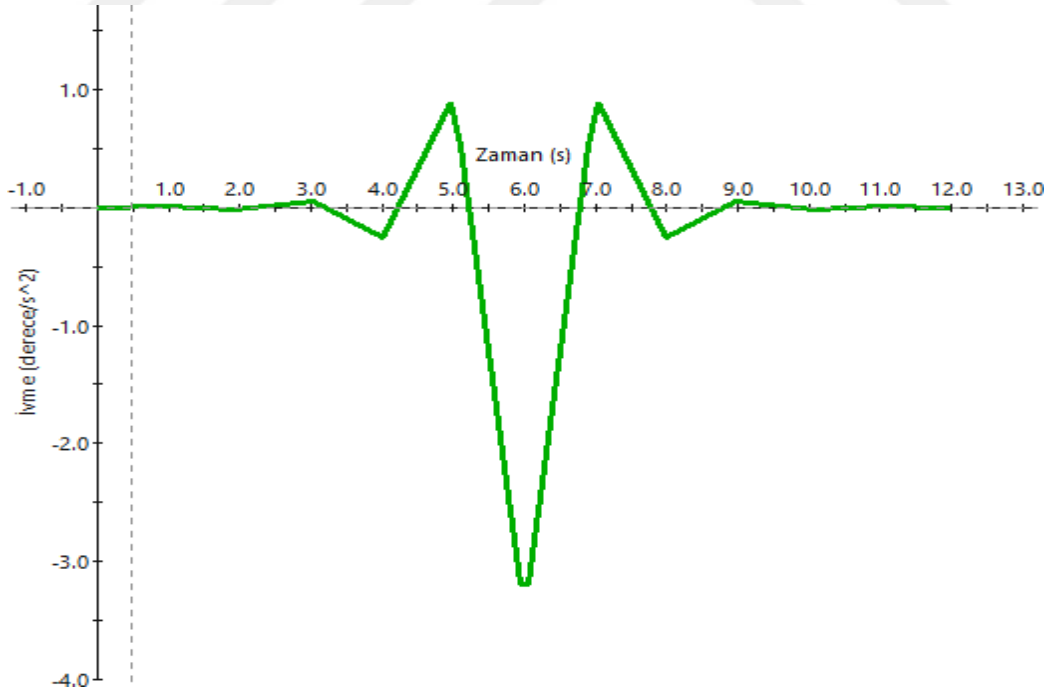
**Çekil 4.29.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının Solidworks ile gösterimi



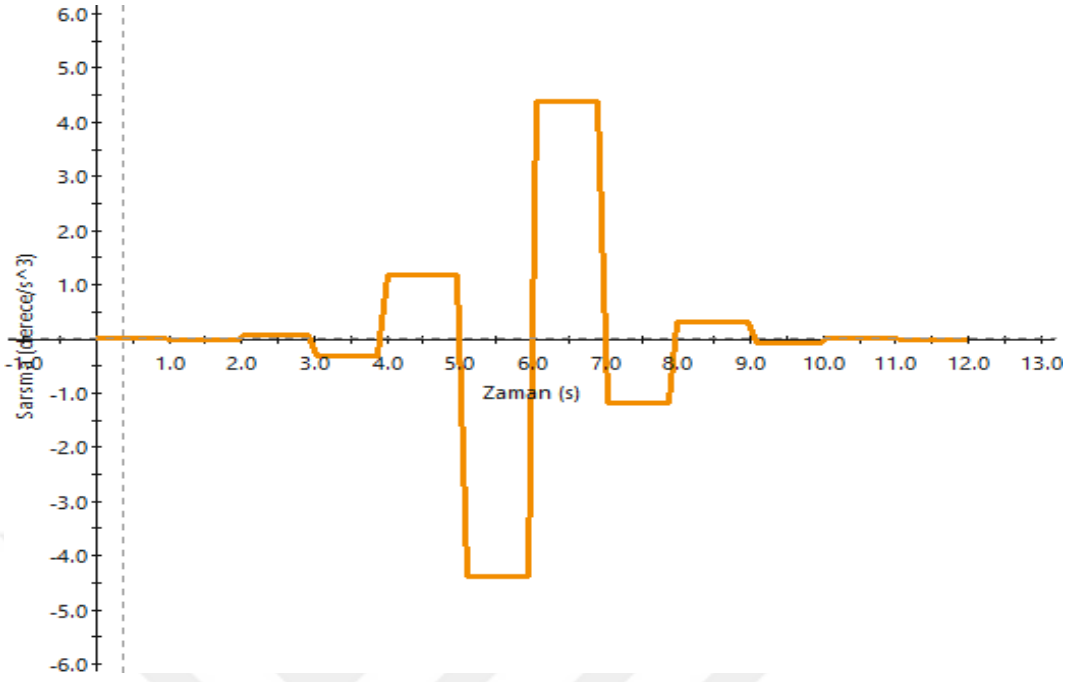
**Çekil 4.30.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının konum-zaman grafiği



**Çekil 4.31.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının hız-zaman grafiği

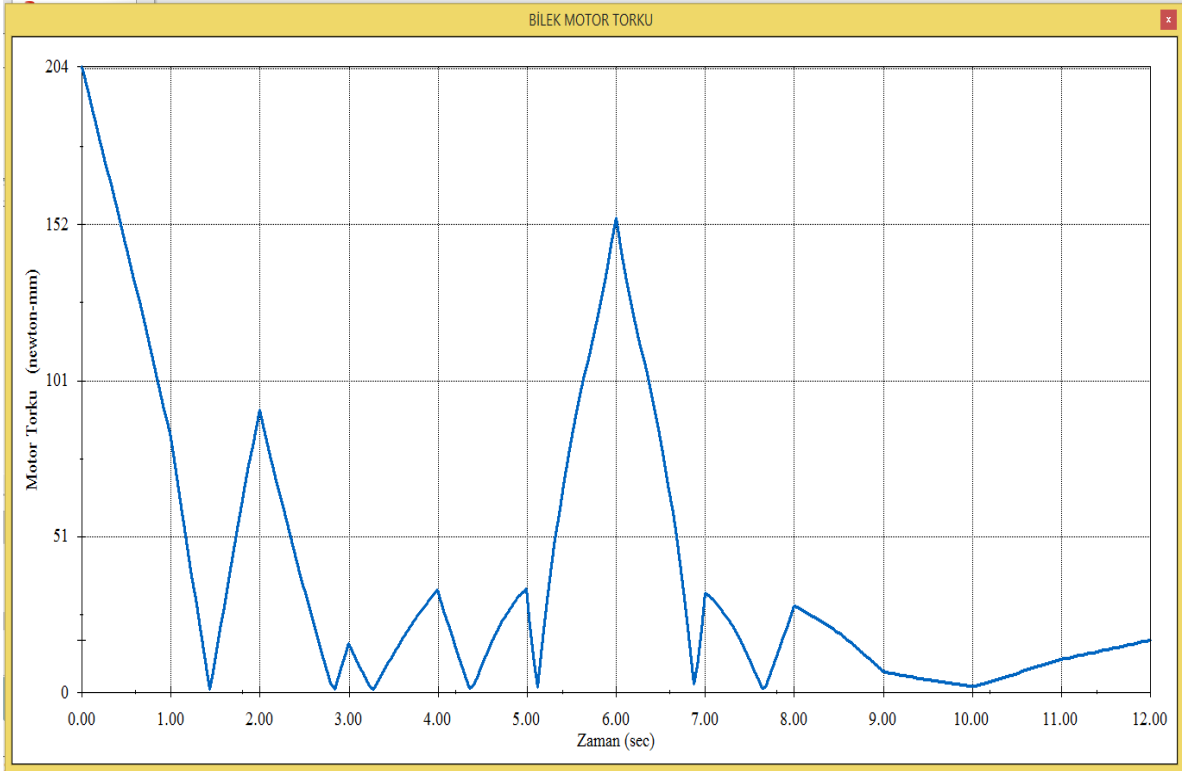


**Çekil 4.32.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ivme-zaman grafiği

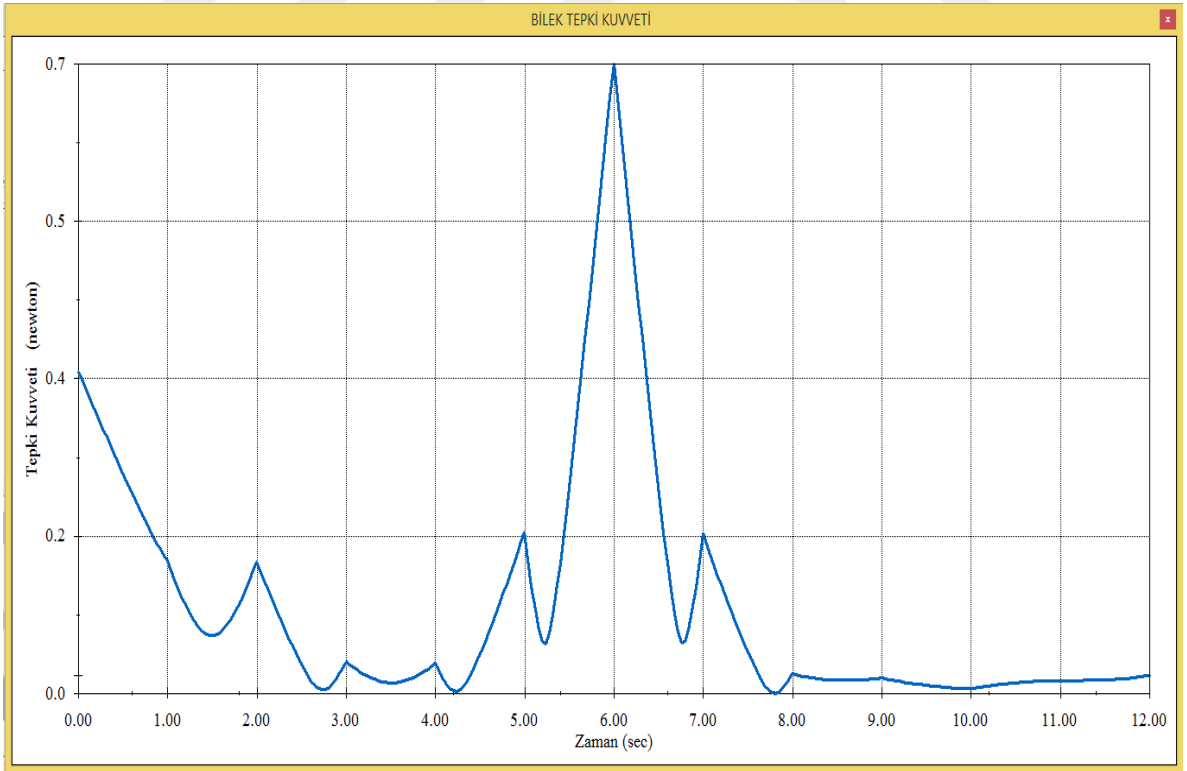


**Çekil 4.33.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının sarsılma-zaman grafiği

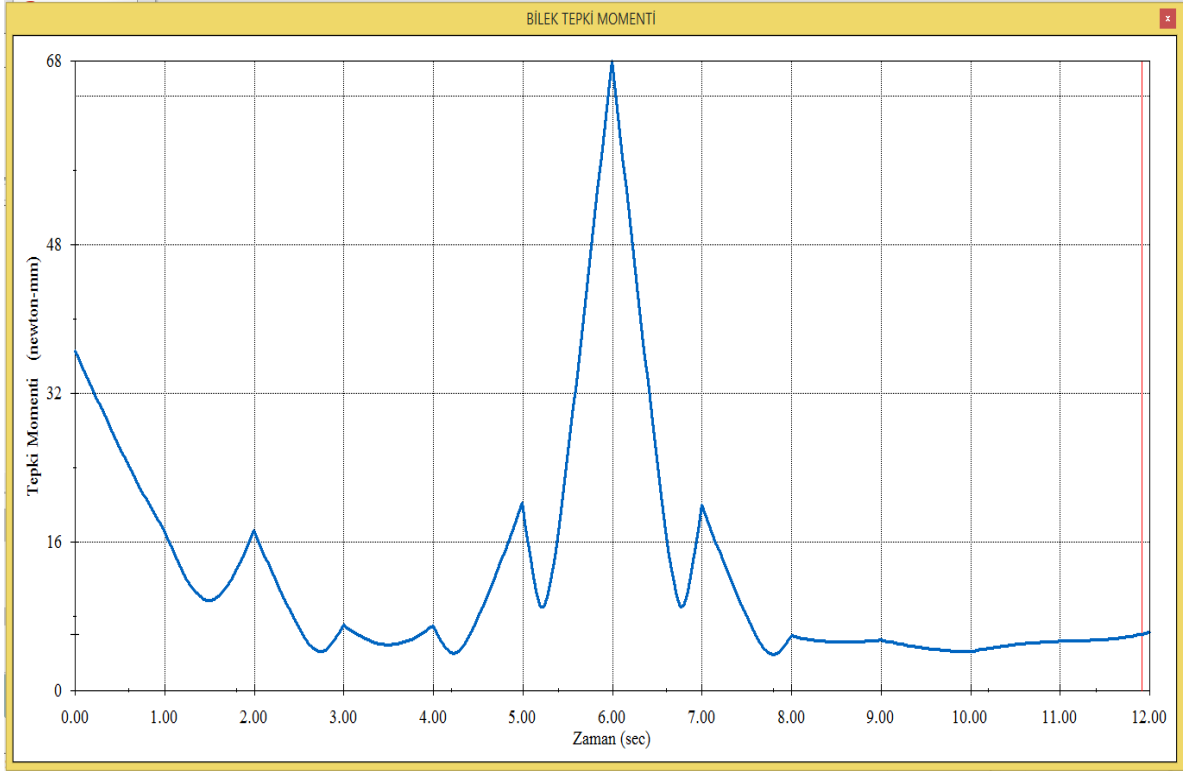
Sporcunun barfiks hareketi boyunca bileğin Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı tork değişimi Çekil 4.34'te verilmiş olup 0.sn'de maksimum değeri yaklaşık olarak 204 N.mm olduğu görülmüştür. Bileğin Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı kuvvet değişimi Çekil 4.35'te verilmiş olup 0.sn'de yaklaşık olarak 0.4 N olduğu, 6.sn'de maksimum değerini aldığını ve yaklaşık değerinin 0.7 N olduğu görülmüştür. Bileğin Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı tepki momenti değişimi Çekil 4.36'da verilmiş olup 0.sn'de yaklaşık olarak 34 N.mm olduğu, maksimum değerini 6.sn'de alıp yaklaşık olarak 68 N.mm olduğu gözlemlenmiştir. Bileğin Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı ötelenme momenti değişimi Çekil 4.37'de verilmiş olup hareket boyunca değerinin 0 N.sn olduğu görülmüştür.



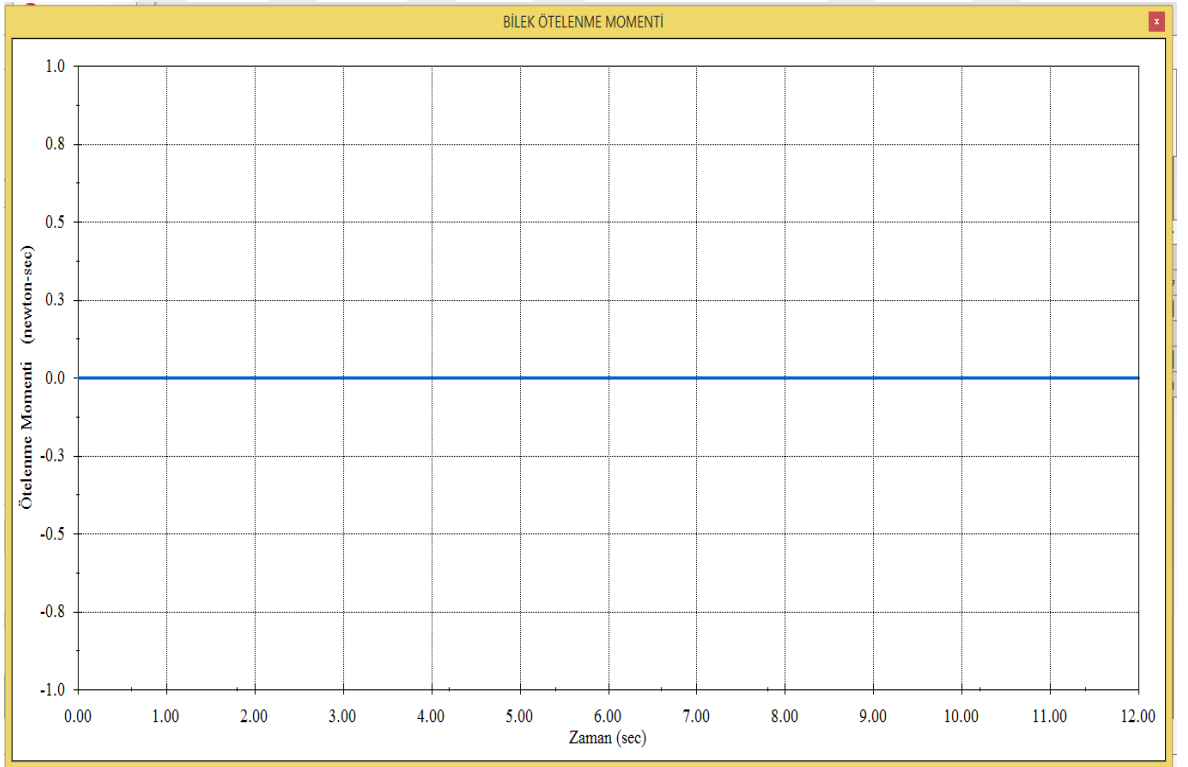
Çekil 4.34. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının tork-zaman grafiği



Çekil 4.35. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının kuvvet-zaman grafiği

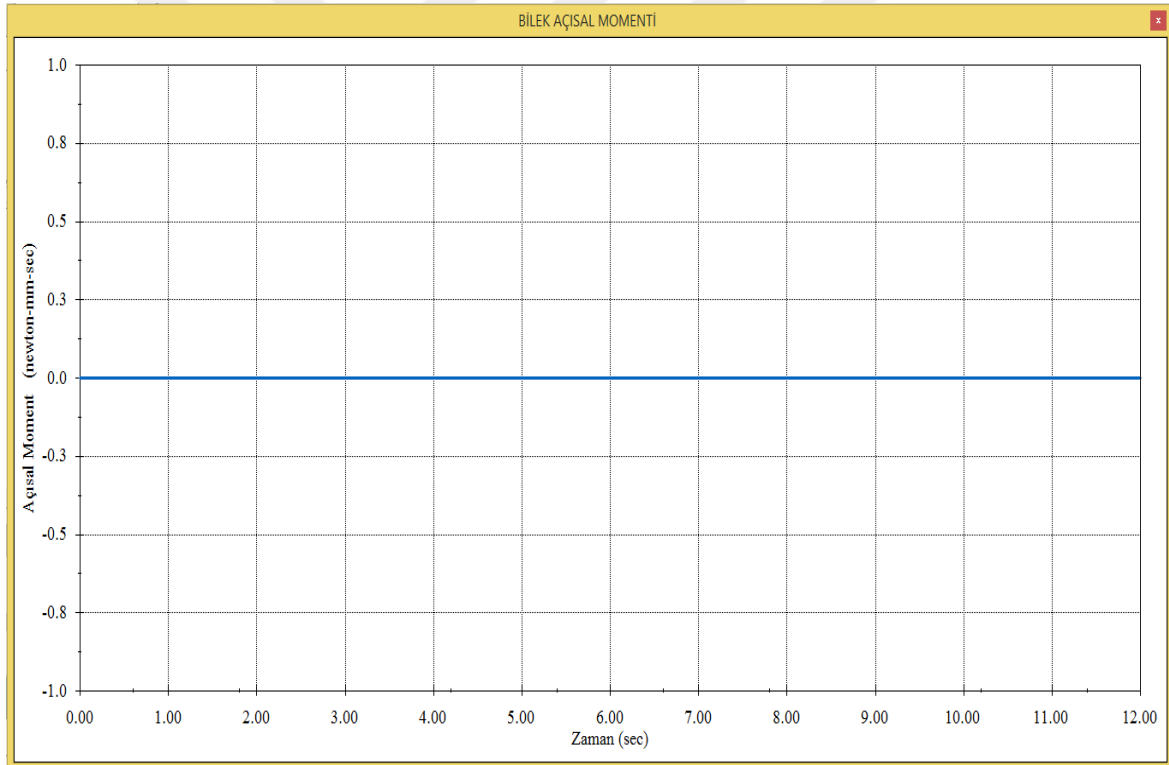


Çekil 4.36. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının tepki momenti-zaman grafiği

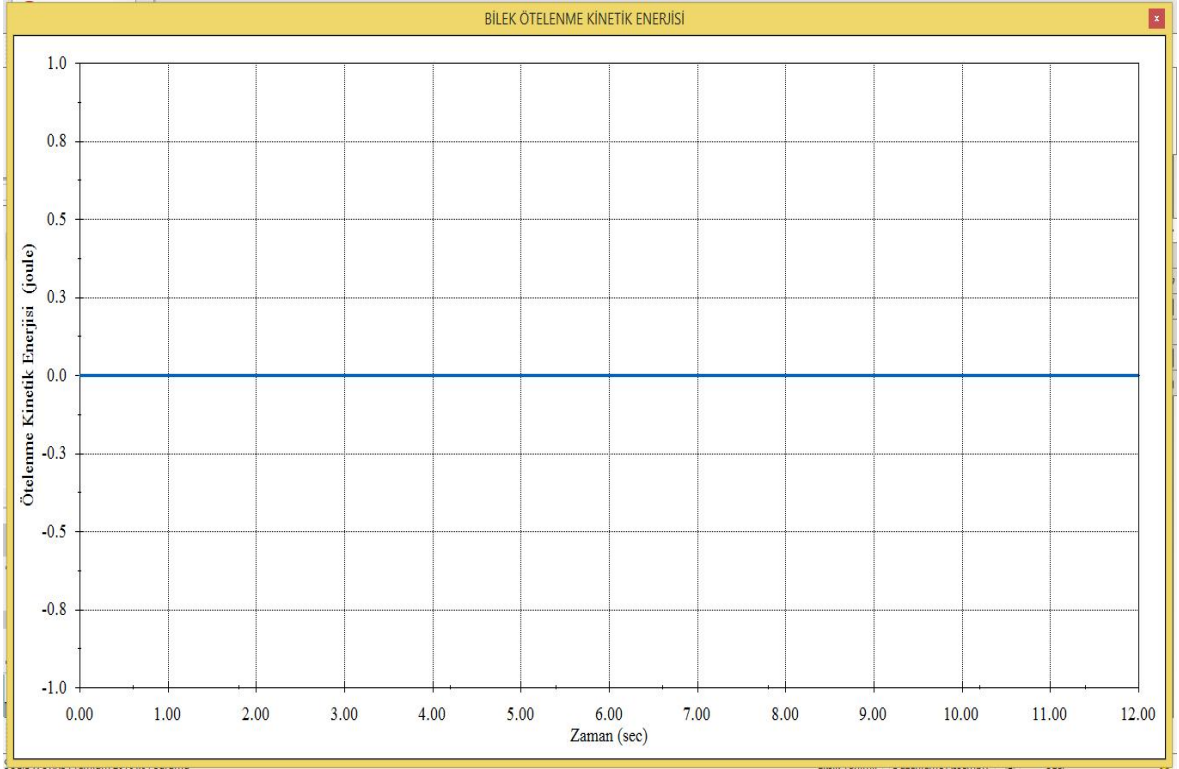


Çekil 4.37. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ötelenme momenti-zaman grafiği

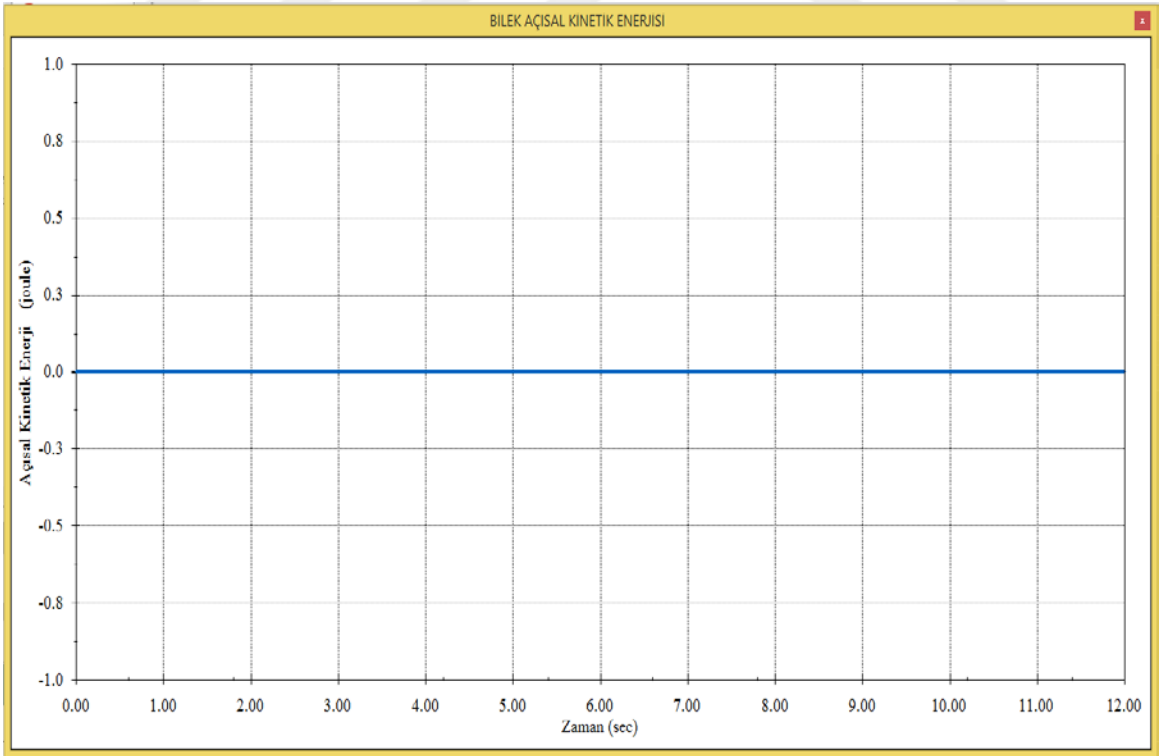
Bilegin Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağılı açısal moment değişimi Şekil 4.38’de verilmiş olup barfiks hareketi boyunca açısal moment değerinin 0 N.mm.sn olduğu görülmüştür. Barfiks hareketi boyunca sporcu bileğinin Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağılı ötelenme kinetik enerjisi Şekil 4.39’da verilmiş olup hareket boyunca değerinin 0 J olduğu görülmüştür. Bilegin Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağılı meydana gelen açısal kinetik enerji değişimi Şekil 4.40’da verilmiş olup hareket boyunca değerinin 0 J olduğu görülmüştür. Bilegin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağılı toplam kinetik enerji değişimi Şekil 4.41’de verilmiş olup hareket boyunca değerinin 0 J olduğu görülmüştür. Barfiks hareketi boyunca bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağılı güç değişimi Şekil 4.42’de verilmiş olup hareket boyunca güç değişimi yaklaşık olarak -0.004 watt ile +0.002 watt arasında değiştiği görülmüştür.



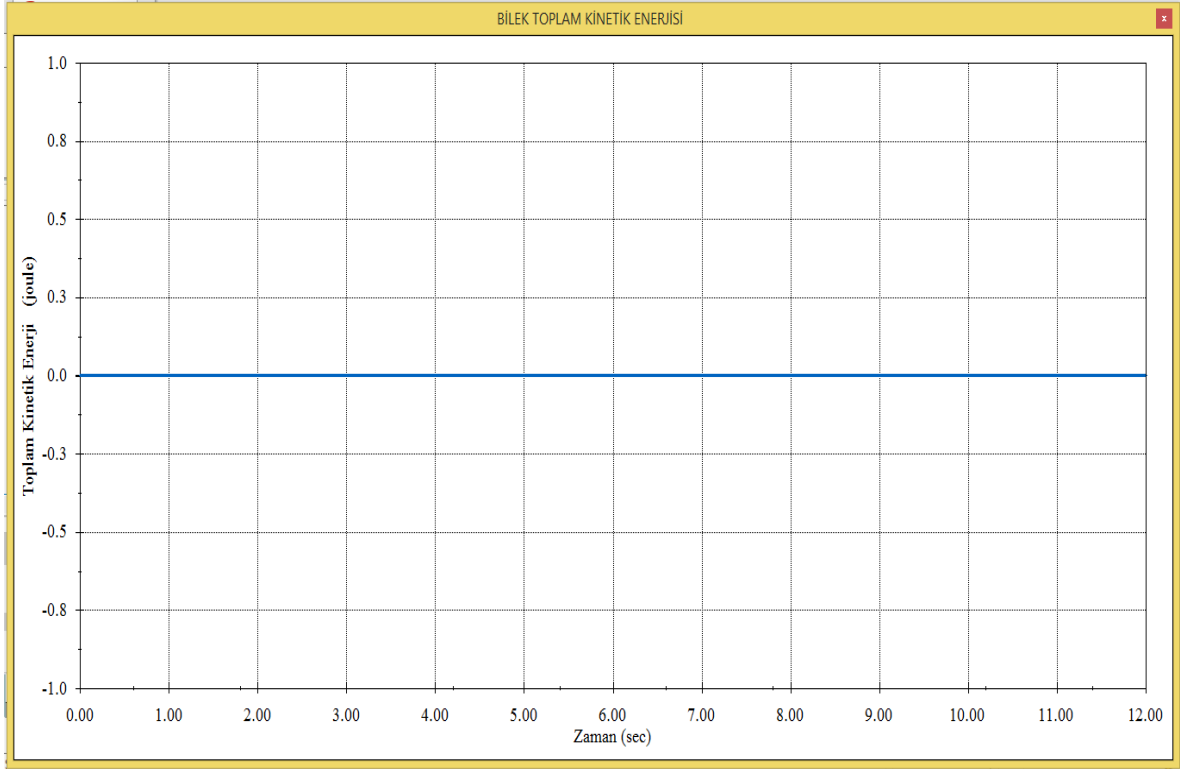
**Şekil 4.38.** Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının açısal moment-zaman grafiği



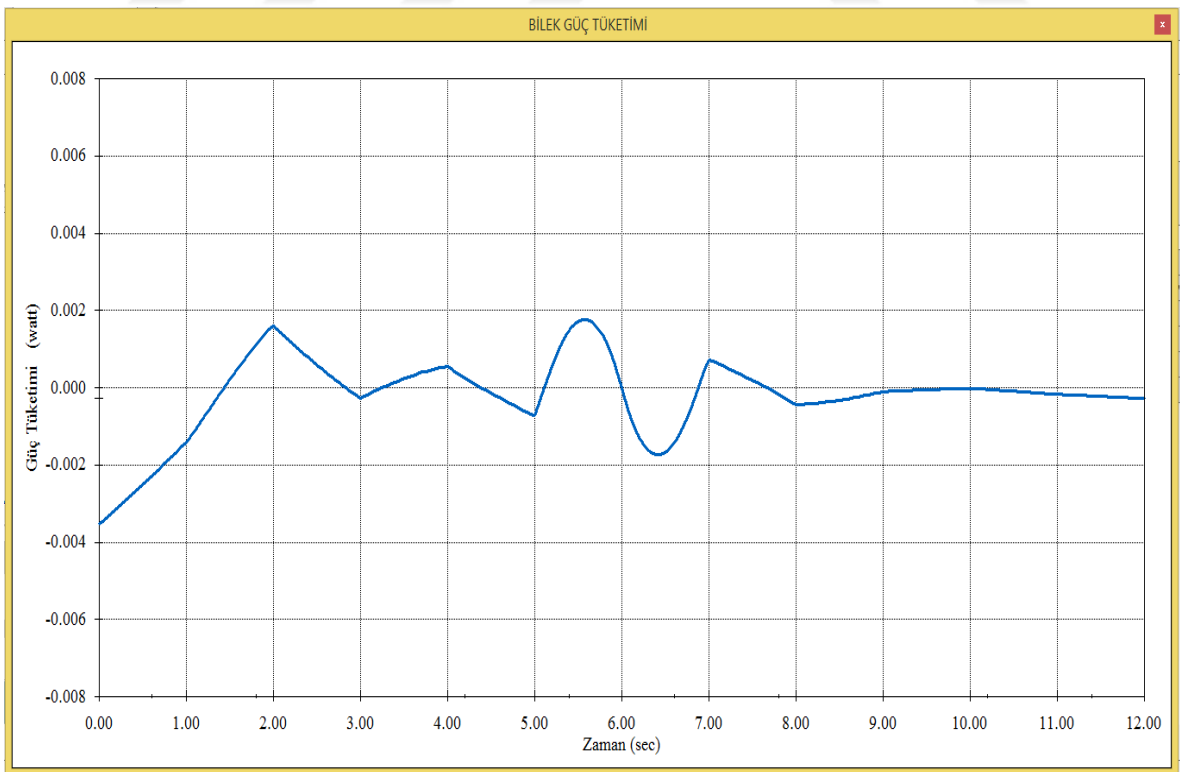
Çekil 4.39. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafiği



Çekil 4.40. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının açisal kinetik enerji-zaman grafiği



Çekil 4.41. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafiği



Çekil 4.42. Barfiks çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının güç-zaman grafiği

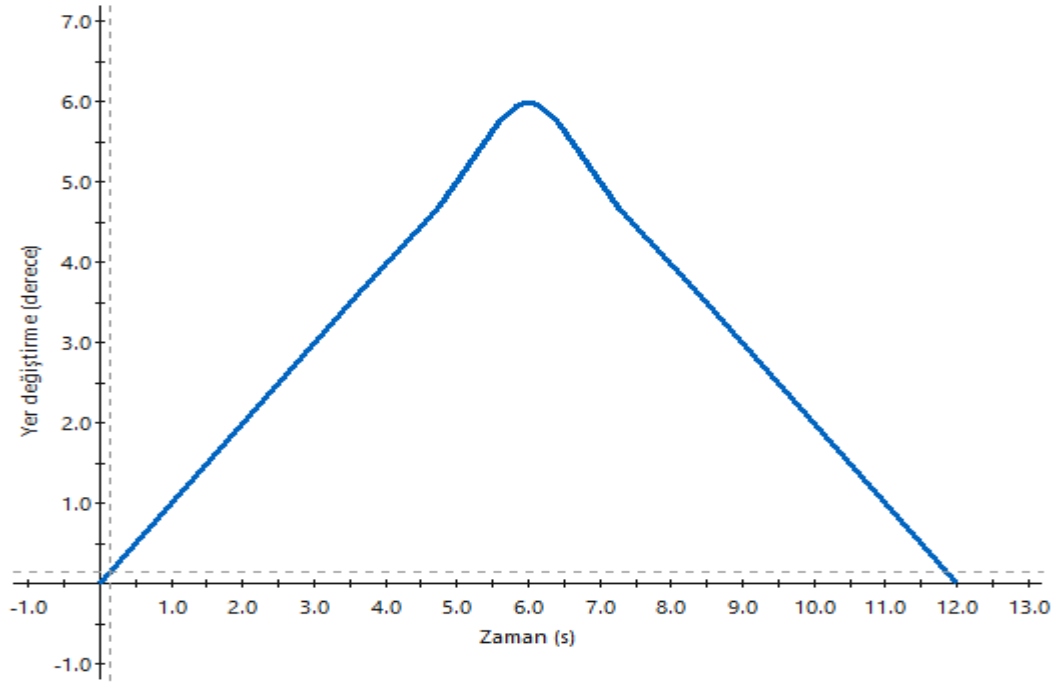
## 4.2. Dambıl Kaldırma Hareketi

### 4.2.1. Omuz

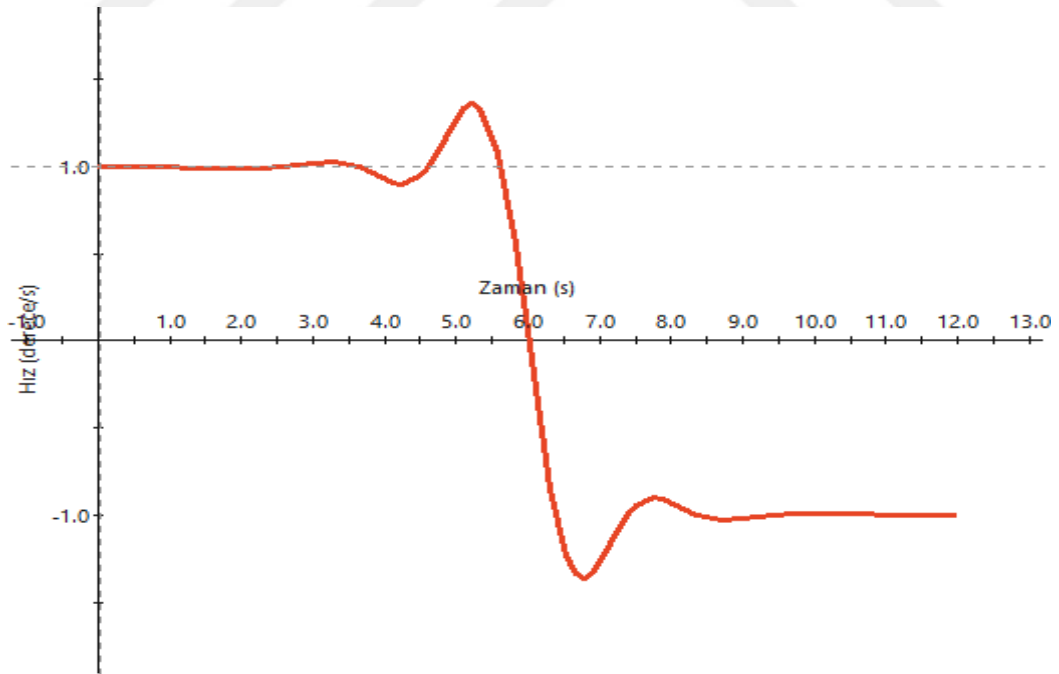
Şekil 4.43'te gösterilen sporcu bir insan kolunun omuz kısmının dambıl kaldırma hareketi boyunca Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı konum değişimi Şekil 4.44'de verilmiş olup maksimum açısal değeri  $6^\circ$  olarak belirlenmiştir. Omuzun Y ve Z eksenlerinde zamana bağlı hız değişimi Şekil 4.45'te verilmiş olup maksimum değeri yaklaşık olarak  $+1.5$  derece/sn, minimum değeri ise  $-1.5$  derece/sn arasında değiştiği görülmüştür. Omuzun Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı ivme değişimi Şekil 4.46'da verilmiş olup maksimum değeri yaklaşık olarak  $+1$  derece/sn<sup>2</sup> iken minimum değeri yaklaşık olarak  $-4$  derece/sn<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. Omuzun Y ve Z eksenlerinde zamana bağlı sarsılma değişimi Şekil 4.47'de verilmiş olup 5-6sn'ler arasında minimum değerini alırken 6-7sn'ler arasında maksimum değerini almıştır.



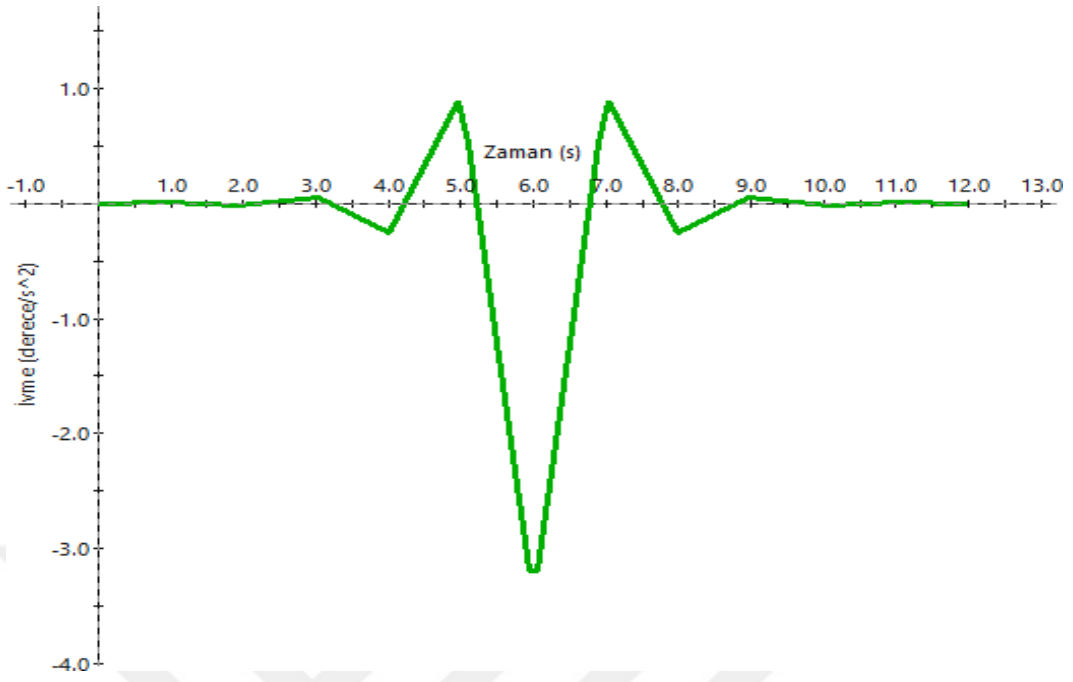
Şekil 4.43. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının Solidworks ile gösterimi



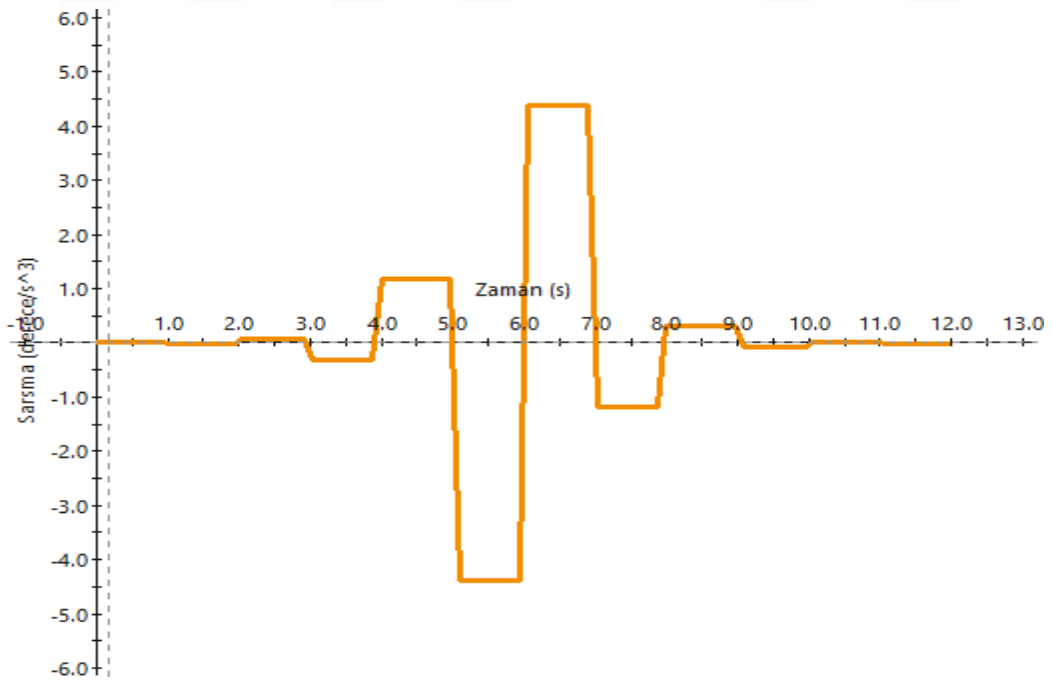
**Çekil 4.44.** Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının konum-zaman grafiği



**Çekil 4.45.** Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının hız-zaman grafiği

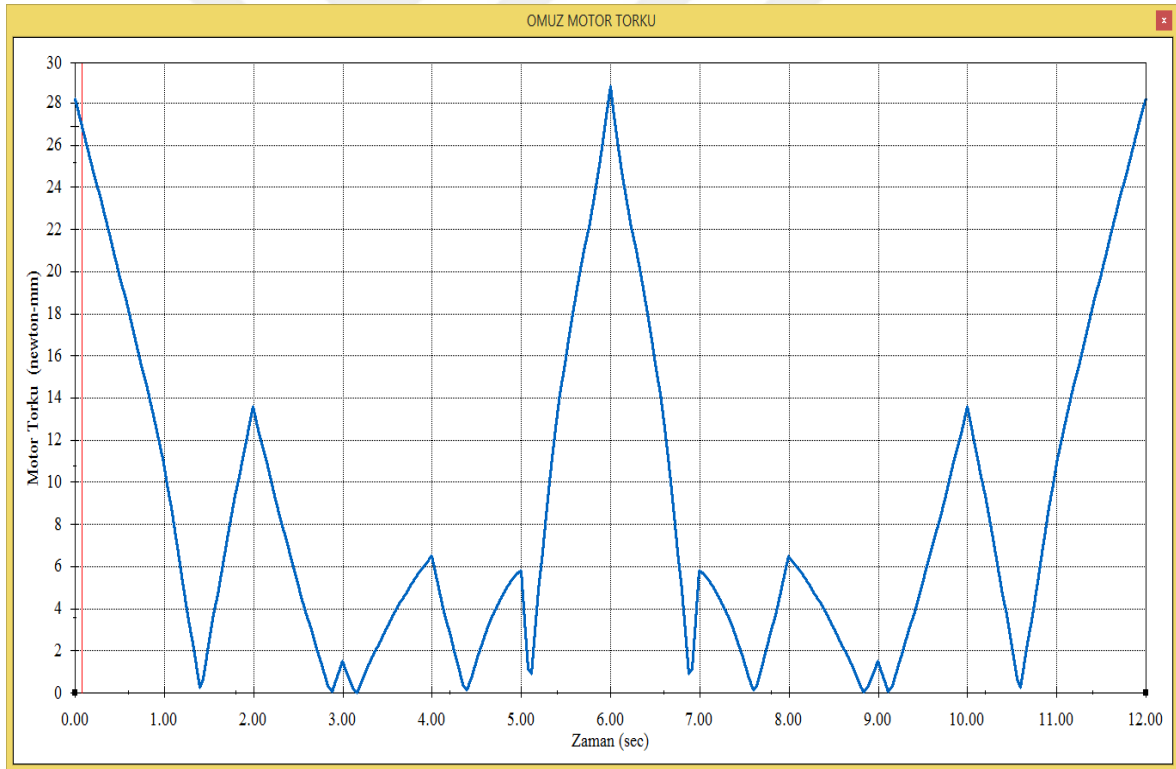


Çekil 4.46. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ivme-zaman grafiği

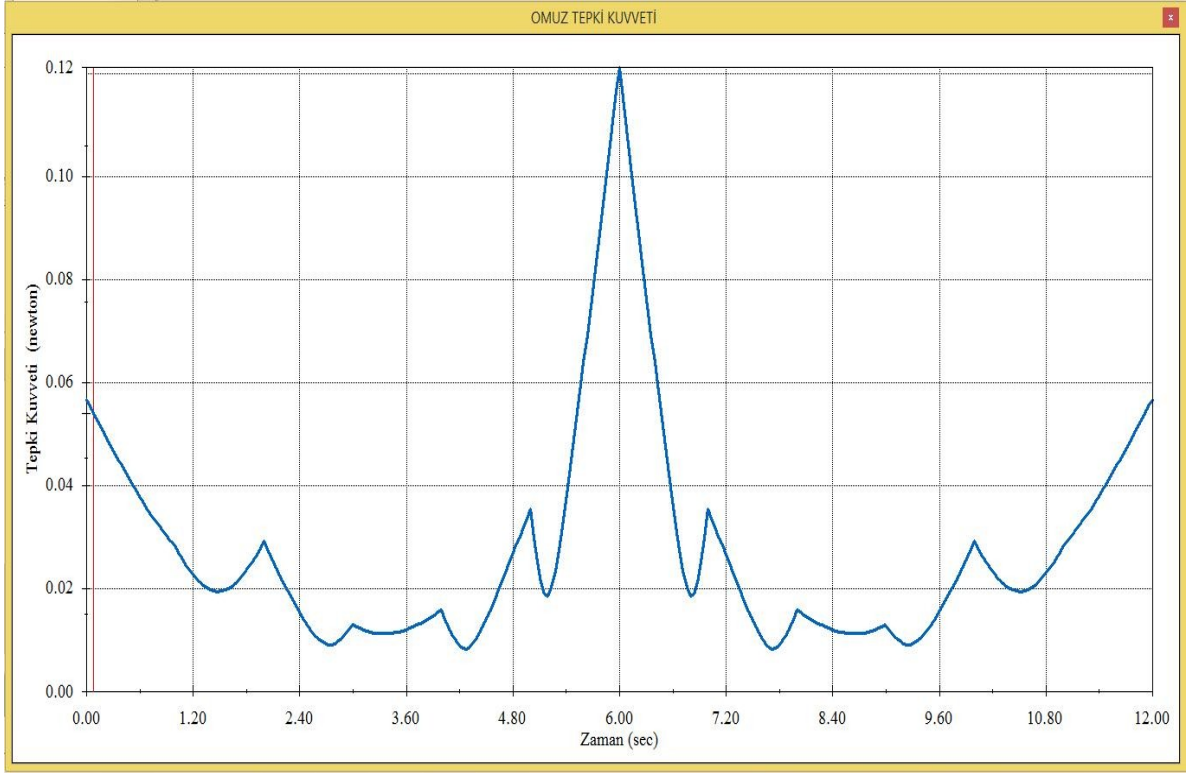


Çekil 4.47. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının sarsılma-zaman grafiği

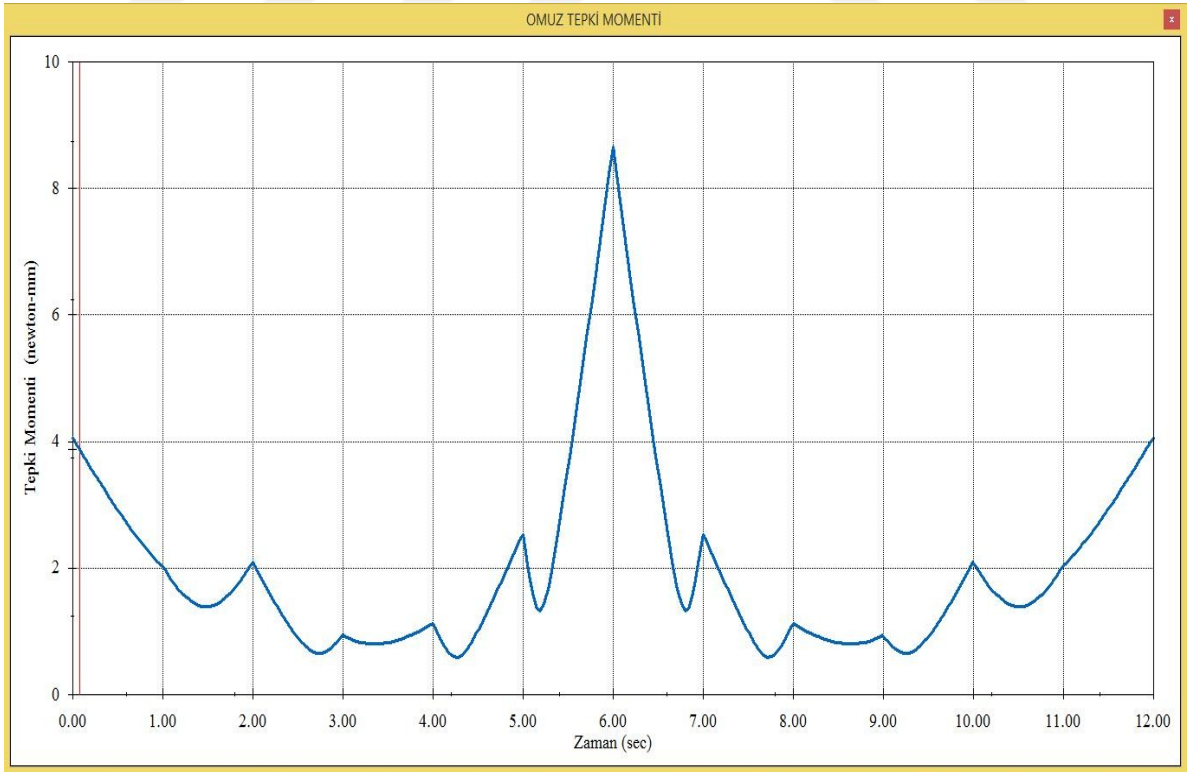
Omuzun Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı tork değişimi Şekil 4.48’de verilmiş olup 0.sn’de 28 N.mm iken maksimum değerini 6.sn’de yaklaşık 30 N.mm olarak almıştır. Omuzun Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı kuvvet değişimi Şekil 4.49’da verilmiş olup 0.sn’de yaklaşık olarak 0.06 N değerini alırken maksimum değerini 6.sn’de 0.12 N olarak aldığı görülmüştür. Omuzun Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı tepki momenti değişimi Şekil 4.50’de verilmiş olup 0.sn’de 4 N.mm, 6.sn’de ise maksimum değerin yaklaşık olarak 10 N.mm olduğu görülmüştür. Omuzun Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı ötelenme momenti değişimi Şekil 4.51’de, verilmiş olup 0.sn’de yaklaşık olarak 3118 N.sn olurken, 5sn-6sn ve 6sn-7sn arasında maksimum değerini yaklaşık olarak 4157 N.sn olduğu görülmüştür.



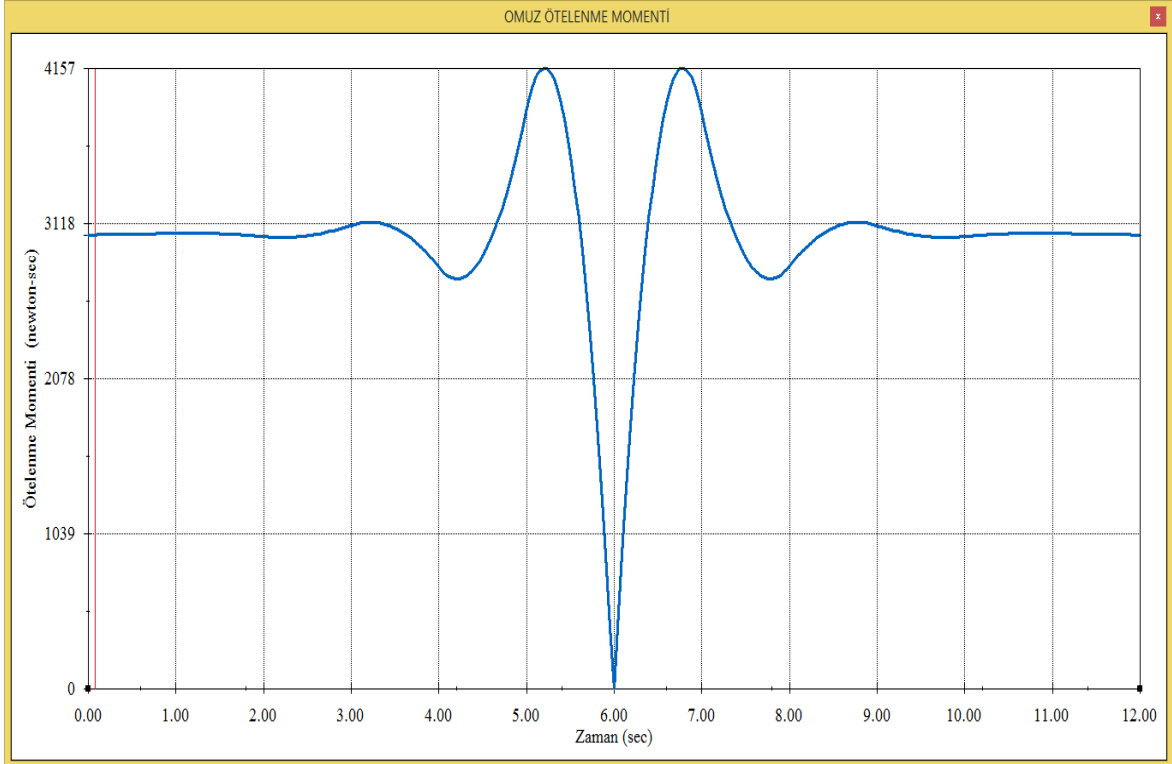
**Şekil 4.48.** Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının tork-zaman grafiği



Çekil 4.49. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının kuvvet-zaman grafiği

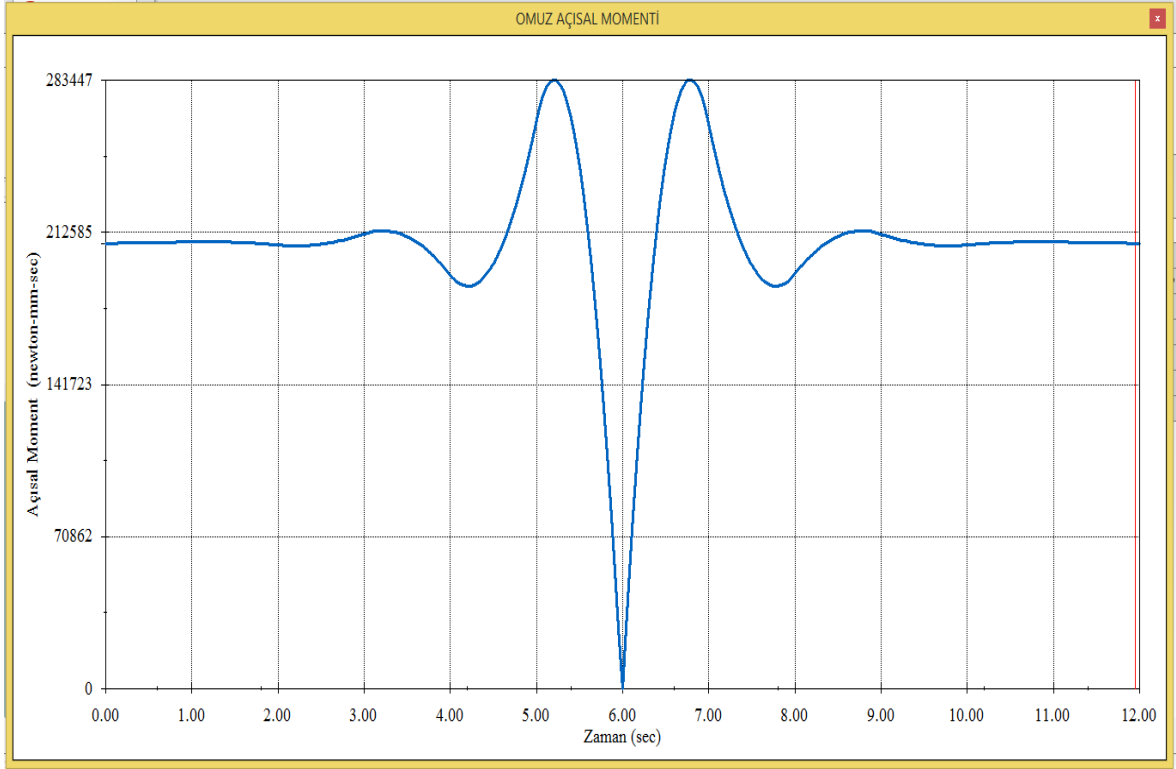


Çekil 4.50. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının tepki momenti-zaman grafiği

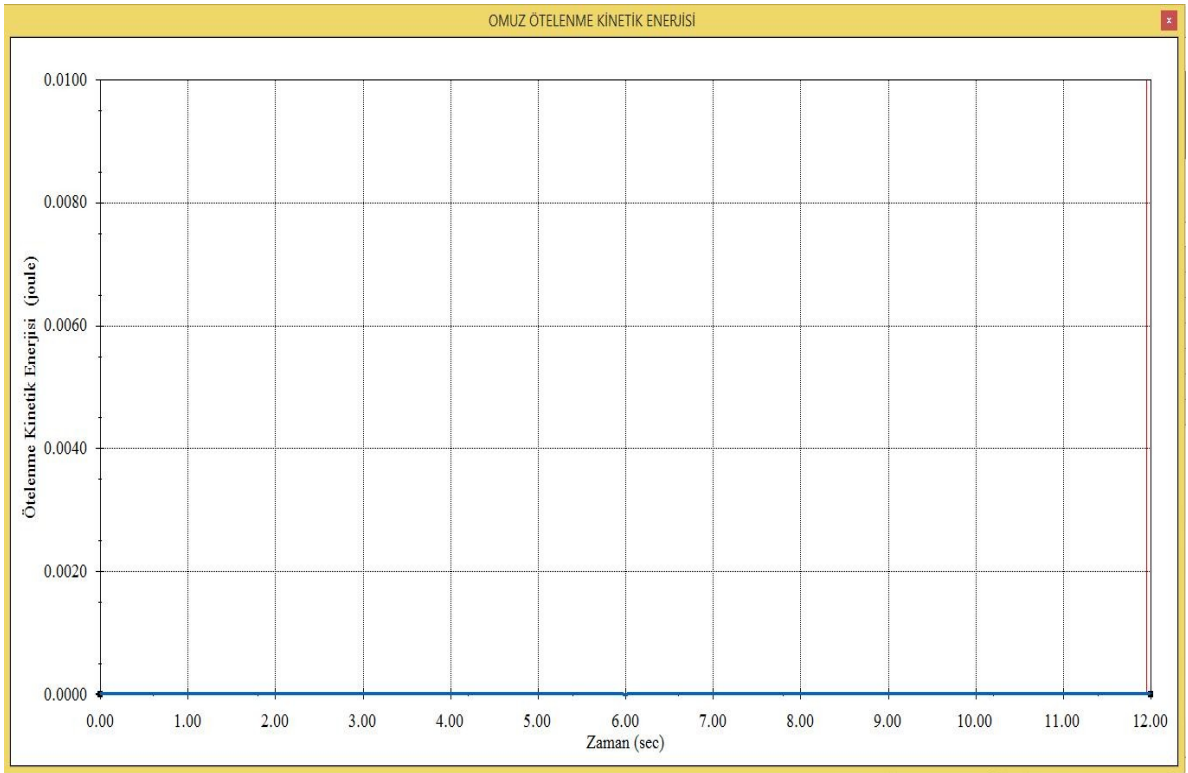


Çekil 4.51. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ötelenme momenti-zaman grafiği

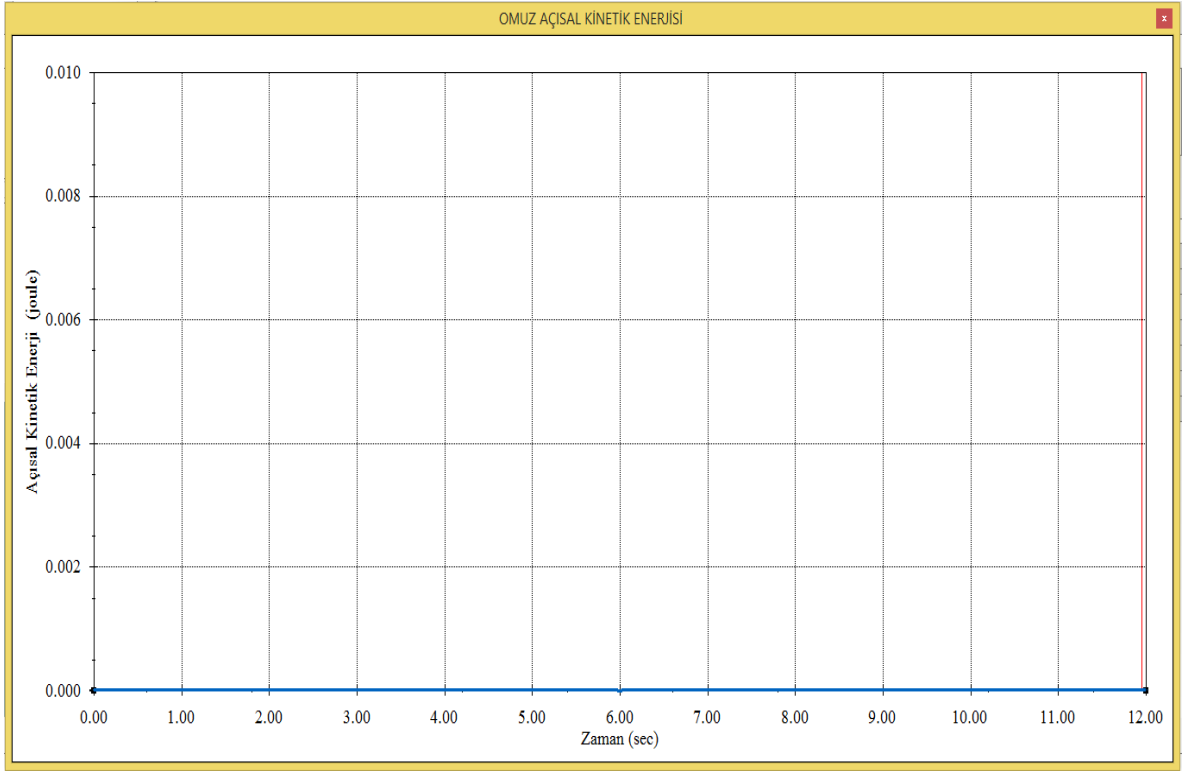
Omuzun Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı açısal moment Çekil 4.52’de verilmişken maksimum 5sn-6sn ile 6sn-7sn arasında yaklaşık olarak 283447 N.mm.sn iken 6.sn’de minimum değerini 0 N.mm.sn olarak aldığı görülmüştür. Omuzun Y ve Z eksenlerinde oluşan zamana bağlı ötelenme kinetik enerjisi Çekil 4.53’te verilmiş olup hareket boyunca değerinin 0 j olduğu görülmüştür. Omuzun Y ve Z eksenlerinde hareket ederken meydana gelen zamana bağlı açısal kinetik enerjisi Çekil 4.54’te verilmişken hareket boyunca değerinin 0 j olduğu görülmüştür. Omuzun Y ve Z eksenleri boyunca hareket ederken meydana gelen zamana bağlı toplam kinetik enerji değişimi Çekil 4.55’te verilmişken hareket boyunca değerinin 0 j olduğu görülmüştür. Dambıl kaldırma hareketi boyunca omuzun Y ve Z eksenlerinde zamana bağlı güç değişimi Çekil 4.56’te verilmiş olup 0.sn’de maksimum değerini alarak yaklaşık olarak 0.00050 watt, minimum değerini 12.sn’de yaklaşık olarak -0.00050 watt olduğu görülmüştür.



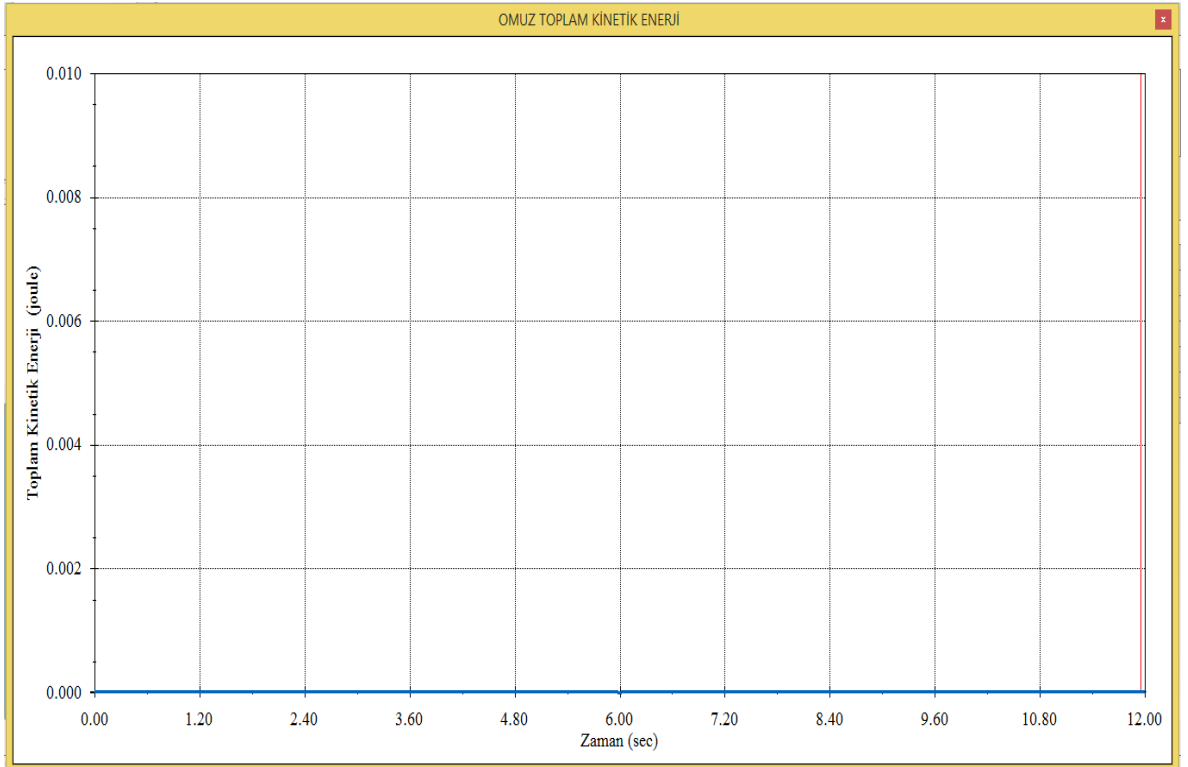
Çekil 4.52. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının açisal moment-zaman grafigi



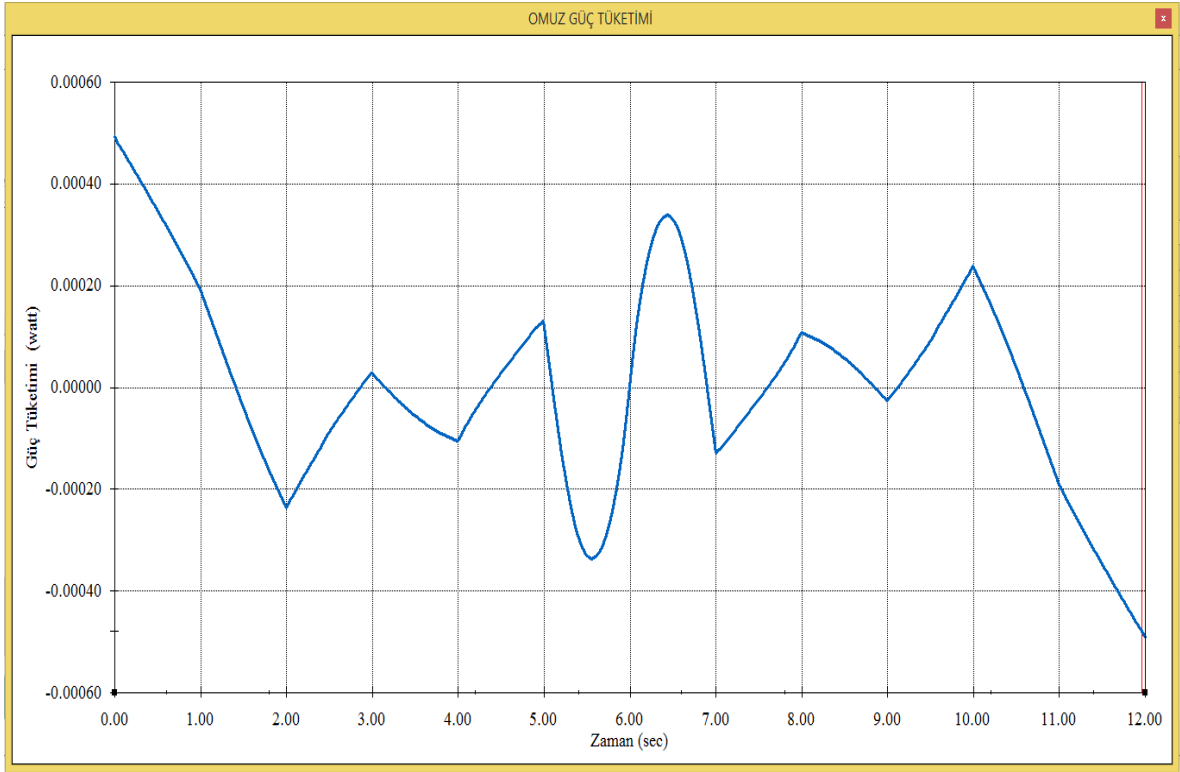
Çekil 4.53. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafigi



Çekil 4.54. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının açisal kinetik enerji-zaman grafigi



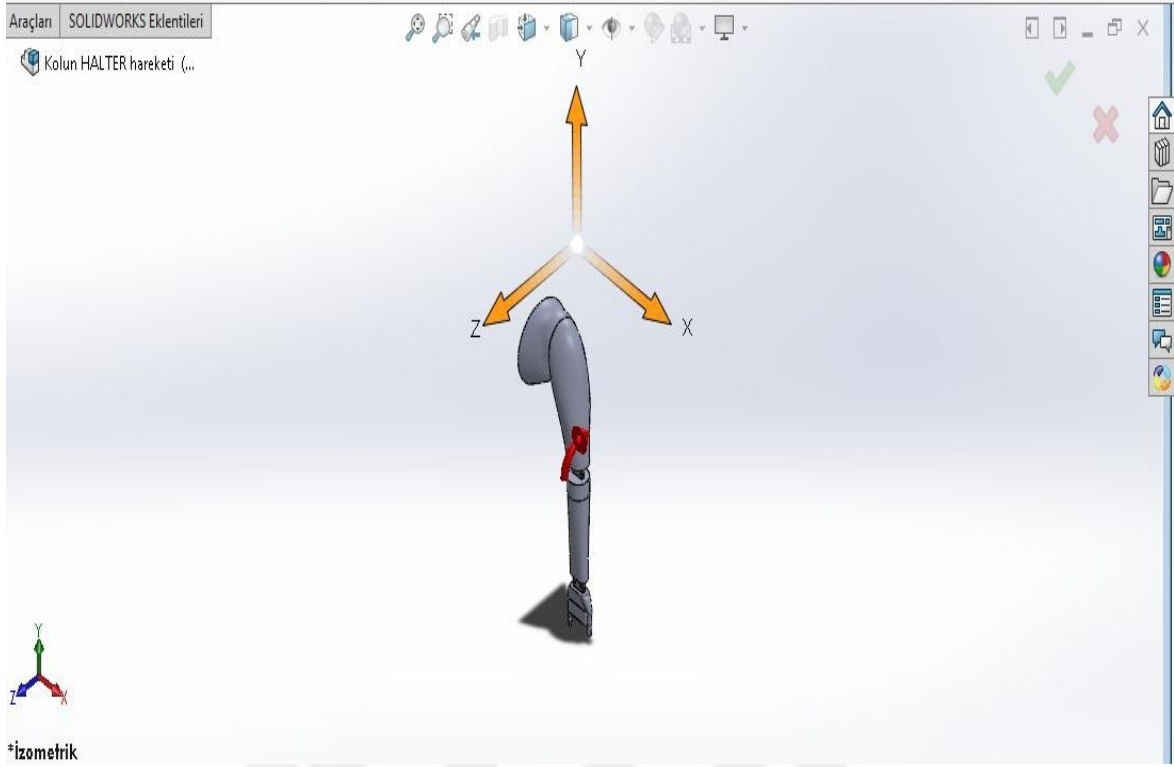
Çekil 4.55. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafigi



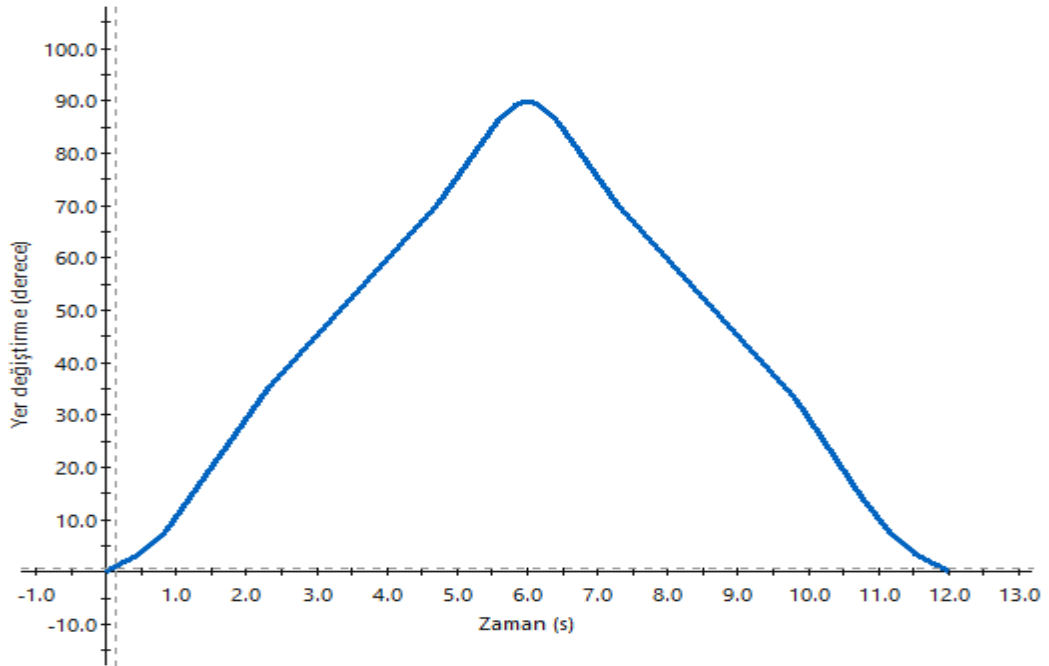
**Çekil 4.56.** Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının güç-zaman grafiği

#### 4.2.2. Dirsek

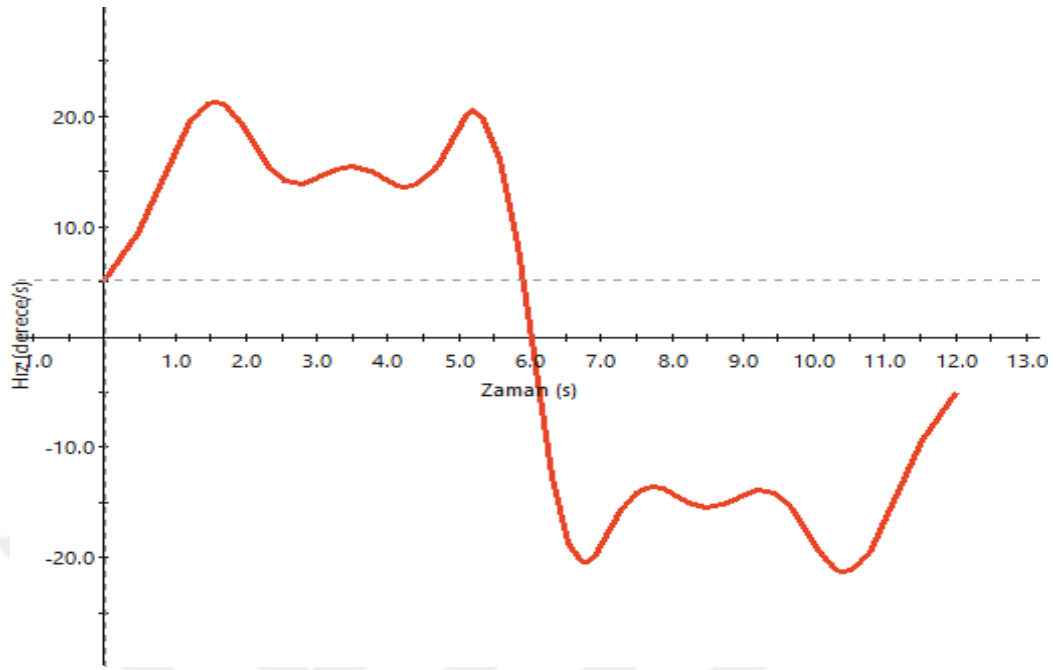
Çekil 4.57’te sporcu kolunun dirsek kısmının X,Y ve Z eksenleri gösterilmiştir. Bir sporcunun dambıl kaldırma çekme hareketi yaparken kolunun dirsek kısmının hareket boyunca Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı konum değişimi Çekil 4.58’de verilmiş olup maksimum açı değeri  $90^\circ$  olarak belirlenmiştir. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı hız değişimi Çekil 4.59’da verilmiş olup maksimum değeri yaklaşık olarak  $+25$  derece/sn, minimum değeri ise  $-25$  derece/sn olduğu görülmüştür. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ivme değişimi Çekil 4.60’ta verilmiş olup maksimum değeri yaklaşık olarak  $+20$  derece/sn<sup>2</sup> iken 6.sn’de minimum değeri  $-50$  derece/sn olduğu görülmüştür. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı sarsılma değişimi Çekil 4.61’de verilmiş olup 5sn-6sn arasında minimum değerine ulaştığı ve yaklaşık olarak  $-45$  derece/sn<sup>3</sup> olduğu, 6sn-7sn arasında ise maksimum değerine ulaştığı ve bu değerin yaklaşık olarak  $+45$  derece/sn<sup>3</sup> olduğu görülmüştür.



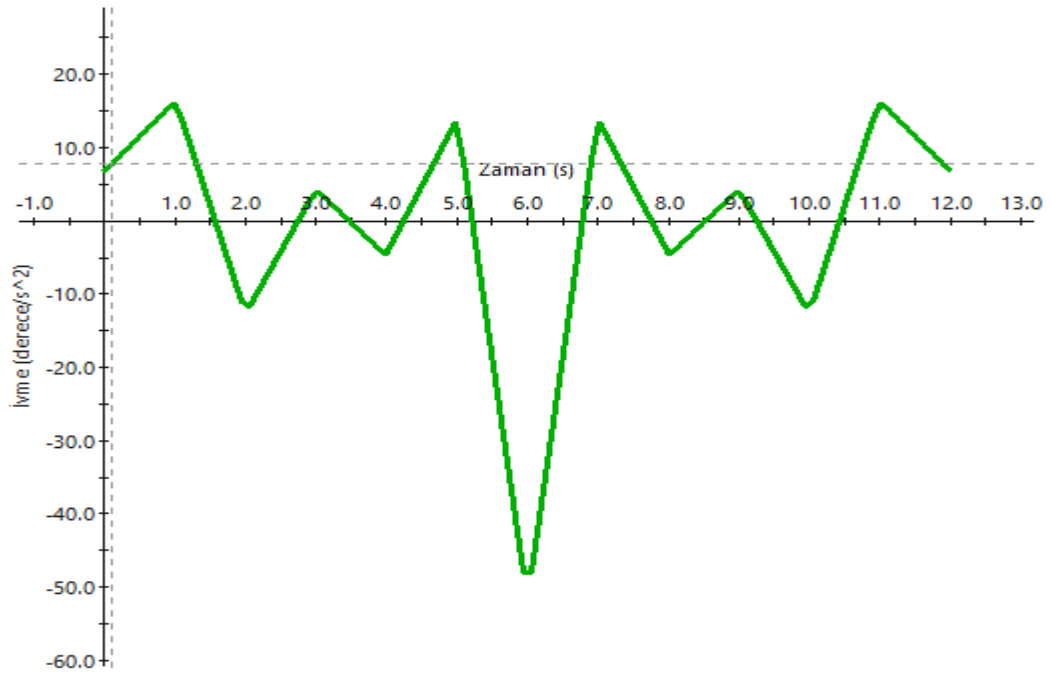
**Çekil 4.57.** Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının Solidworks ile gösterimi



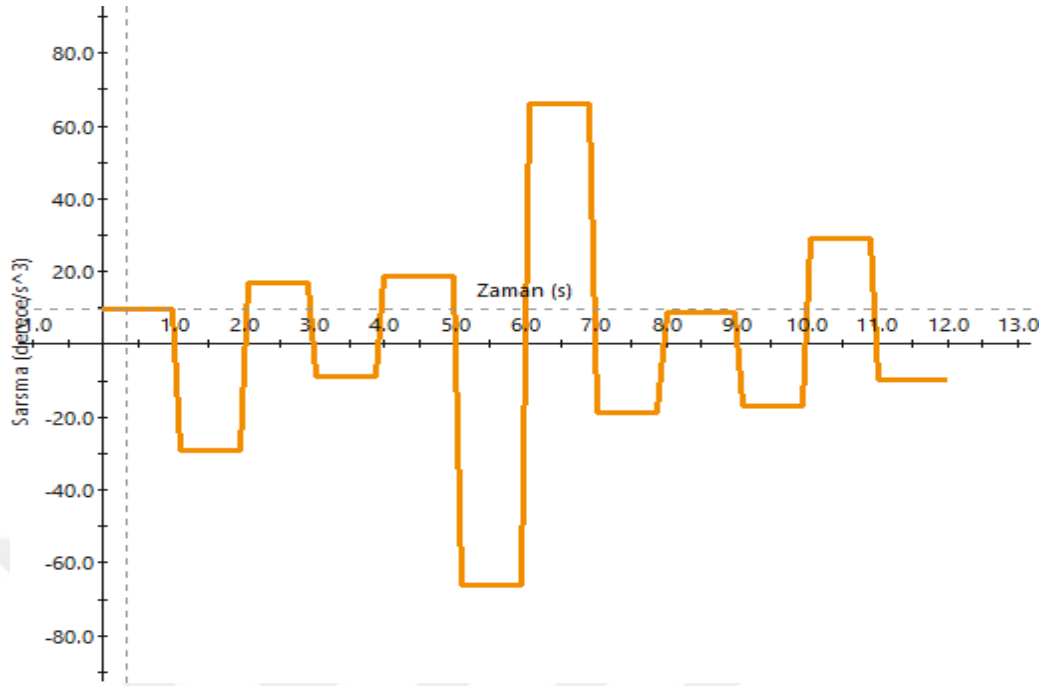
**Çekil 4.58.** Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının konum-zaman grafiği



**Çekil 4.59.** Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının hız-zaman grafiği

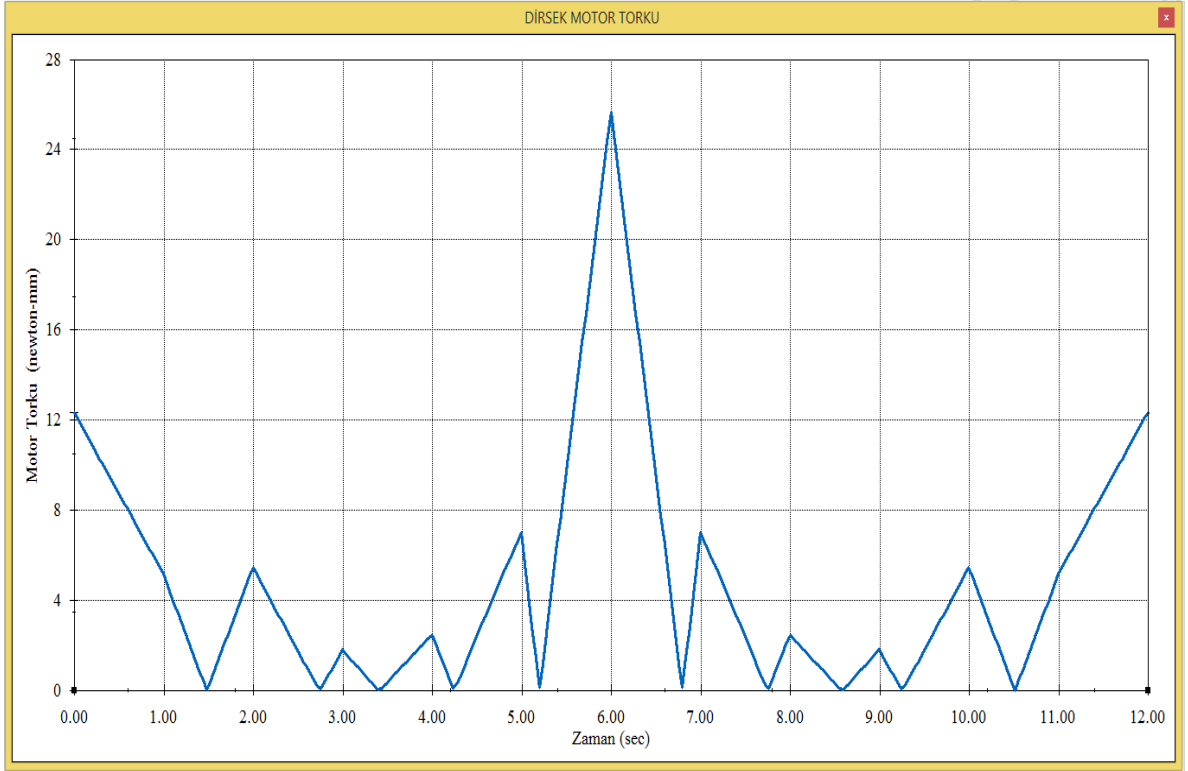


**Çekil 4.60.** Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ivme-zaman grafiği

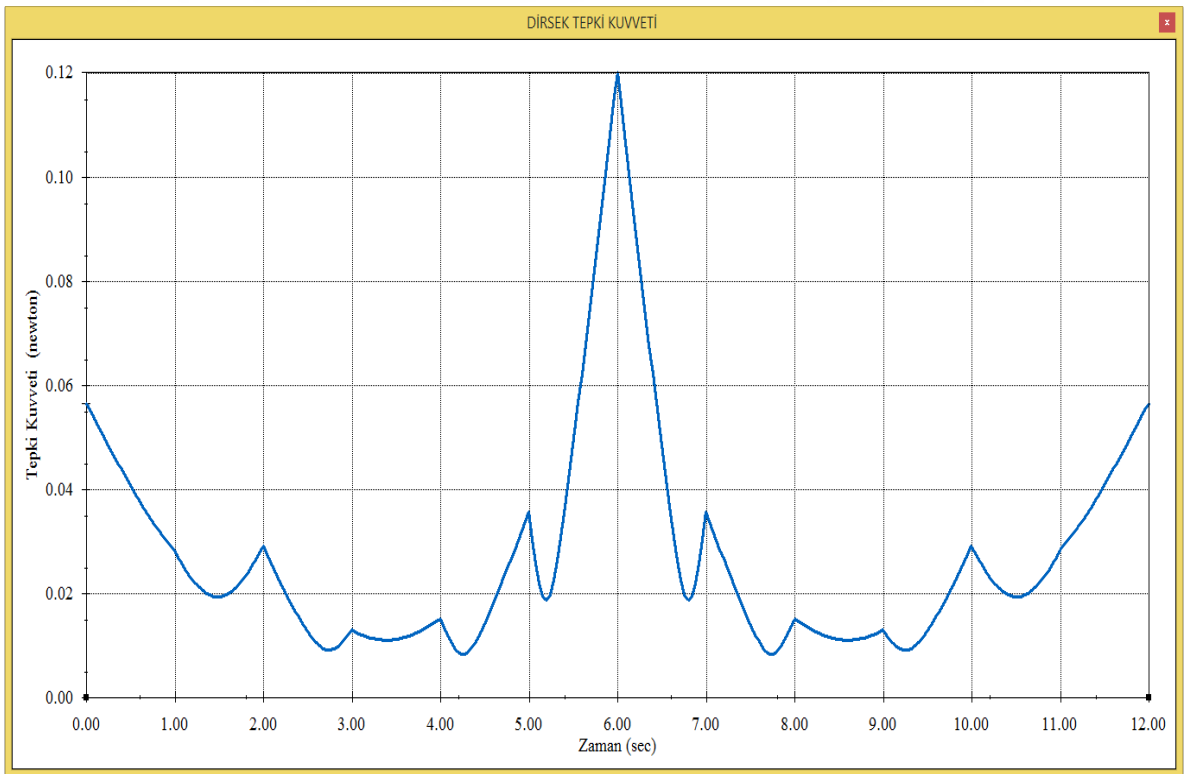


**Çekil 4.61.** Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının sarsılma-zaman grafiği

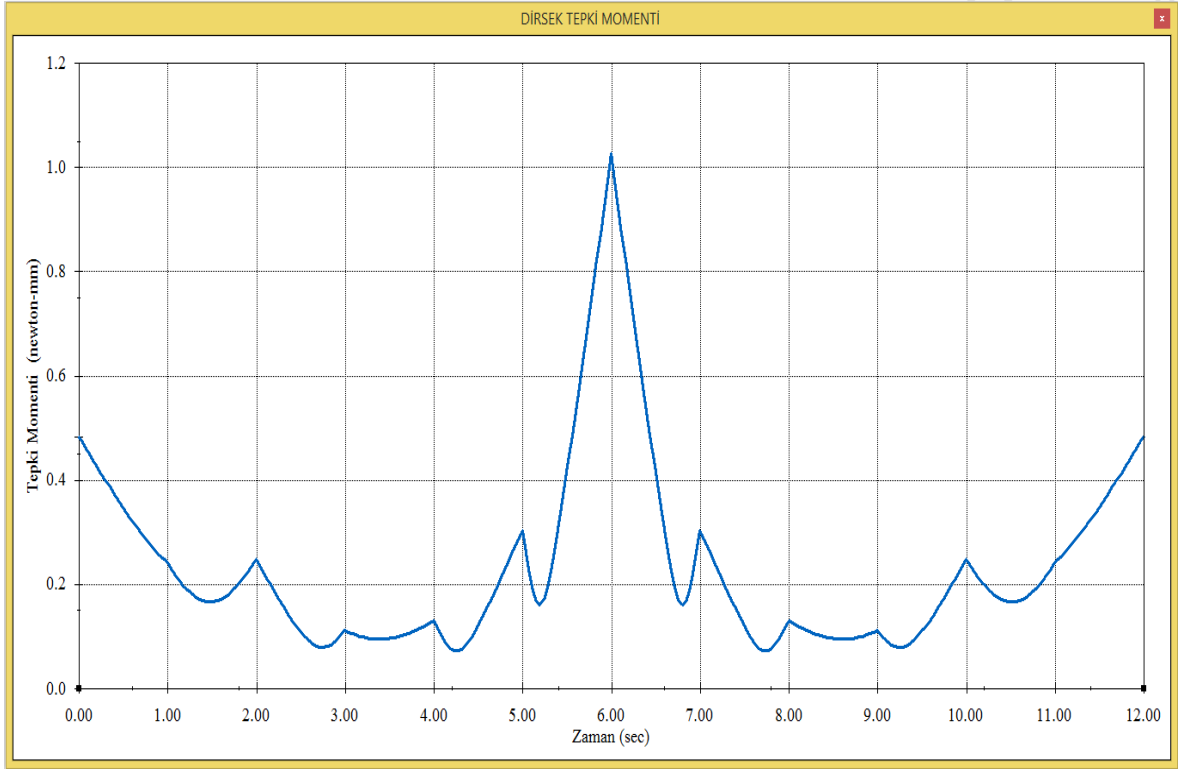
Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcunun hareket boyunca kolunun dirsek kısmında Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı tork değişimi Çekil 4.62’de verilmiş olup 6.sn’de yaklaşık olarak 25 N.mm değerini alarak maksimum değerine ulaştığı görülmüştür. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı kuvvet değişimi Çekil 4.63’te verilmiş olup 6.sn’de 0.22 N değerini alarak maksimum degere ulaştığı görülmüştür. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı tepki momentinin değişimi Çekil 4.64’te verilmiş olup 6.sn’de 1.1 N.mm değerini alarak maksimum degere ulaştığı görülmüştür. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ötelenme moment değişimi Çekil 4.65’te verilmiş olup maksimum değerlerine 1sn-2sn ile 10sn-11sn arasında yaklaşık olarak 34839 N.sn değerini alarak ulaştığı ve 6.sn’de 0 N.sn değerini alarak minimum değerine ulaştığı görülmüştür.



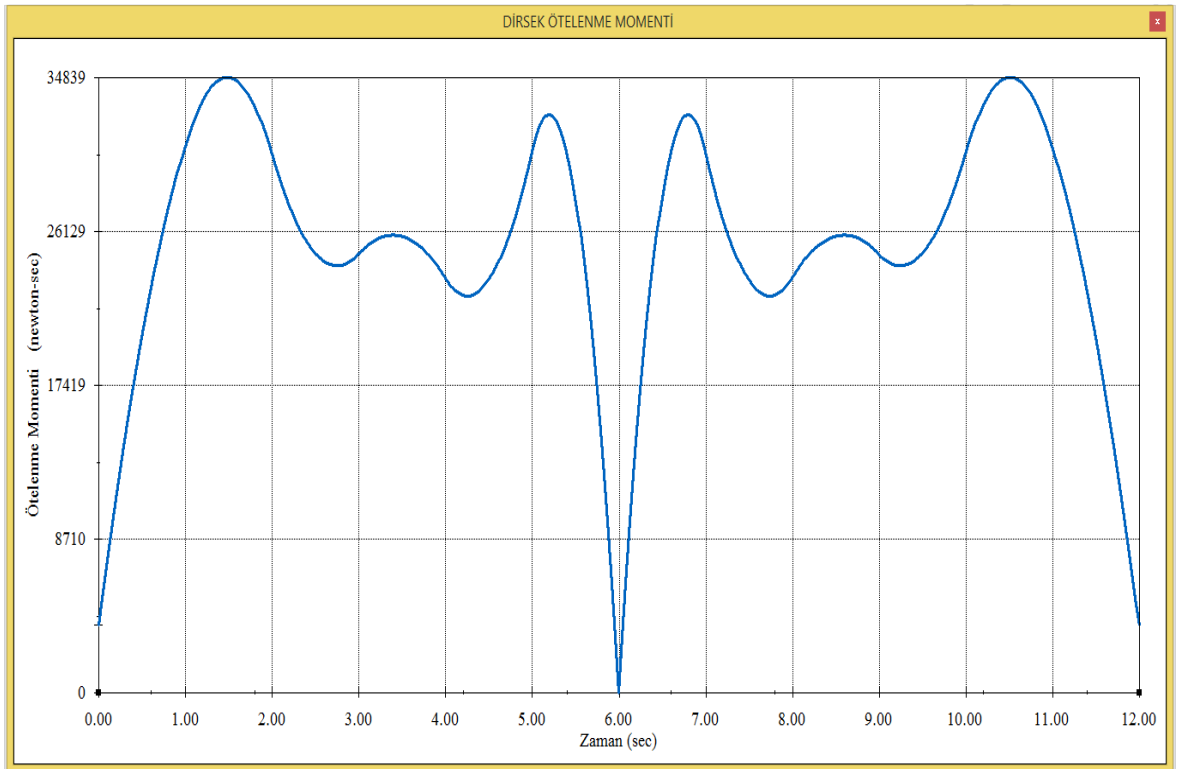
Çekil 4.62. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının tork-zaman grafiği



Çekil 4.63. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının kuvvet-zaman grafiği

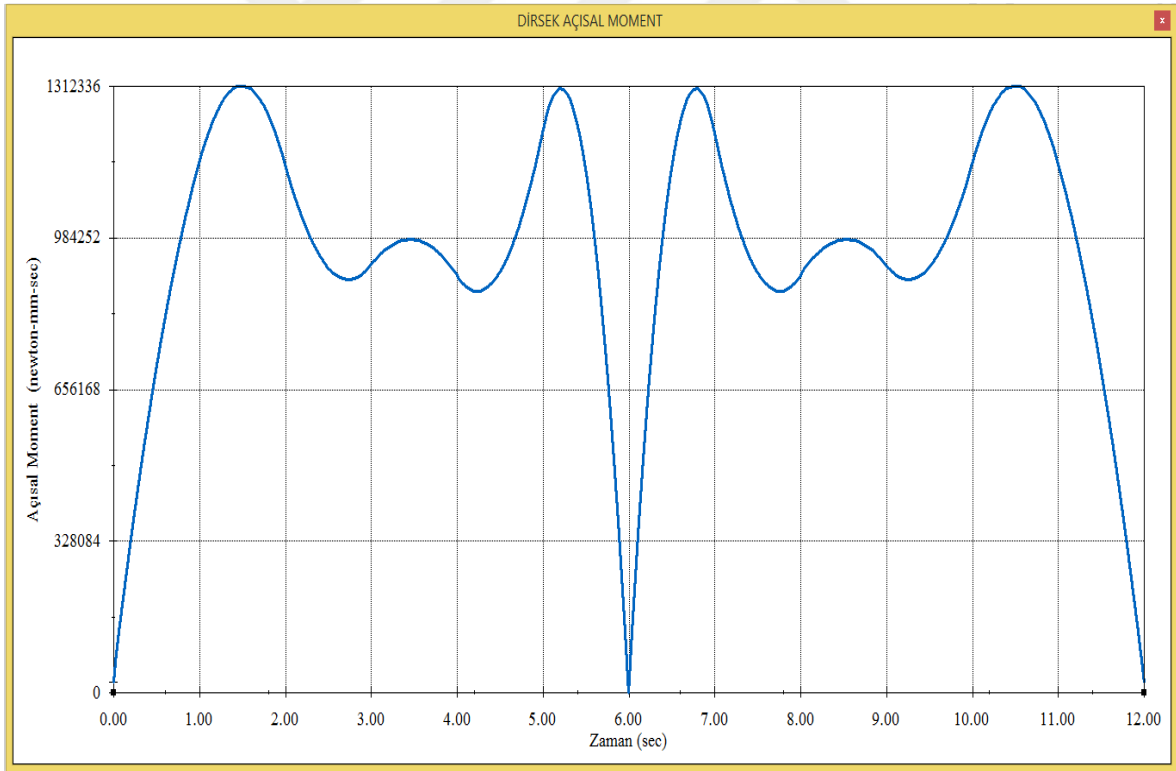


**Çekil 4.64.** Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının tepki momenti-zaman grafiği

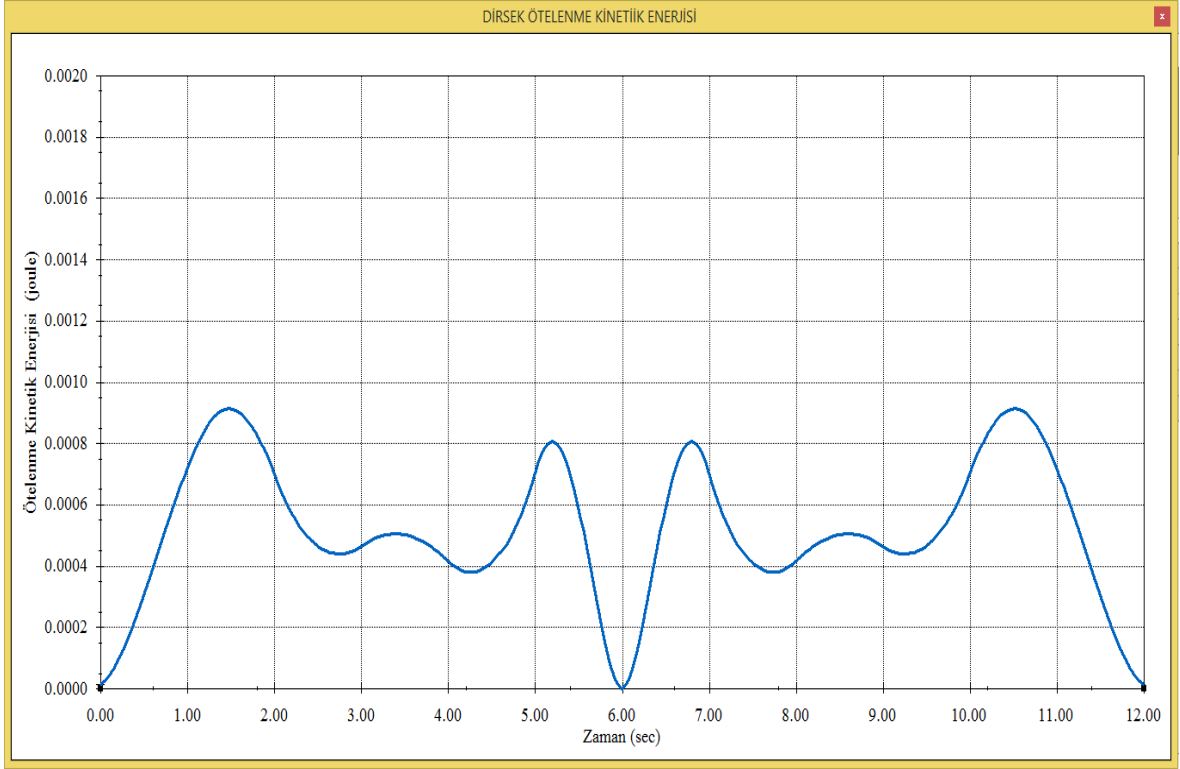


**Çekil 4.65.** Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ötelenme momenti-zaman grafiği

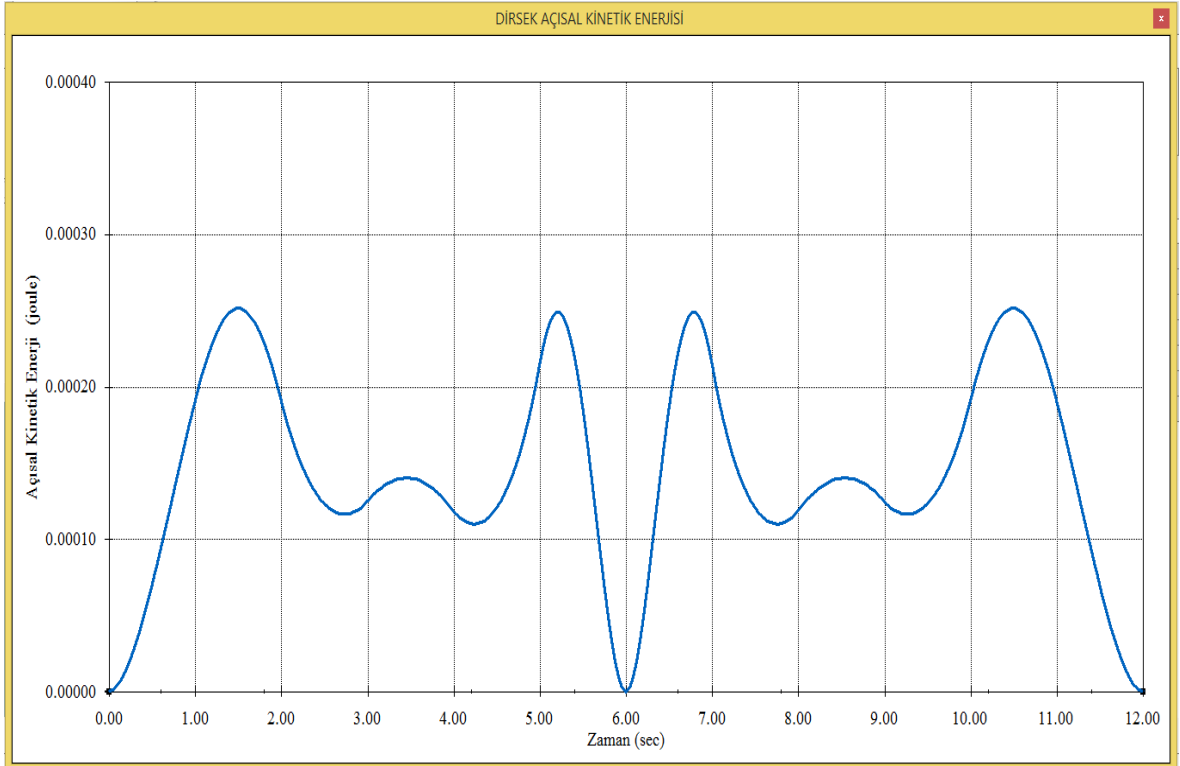
Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı açısal moment değişimi Şekil 4.66’da verilmiş olup minimum değerine 6.sn’de 0 N.mm.sn olarak ulaşmıştır. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki ötelenme kinetik enerjisinin zamana bağlı değişimi Şekil 4.67’de verilmiş olup 1sn-2sn ile 10sn-11sn arasında yaklaşık olarak 0.0010 j değerini alarak maksimum değerine 6.sn’de ise 0 j değerini alarak minimum değerine ulaşmıştır. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki açısal kinetik enerjinin zamana bağlı değişimi Şekil 4.68’de verilmiş olup minimum değerine 6.sn’de 0 j alarak ulaşmıştır. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı toplam kinetik enerji değişimi Şekil 4.69’da verilmiş olup hareketin maksimum değerleri 1sn-2sn ile 10sn-11sn arasında oluşmuştur ve hareket boyunca dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı güç değişimi Şekil 4.70’te verilmiş olup maksimum değeri +0.004 watt ile minimum değeri -0.004 watt arasında değişmiştir.



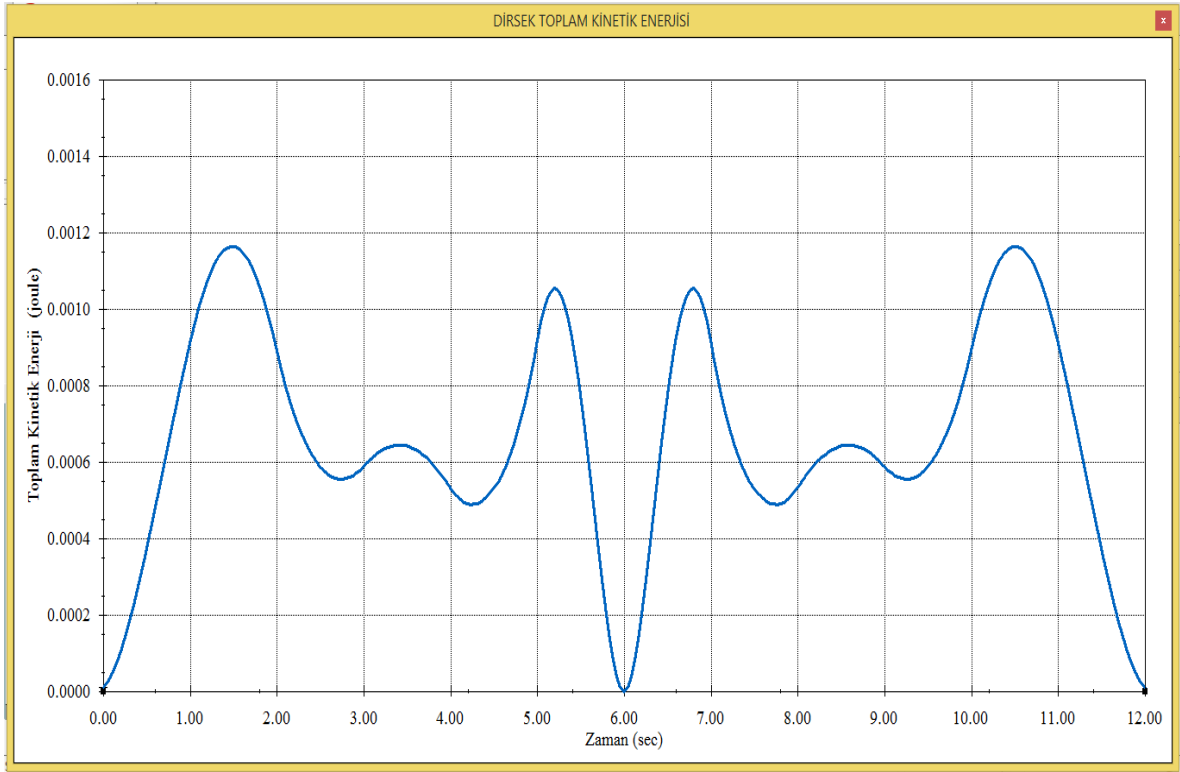
**Şekil 4.66.** Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının açısal moment-zaman grafiği



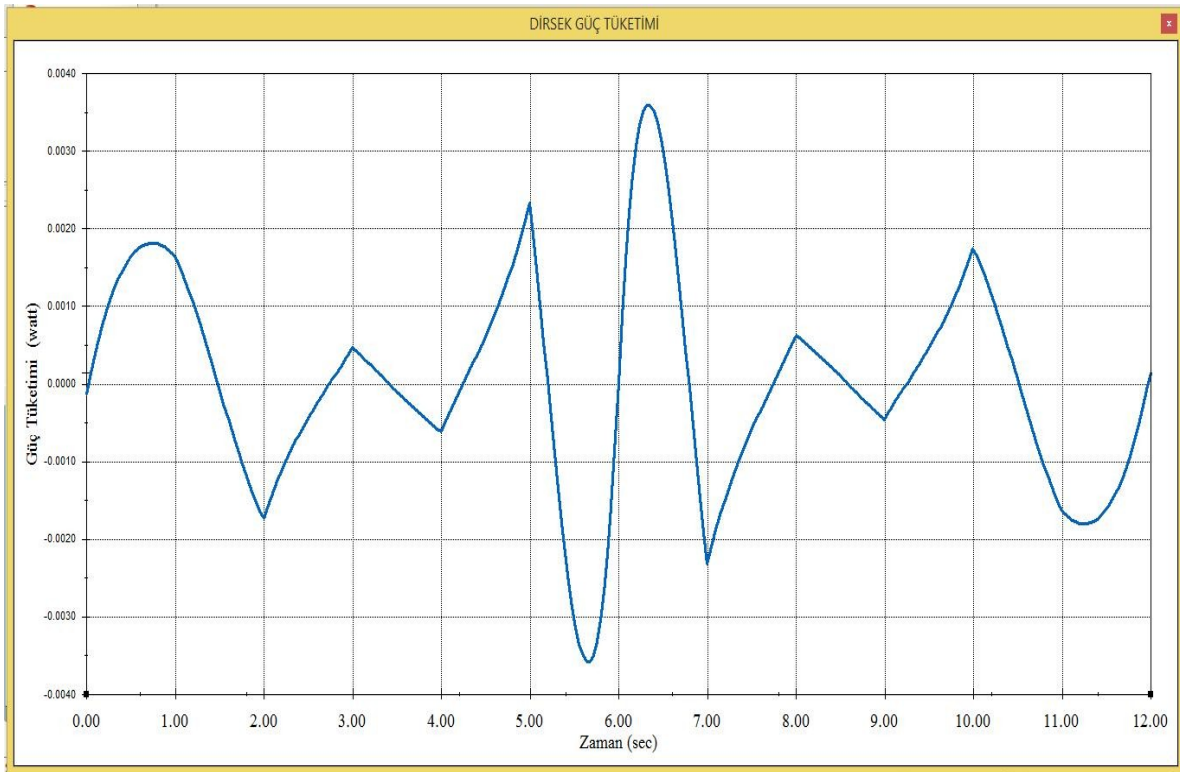
Çekil 4.67. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafiği



Çekil 4.68. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının açısal kinetik enerji-zaman grafiği



Çekil 4.69. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafiği



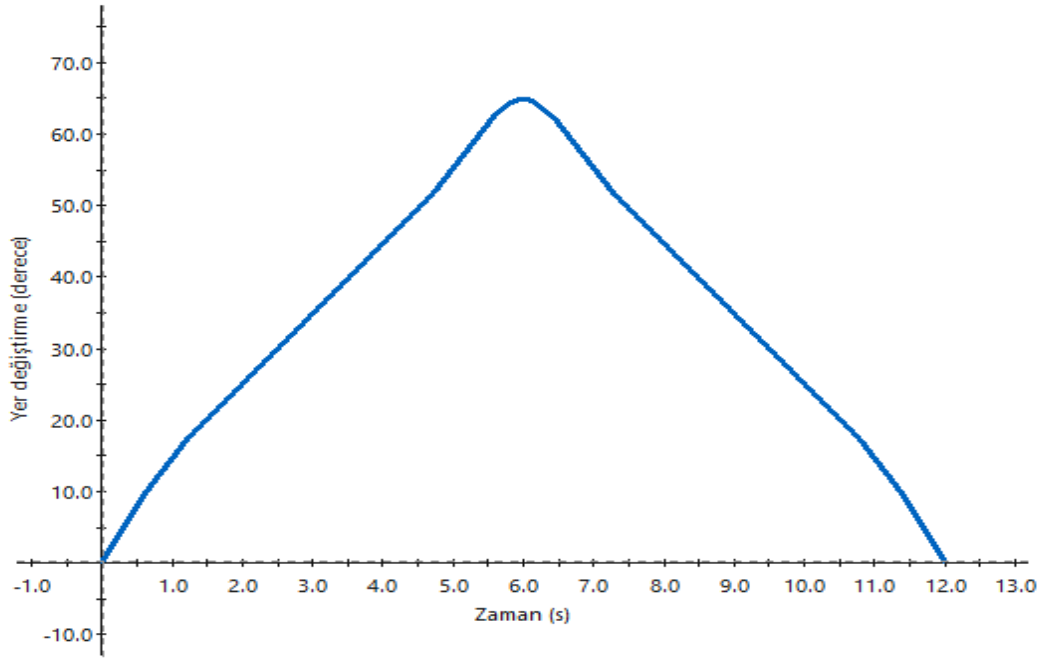
Çekil 4.70. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının güç-zaman grafiği

### 4.2.3. Bilek

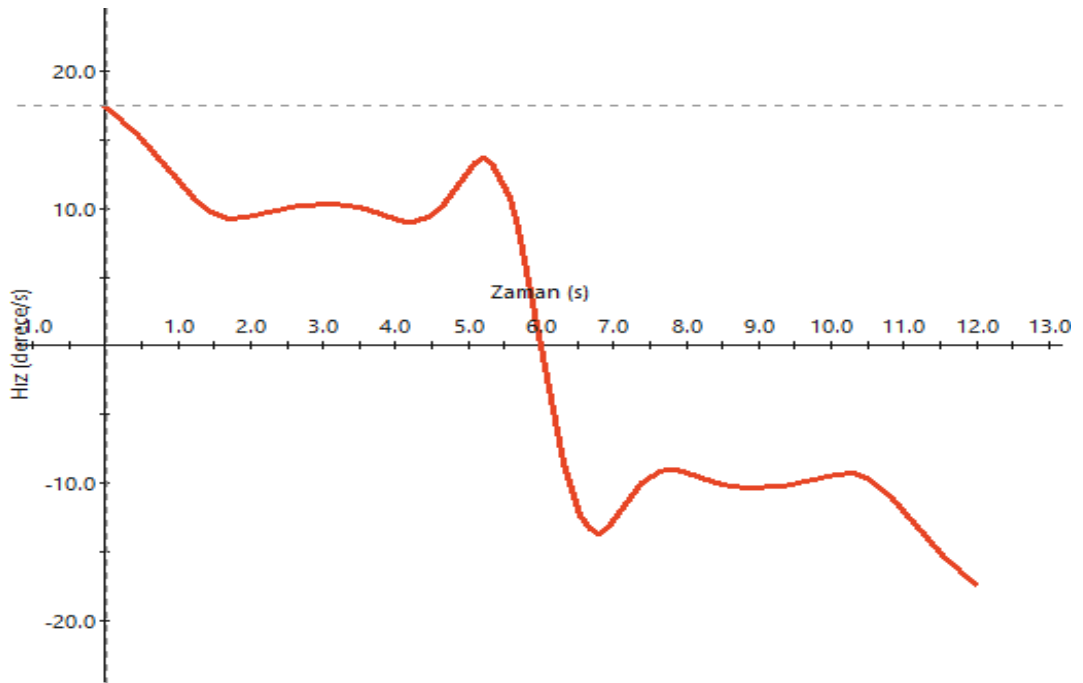
Sporcunun dambıl kaldırma hareketi yaparken kolunun bilek kısmının X,Y ve Z eksenleri Şekil 4.71’te gösterilmiştir. Bu sporcunun dambıl kaldırma hareketi yaparken hareket boyunca sporcu kolunun bileğinin Y ve Z eksenlerindeki meydana gelen zamana bağlı konum değişimi Şekil 4.72’de verilmiş olup maksimum hareket açısı  $65^\circ$  olarak belirlenmiştir. Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı hız değişimi Şekil 4.73’te verilmiş olup maksimum değeri yaklaşık olarak  $+20$  derece/sn, minimum değeri  $-20$  derece/sn olduğu görülmüştür. Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ivme değişimi Şekil 4.74’te verilmiş olup 6.sn’de minimum değeri yaklaşık olarak  $-35$  derece/sn<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı sarsılma değişimi Şekil 4.75’te verilmiş olup 5sn-6sn arasında minimum değeri  $-50$  derece/sn<sup>3</sup>, 6sn-7sn arasında ise maksimum değeri  $+50$  derece/sn<sup>3</sup> olduğu görülmüştür.



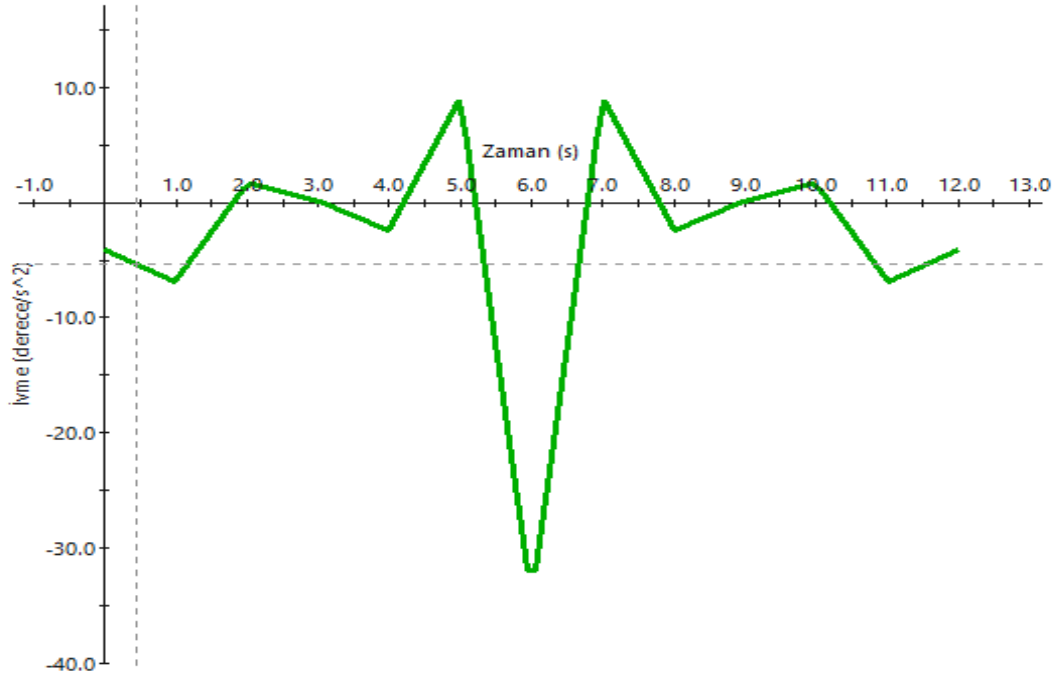
Şekil 4.71. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının Solidworks ile gösterimi



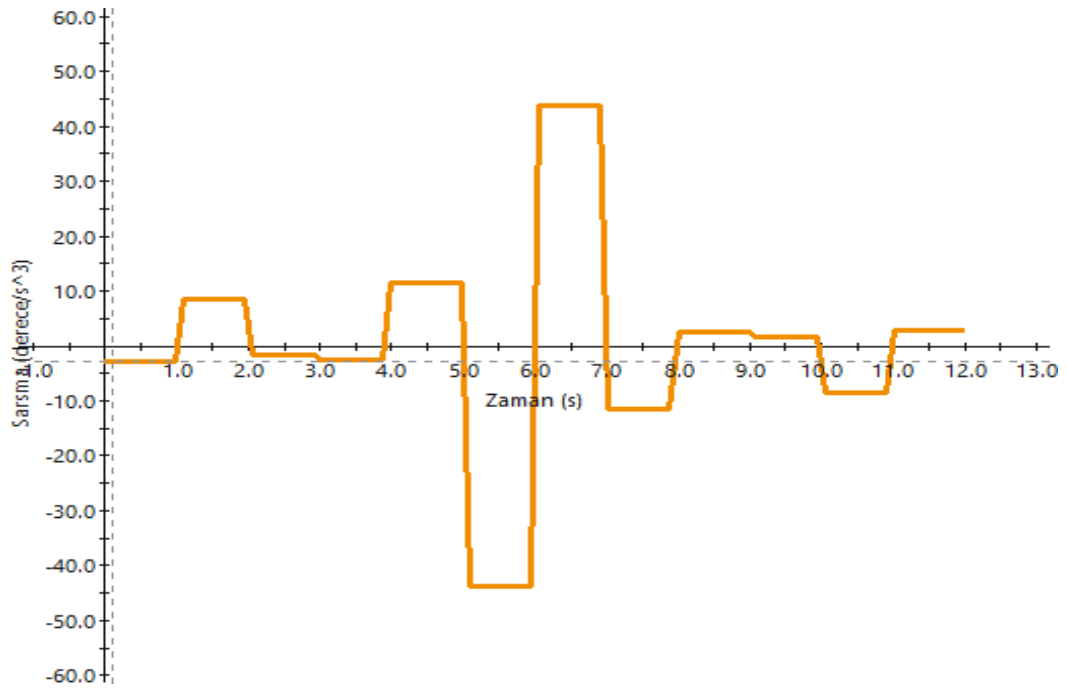
**Çekil 4.72.** Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının konum-zaman grafiği



**Çekil 4.73.** Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının hız-zaman grafiği

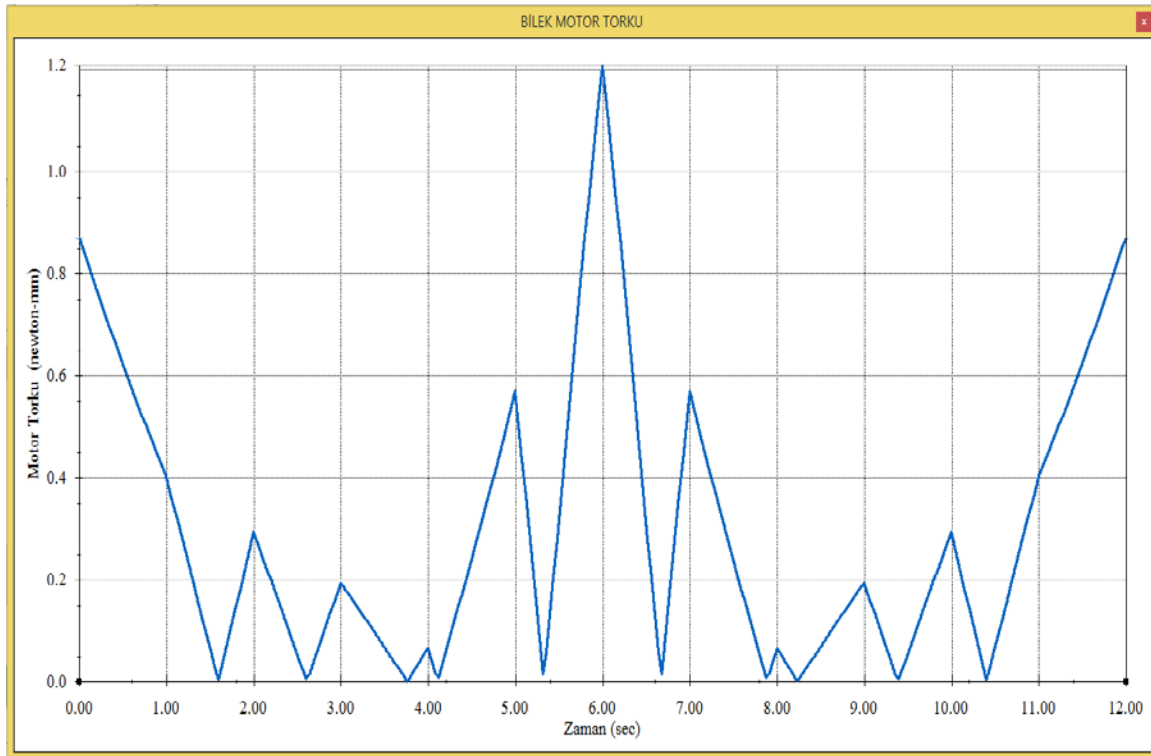


Çekil 4.74. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ivme-zaman grafiği

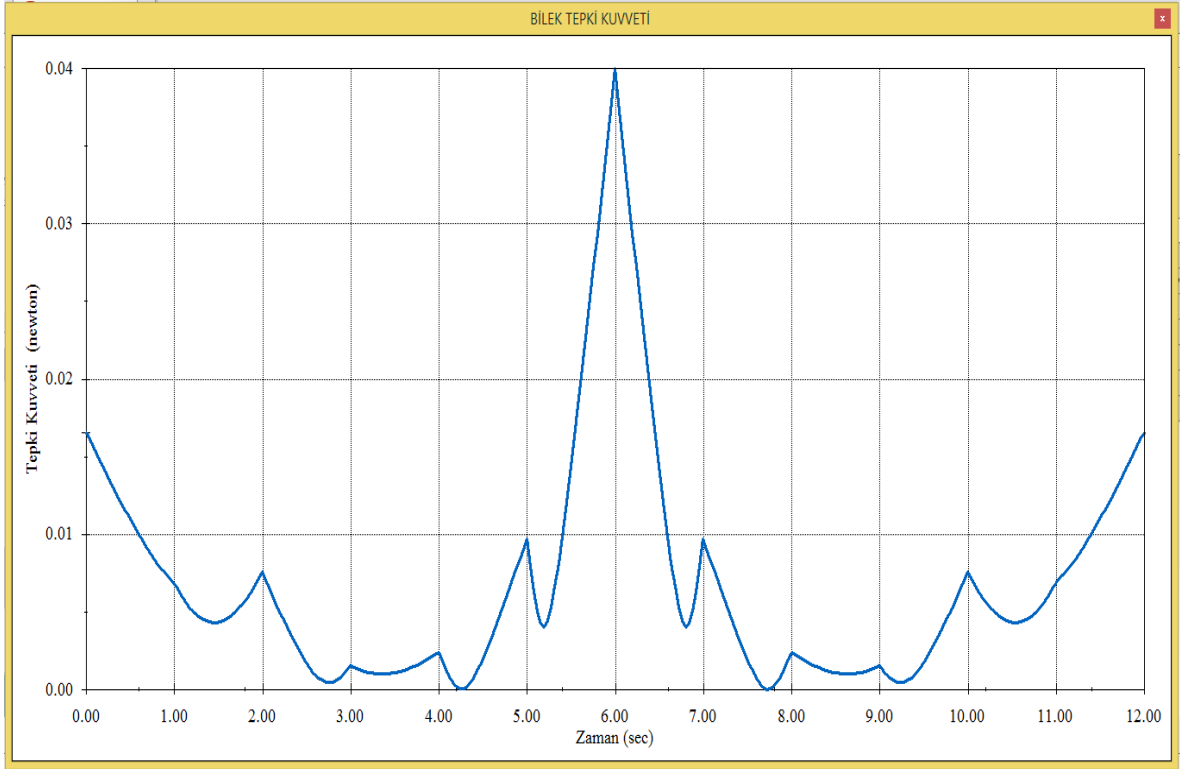


Çekil 4.75. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının sarsılma-zaman grafiği

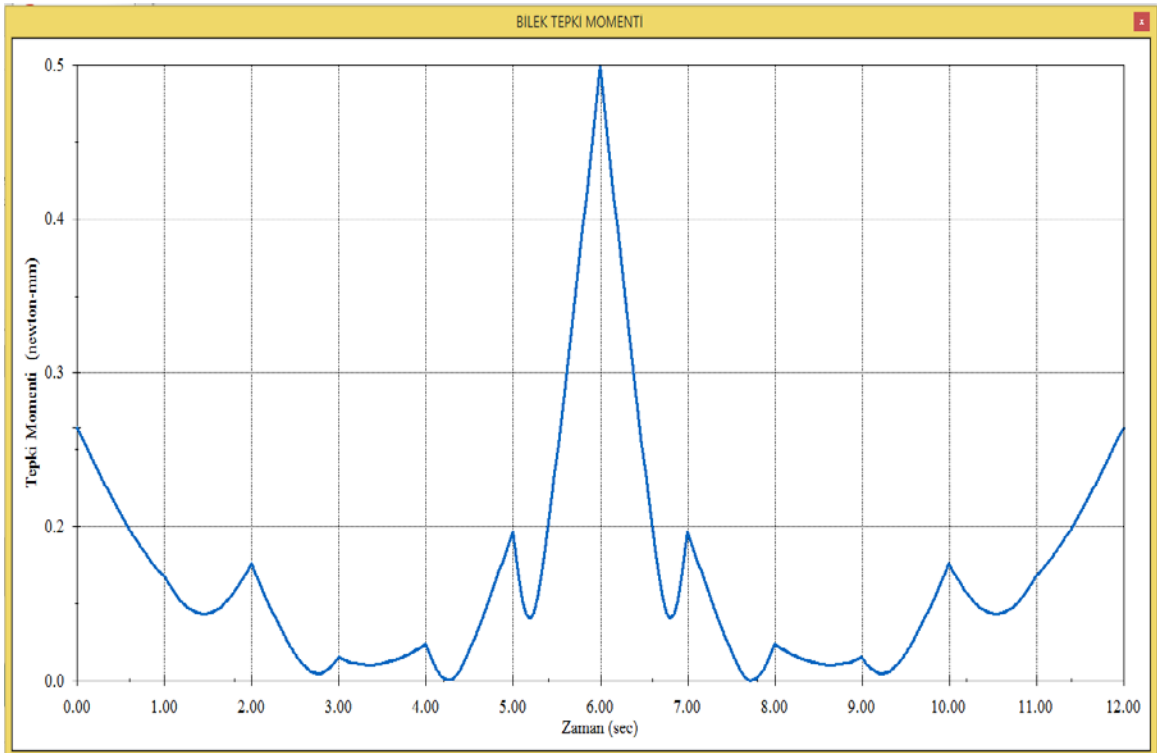
Sporcunun dambıl kaldırma hareketi boyunca bileğin Y ve Z eksenleri boyunca meydana gelen zamana bağlı tork değişimi Şekil 4.76'da verilmiş olup 6.sn'de maksimum değeri 1.2 N.mm olduğu görülmüştür. Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı kuvvet değişimi Şekil 4.77'de verilmiş olup 6.sn'de maksimum değeri 0.04 N olduğu görülmüştür. Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı tepki momenti değişimi Şekil 4.78'de maksimum değerine 0.5 N.mm ulaştığı görülmüştür. Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ötelenme momenti değişimi Şekil 4.79'da verilmiş olup 1sn-2sn ile 10sn-11sn arasında maksimum değerine ulaştığı, 6.sn'de ise 0 N.sn değeriyle minimum degere ulaştığı görülmüştür.



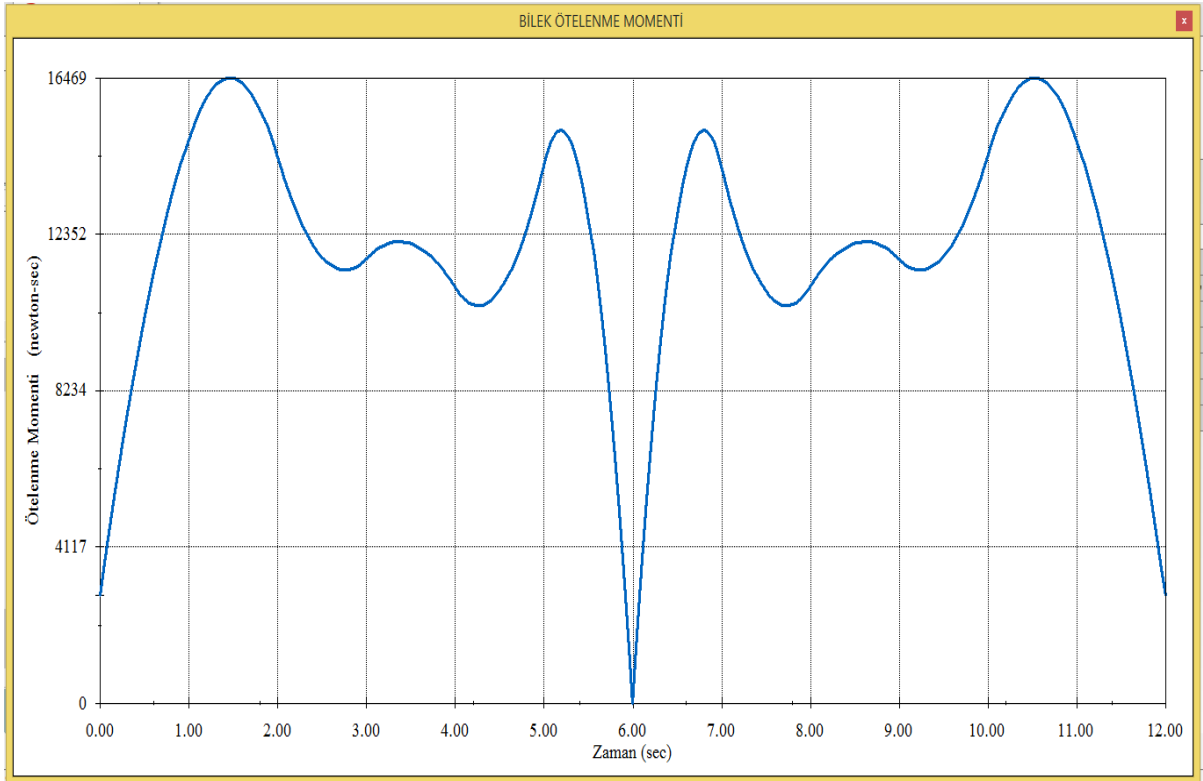
**Çekil 4.76.** Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının tork-zaman grafiği



Çekil 4.77. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının kuvvet-zaman grafiği

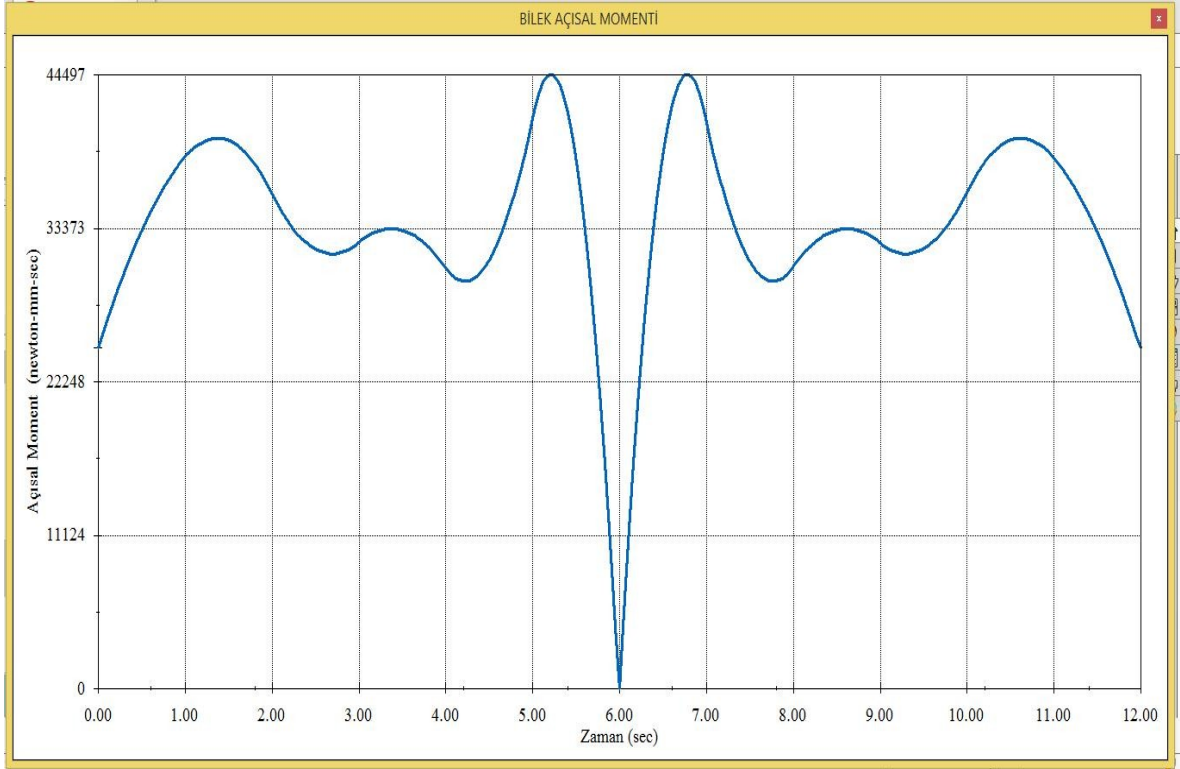


Çekil 4.78. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının tepki momenti-zaman grafiği

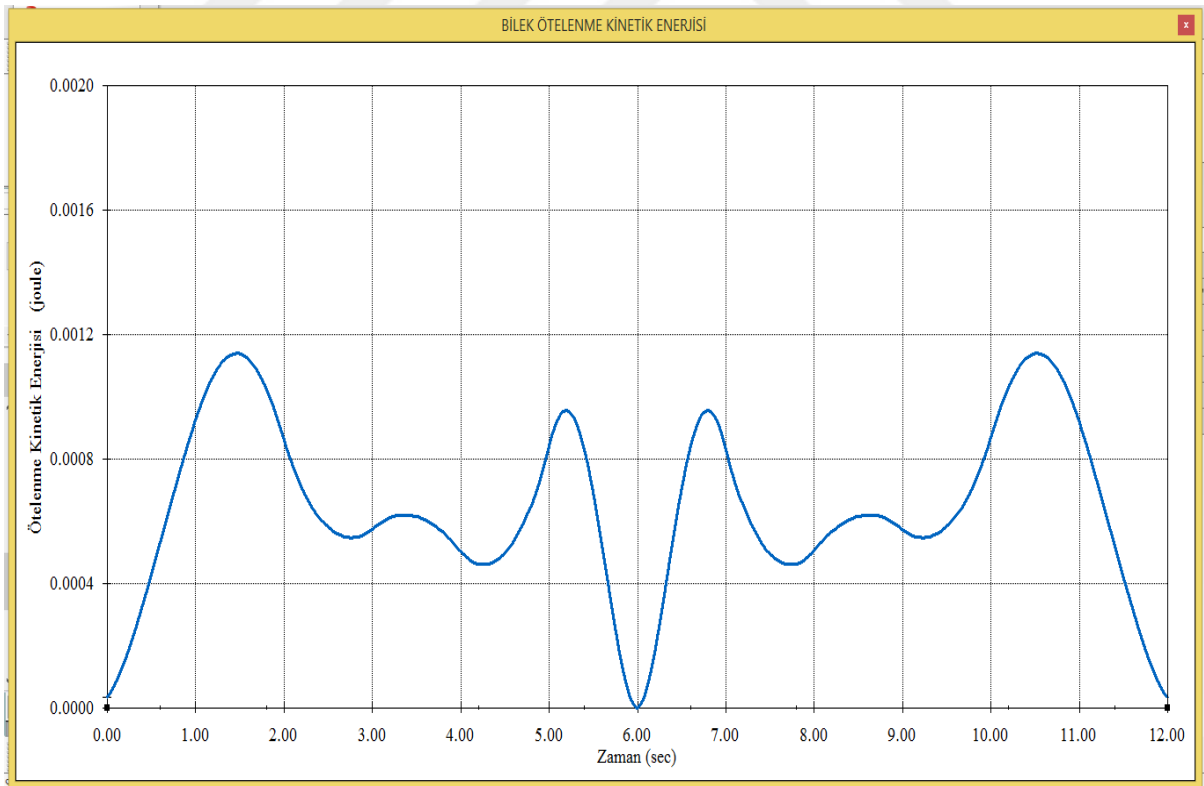


**Çekil 4.79.** Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ötelenme momenti-zaman grafiği

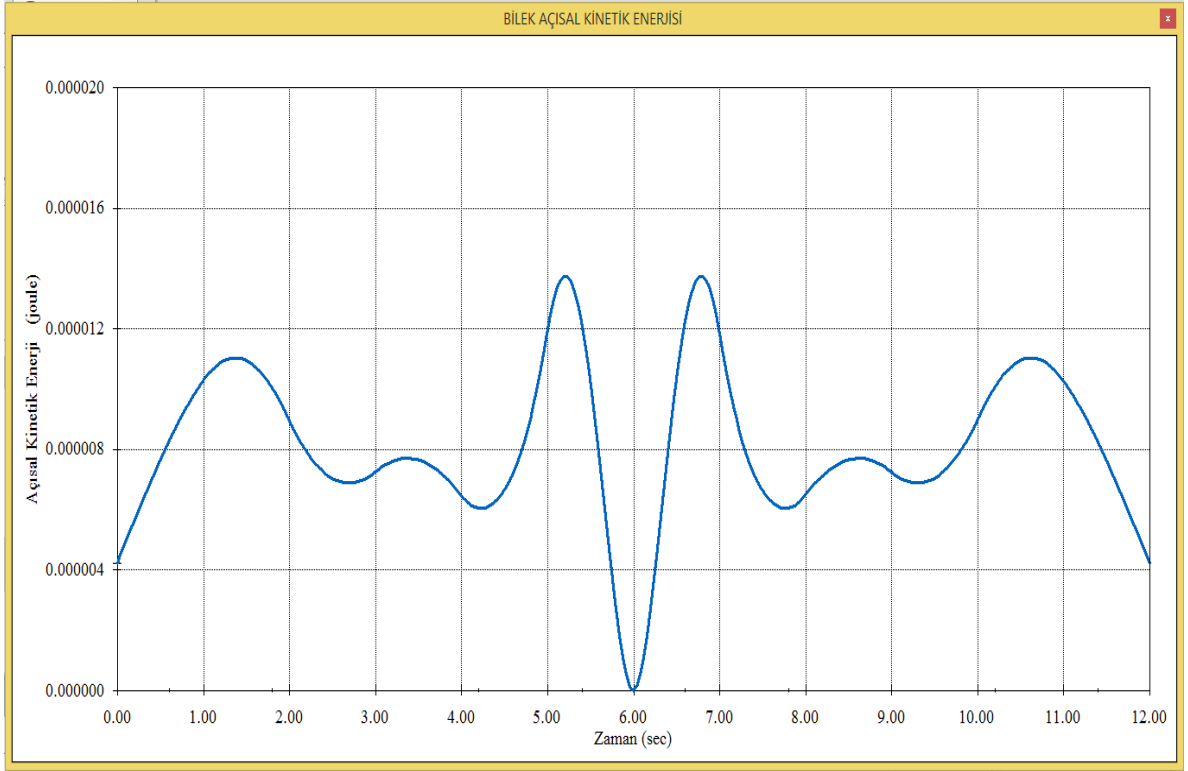
Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı açısal moment değişimi Çekil 4.80’da verilmiş olup 5sn-6sn ile 6sn-7sn arasında 44497 N.mm.sn değerini alarak maksimum degere ulaşmıştır. Dambıl kaldırma hareketi boyunca sporcu bileğinin Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı ötelenme kinetik enerjisi Çekil 4.81’de verilmiş olup 6.sn’de minimum değerine ulaştığı görülmüştür. Bileğin Y ve Z eksenlerinde zamana bağlı meydana gelen açısal kinetik enerji değişimi Çekil 4.82’de verilmiş olup 6.sn’de 0joule değerini alarak minimum değerine ulaşmıştır. Bileğin Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı toplam kinetik enerji değişimi Çekil 4.83’te verilmiş olup 1sn-2sn ile 10sn-11sn arasında yaklaşık olarak 0.0012 j değerini alarak maksimum değerini almıştır. Dambıl kaldırma hareketi boyunca bileğin Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı güç değişimi Çekil 4.84’te verilmiş ve maksimum değeri yaklaşık +0.00035 watt ile minimum değeri -0.00035 watt arasında değişmektedir.



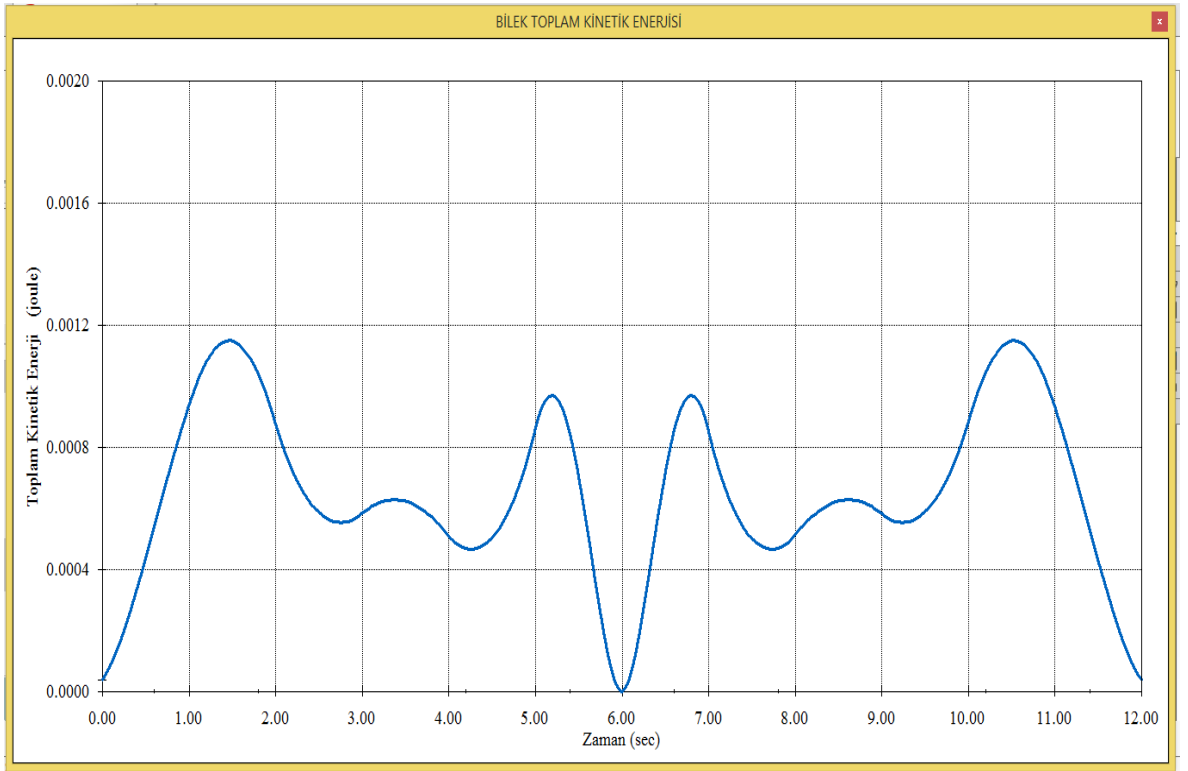
**Çekil 4.80.** Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının açısai moment-zaman grafiğı



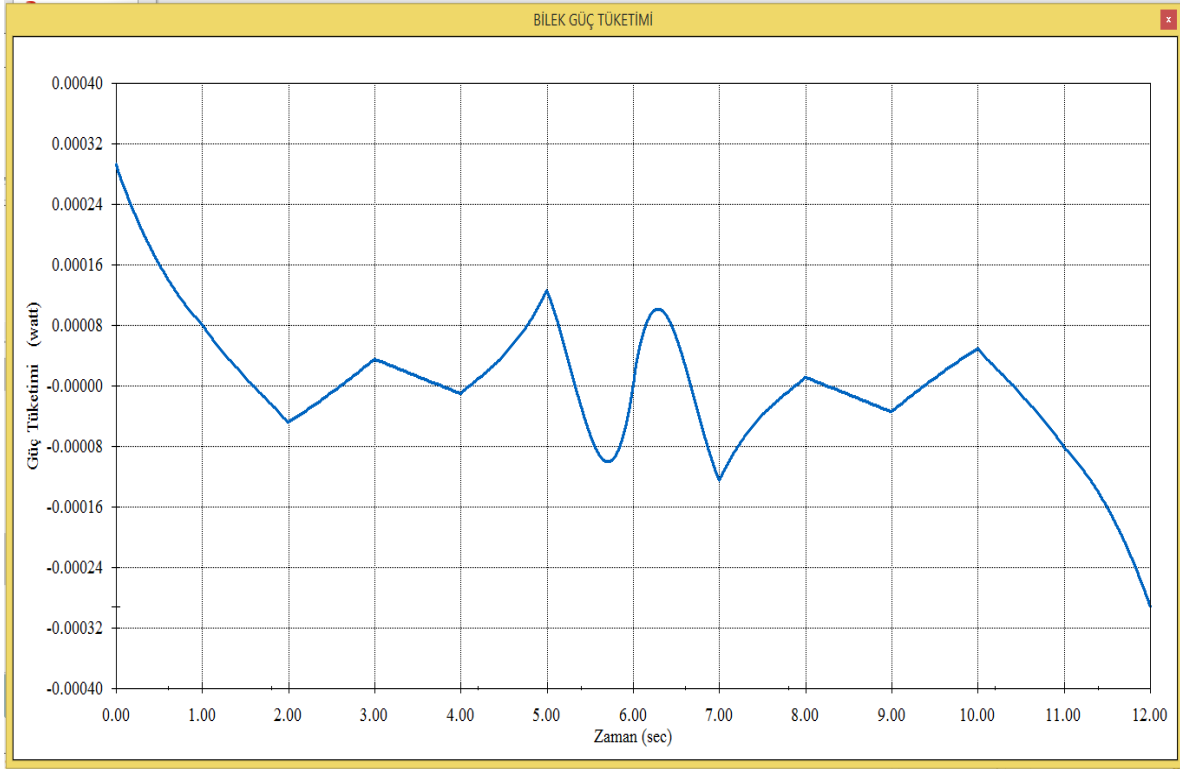
**Çekil 4.81.** Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafiğı



Çekil 4.82. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının açısal kinetik enerji-zamangrafiği



Çekil 4.83. Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının toplam kinetik enerji-zamangrafiği



**Çekil 4.84.** Dambıl kaldırma hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının güç-zaman grafiği

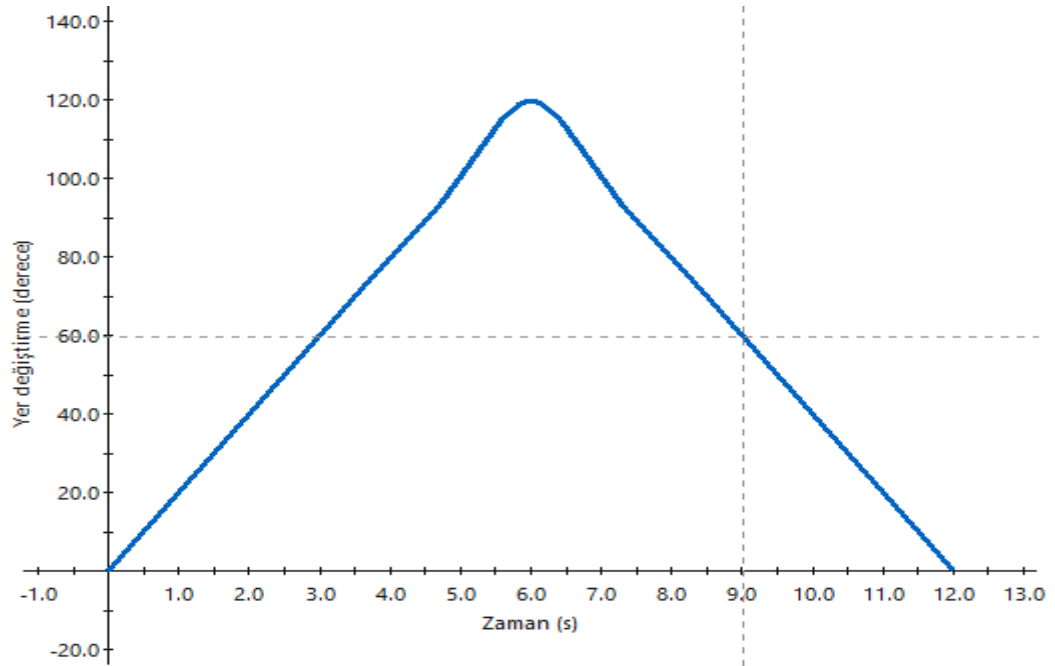
### 4.3. Kürek Çekme Hareketi

#### 4.3.1. Omuz

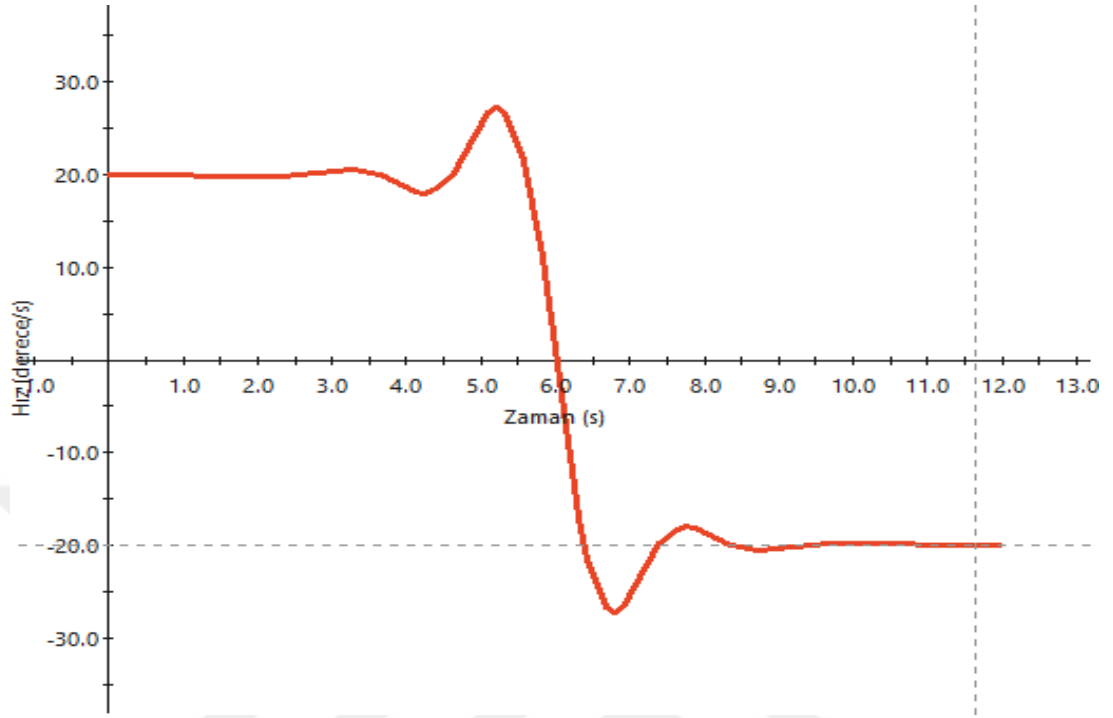
Çekil 4.85’de gösterilen sporcu bir insan kolunun omuz kısmının X,Y ve Z eksenleriyle birlikte, kürek çekme hareketi boyunca Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı konum değişimi Çekil 4.86’da verilmiş olup maksimum açısal konum değeri  $120^\circ$  olarak belirlenmiştir. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı hız değişimi Çekil 4.87’de verilmiş olup  $+30$  derece/sn ile  $-30$  derece/sn arasında değişmektedir. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ivme değişimi Çekil 4.88’de verilmiş olup maksimum değeri yaklaşık olarak  $+20$  derece/sn<sup>2</sup> iken minimum değeri yaklaşık olarak  $-65$  derece/sn<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı sarsılma değişimi Çekil 4.89’da verilmiş olup, 5sn-6sn arasında minimum değeri yaklaşık olarak  $-65$  derece/sn<sup>3</sup> iken maksimum değeri 6sn-7sn arasında maksimum değeri yaklaşık olarak  $+65$  derece/sn<sup>3</sup> olduğu görülmüştür.



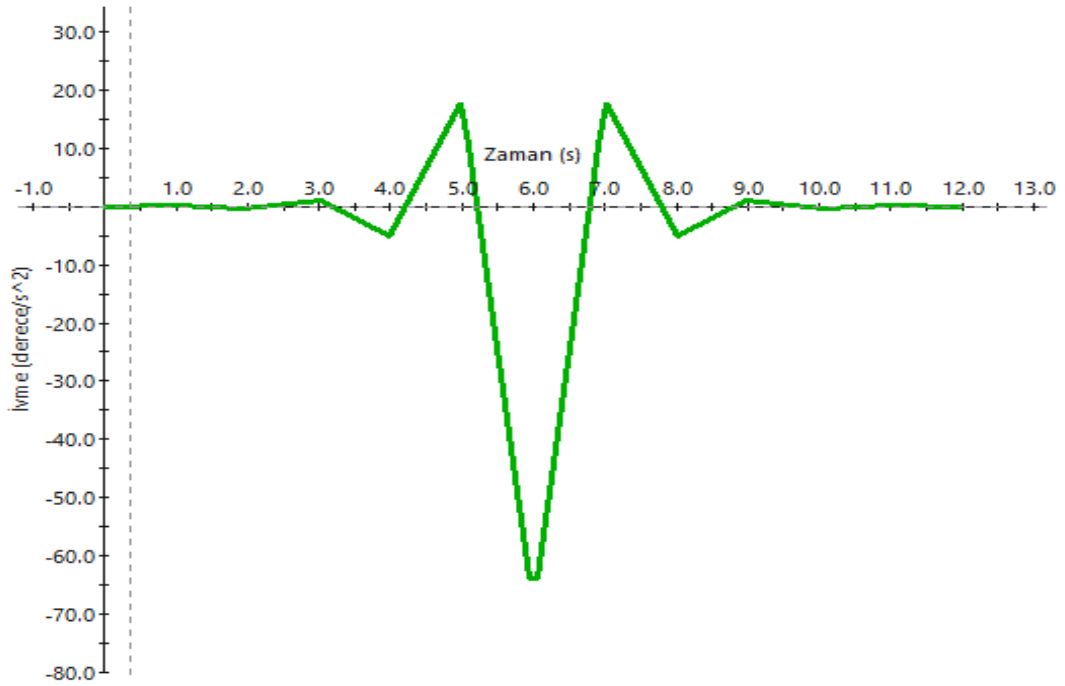
**Çekil 4.85.** Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının Solidworks ile gösterimi



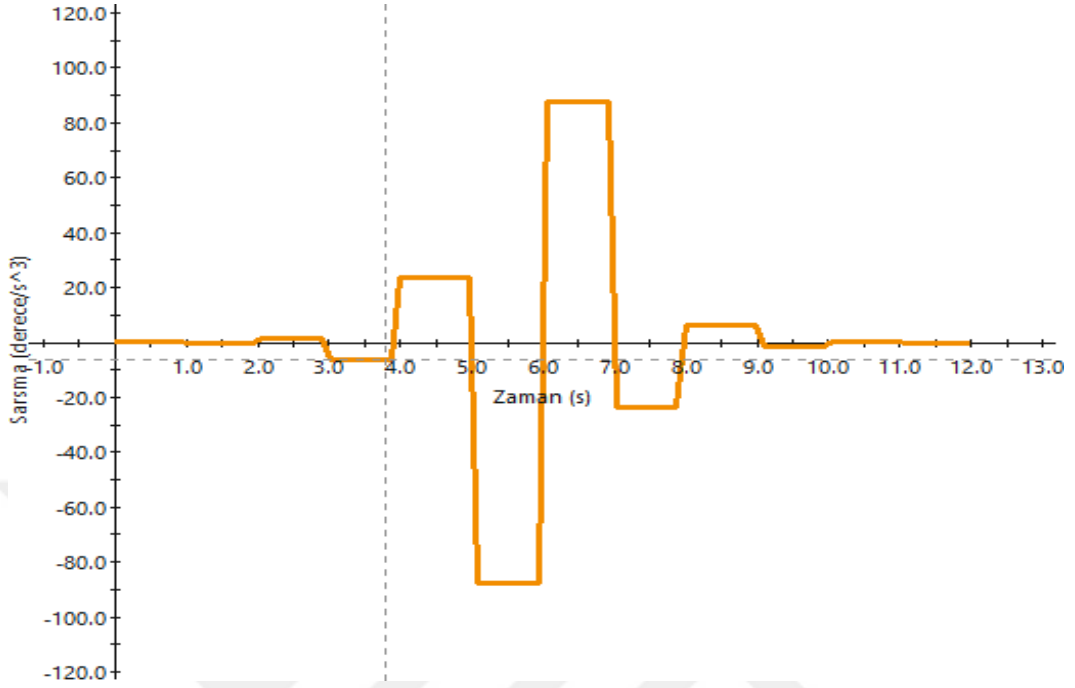
**Çekil 4.86.** Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının konum-zaman grafiği



Çekil 4.87. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının hız-zaman grafiği

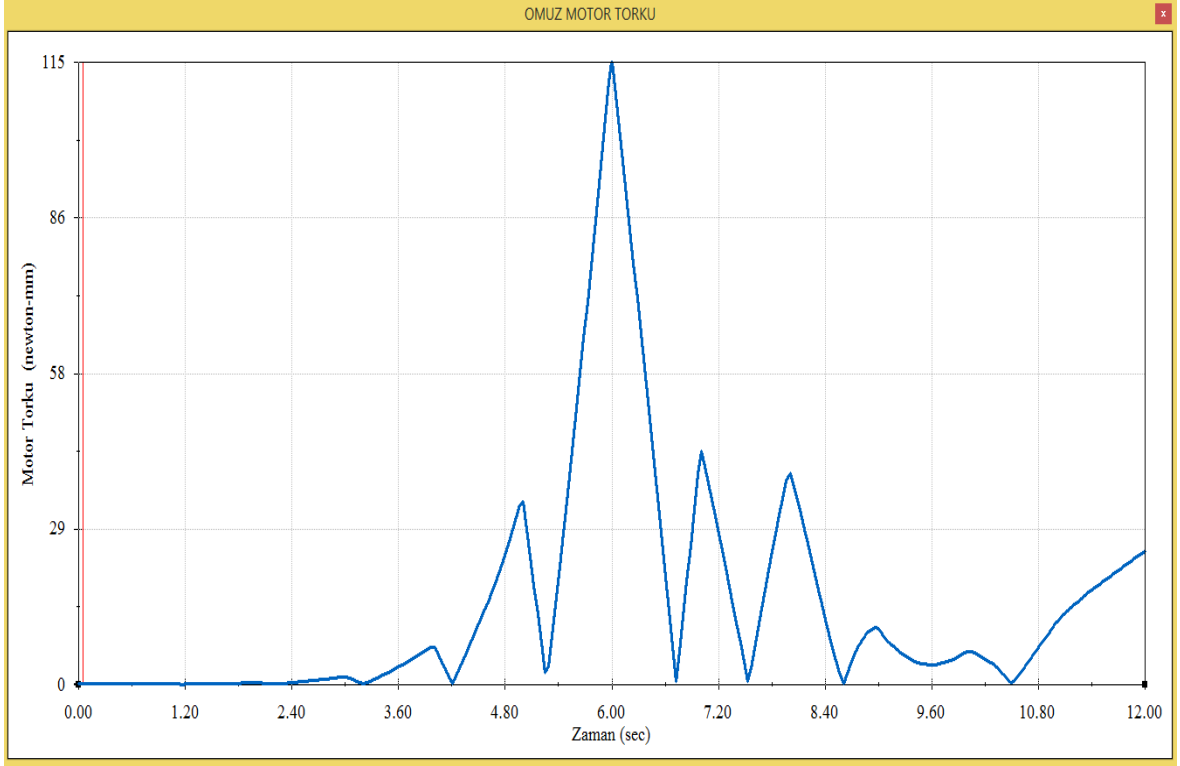


Çekil 4.88. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ivme-zaman grafiği

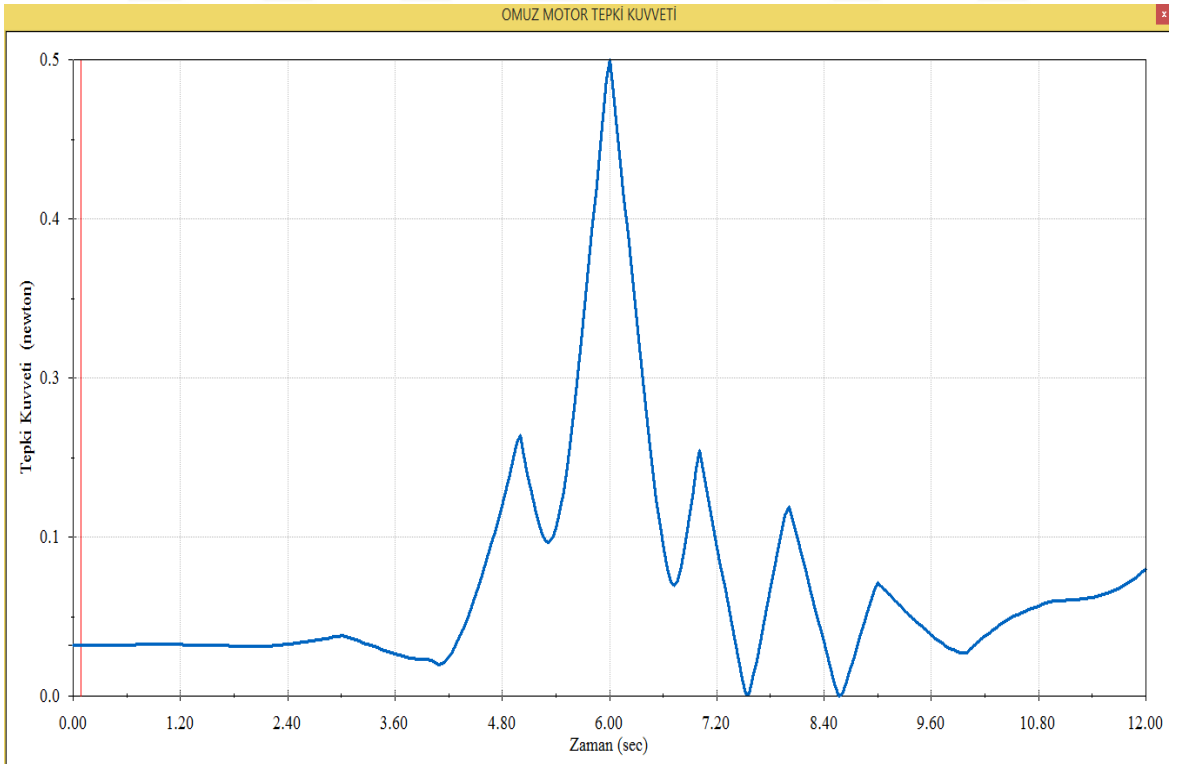


**Çekil 4.89.** Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının sarsılma-zaman grafiği

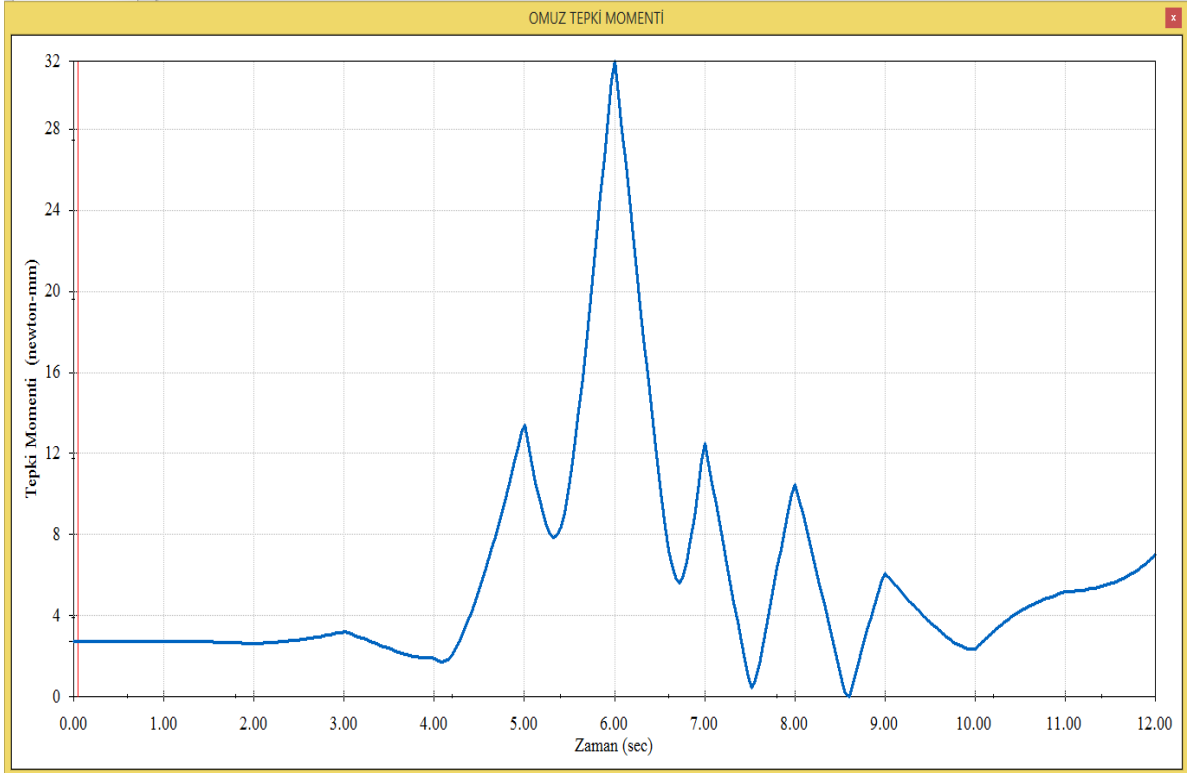
Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı tork değişimi Çekil 4.90’da verilmiş olup 6.sn’de maksimum değeri 115 N.mm değerini almıştır. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı kuvvet değişimi Çekil 4.91’de verilmiş olup 6.sn’de 0.5 N değerini alarak maksimum seviyeye ulaşmıştır. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı tepki momenti değişimi Çekil 4.92’de verilmiş olup 6.sn’de maksimum değeri 32 N.mm olduğu görülmüştür. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ötelenme momenti değişimi Çekil 4.93’te verilmiş olup 5sn-6sn ile 6sn-7sn arasında maksimum degere ulaştığı, 6.sn’de ise 0 N.mm değerini alarak minimum degere ulaştığı görülmüştür.



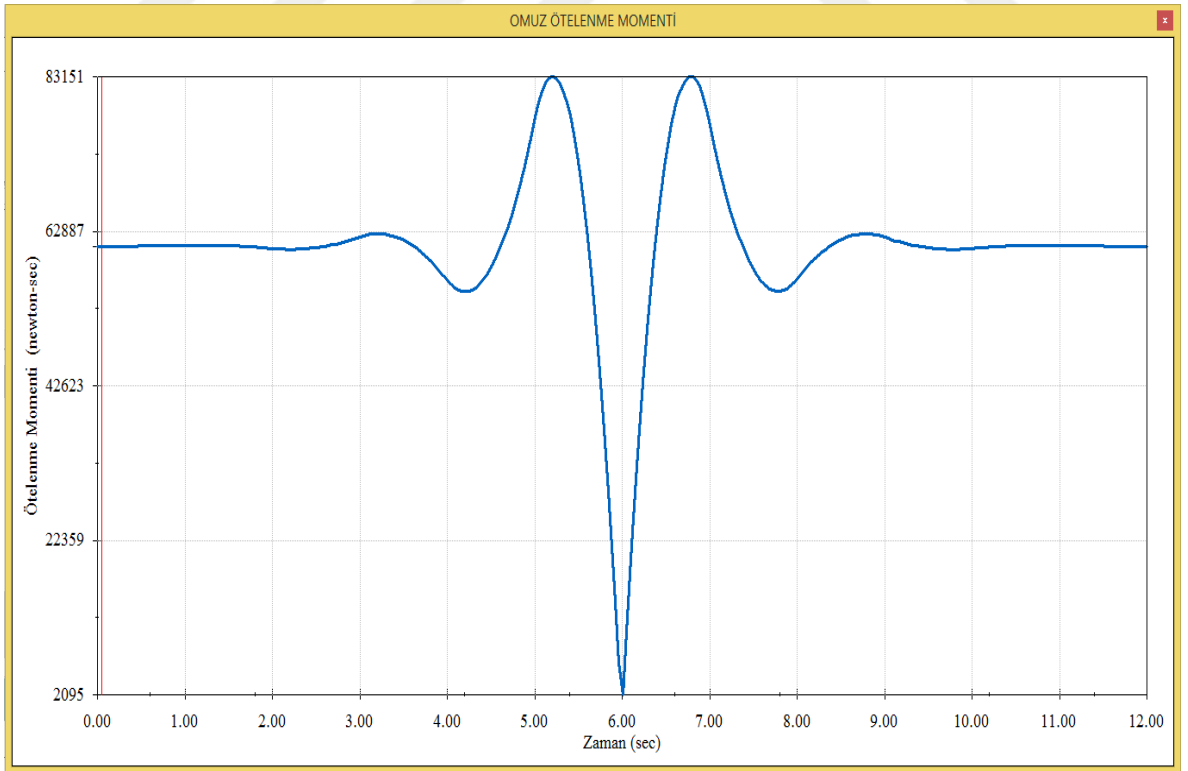
Çekil 4.90. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının tork-zaman grafiği



Çekil 4.91. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının kuvvet-zaman grafiği

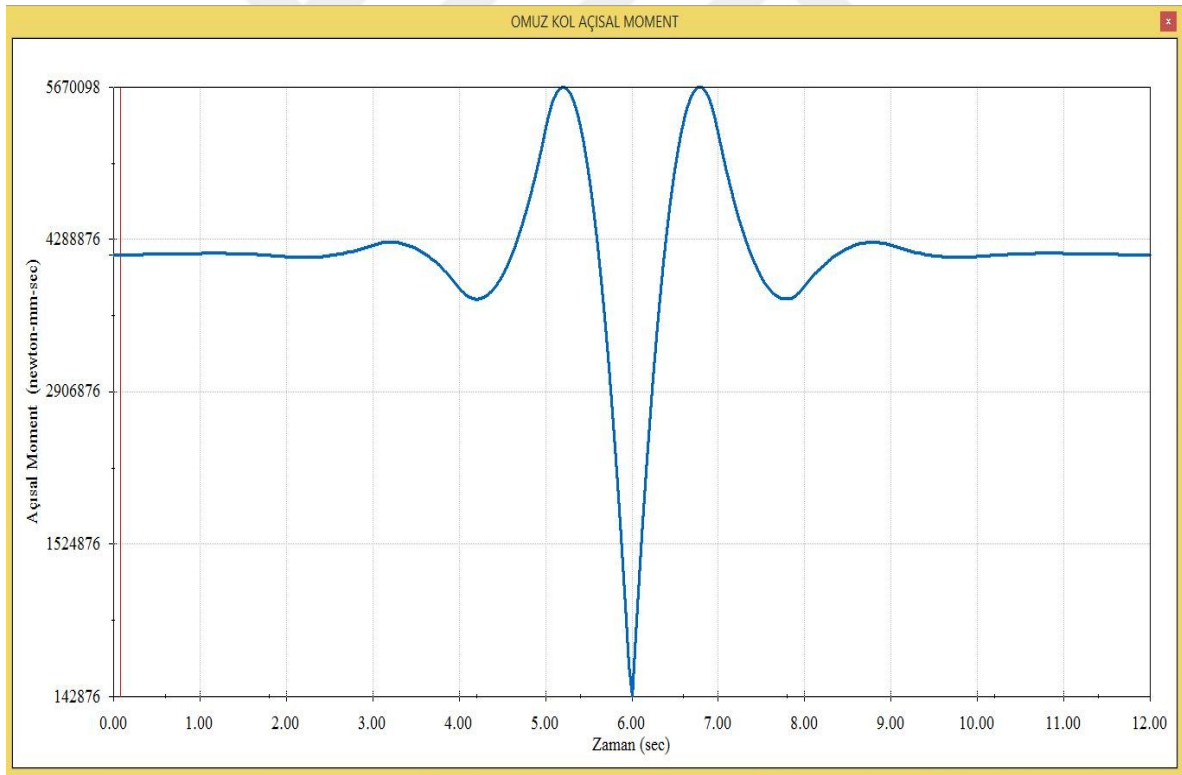


Çekil 4.92. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının tepki momenti-zaman grafiği

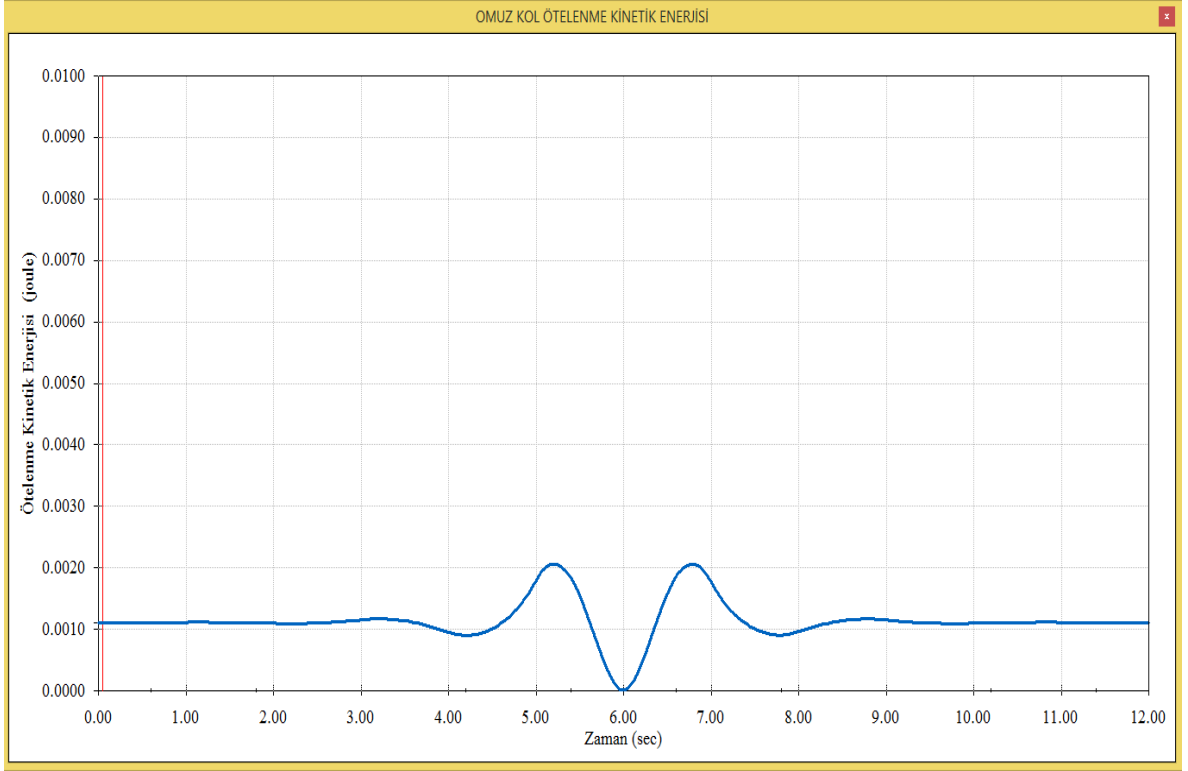


Çekil 4.93. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ötelenme momenti-zaman grafiği

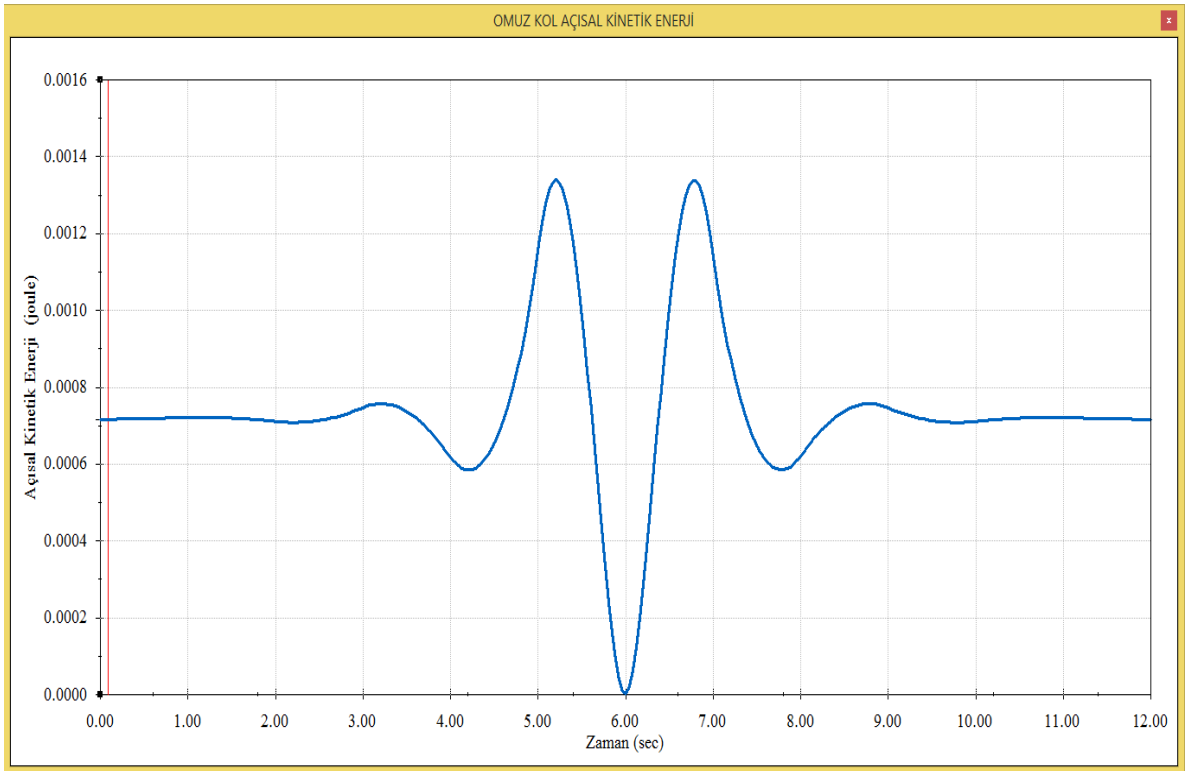
Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı açısall moment ?ekil 4.94'te verilmiş olup 5sn-6sn ile 6sn-7sn arasında maksimum degere, 6.sn'de ise 0 N.mm.sn degeri alarak minimum degere ulaşmıştır. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ötelenme kinetik enerjisi ?ekil 4.95'te verilmiş olup 5sn-6sn ile 6sn-7sn arasında yaklaşık olarak 0.0020 j degerini alarak maksimum degere ulaşırken 6.sn'de 0joule ile minimum degere ulaşmıştır. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı açısall kinetik enerjisi ?ekil 4.96'da verilmiş olup 5sn-6sn ile 6sn-7sn arasında yaklaşık olarak 0.0014 j ile maksimum degere, 6.sn'de ise 0 j degerini alarak minimum degere ulaşmıştır. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı toplam kinetik enerji değişimi ?ekil 4.97'de verilmiş olup 5sn-6sn ile 6sn-7sn arasında yaklaşık olarak 0.0040 j ile maksimum degere ulaşmıştır. Kürek çekme hareketi boyunca omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı güç değişimi ?ekil 4.98'de verilmiş olup maksimum +0.02 watt ile minimum -0.02 watt arasında değişmektedir.



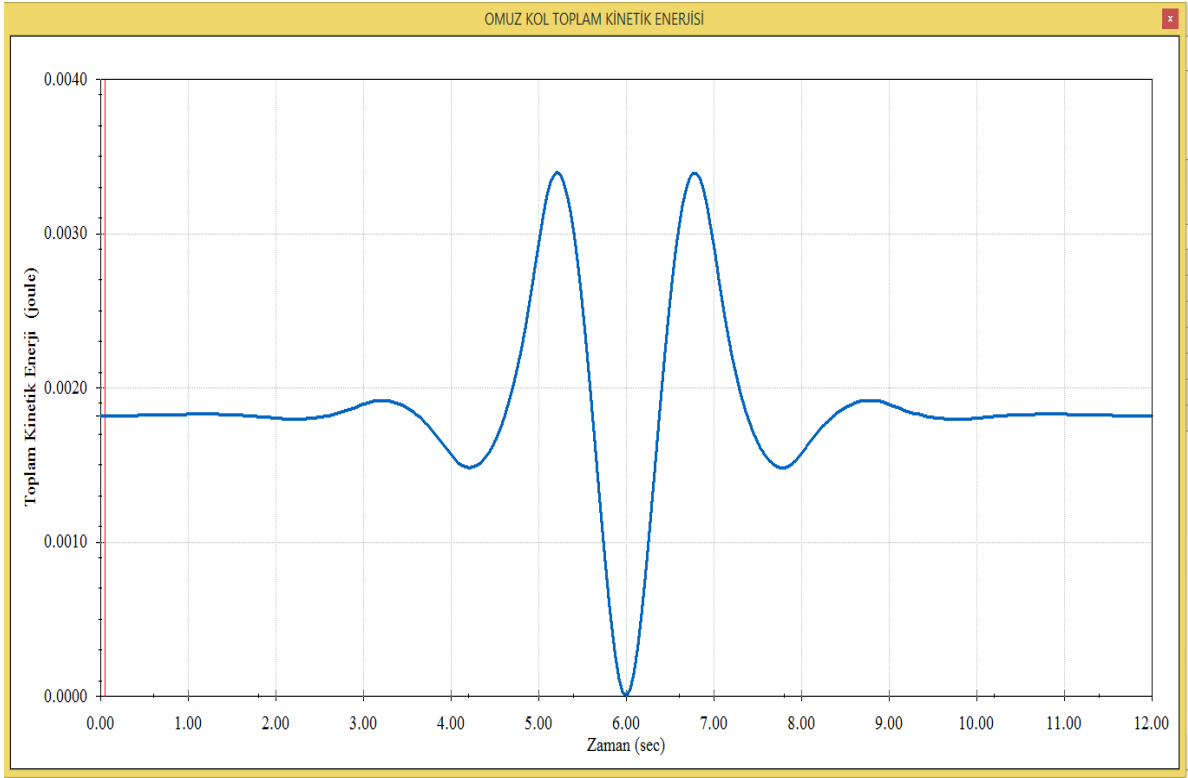
**Çekil 4.94.** Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının açısall moment-zaman grafiği



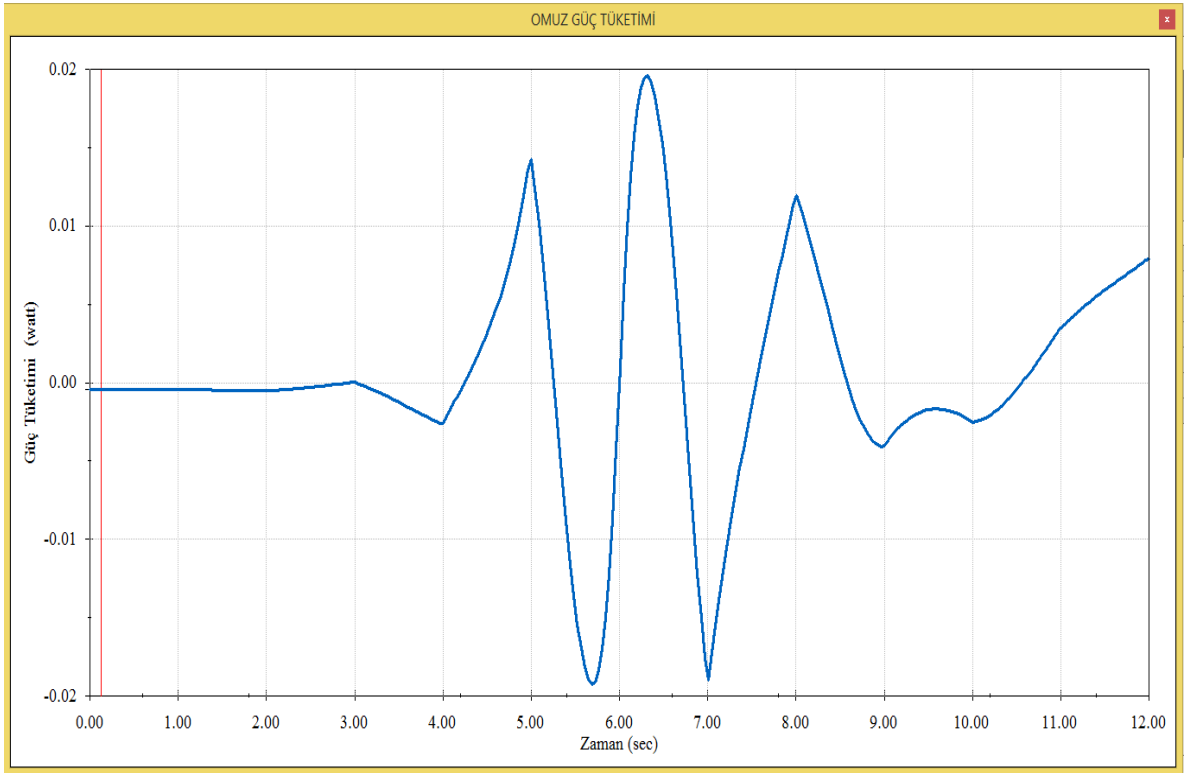
Çekil 4.95. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafiği



Çekil 4.96. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının açısal kinetik enerji-zaman grafiği



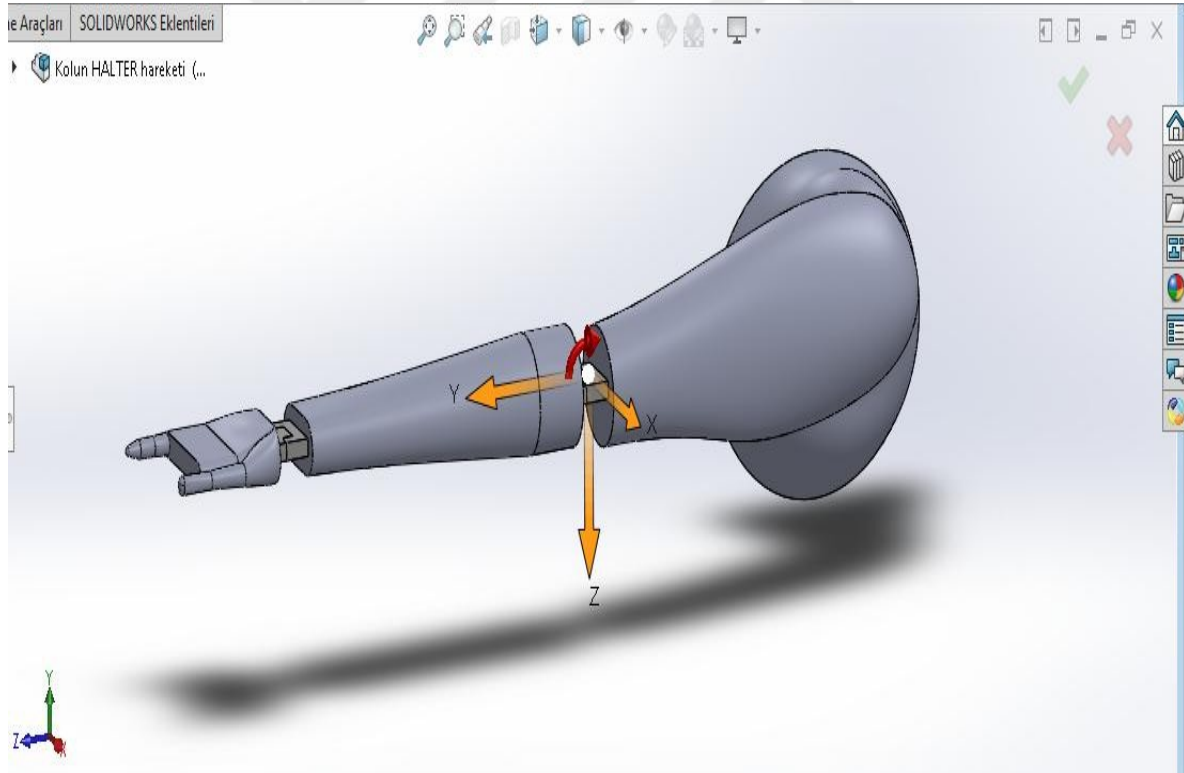
Çekil 4.97. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafiği



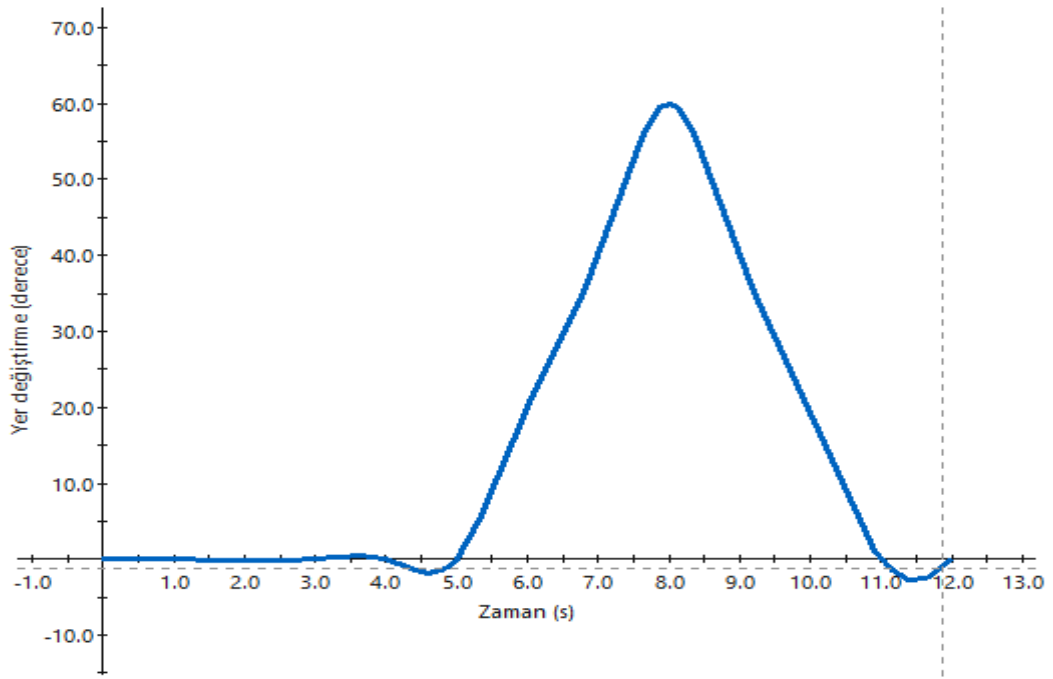
Çekil 4.98. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının güç-zaman grafiği

#### 4.3.2. Dirsek

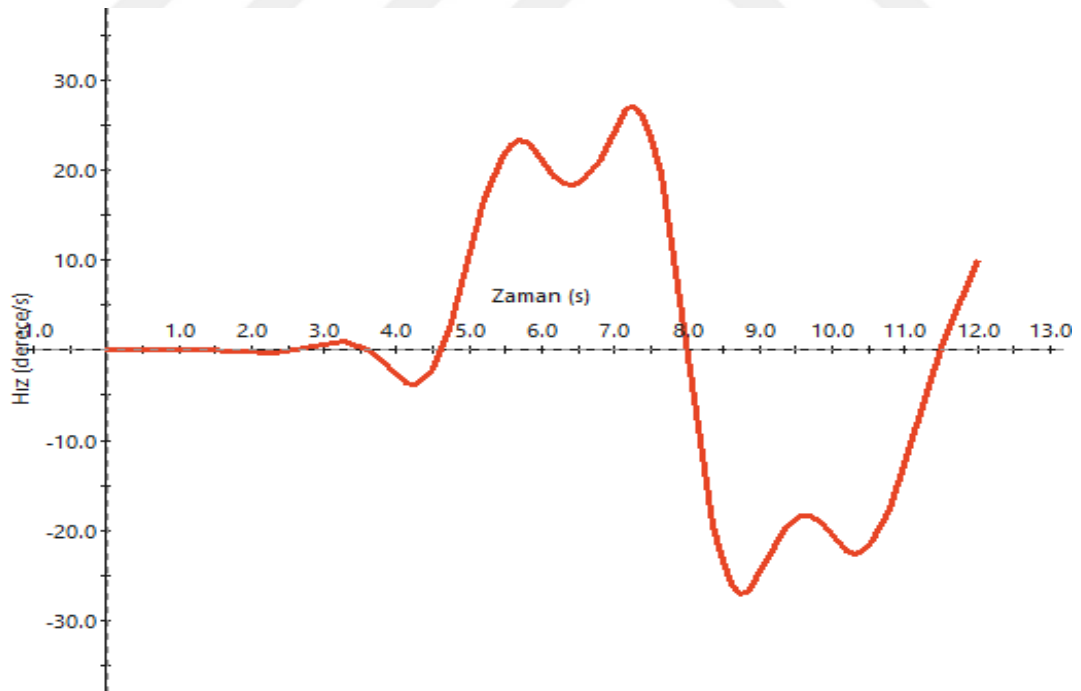
Şekil 4.99’da sporcu kolunun dirsek kısmı X,Y ve Z eksenleriyle birlikte gösterilmiştir. Bir sporcunun kürek çekme hareketi yaparken kolunun dirsek kısmının hareket boyunca Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı konum değişimi Şekil 4.100’de verilmiş olup açısal konumu maksimum  $60^\circ$  olarak belirlenmiştir. Dirseğin zamana bağlı hız değişimi Şekil 4.101’de verilmiş olup maksimum değeri  $+30$  derece/sn minimum değeri  $-30$  derece/sn olduğu görülmüştür. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ivme değişimi Şekil 4.102’de verilmiş olup maksimum değeri yaklaşık olarak  $+35$  derece/sn<sup>2</sup> iken minimum değeri  $-75$  derece/sn olduğu görülmüştür. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı sarsılma değişimi Şekil 4.103’te verilmiş olup 7sn-8sn arasında yaklaşık olarak  $-100$  derece/sn<sup>3</sup> ile minimum değerini alırken, 8sn-9sn arasında yaklaşık olarak  $+100$  derece/sn<sup>3</sup> maksimum değerini almıştır.



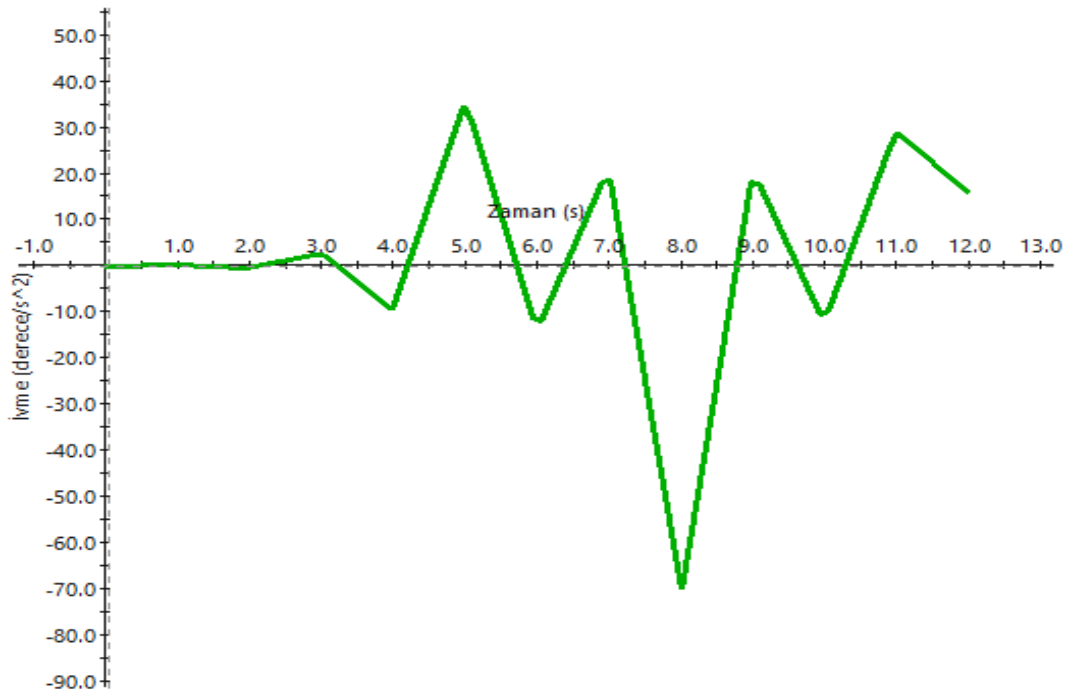
Şekil 4.99. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının Solidworks ile gösterimi



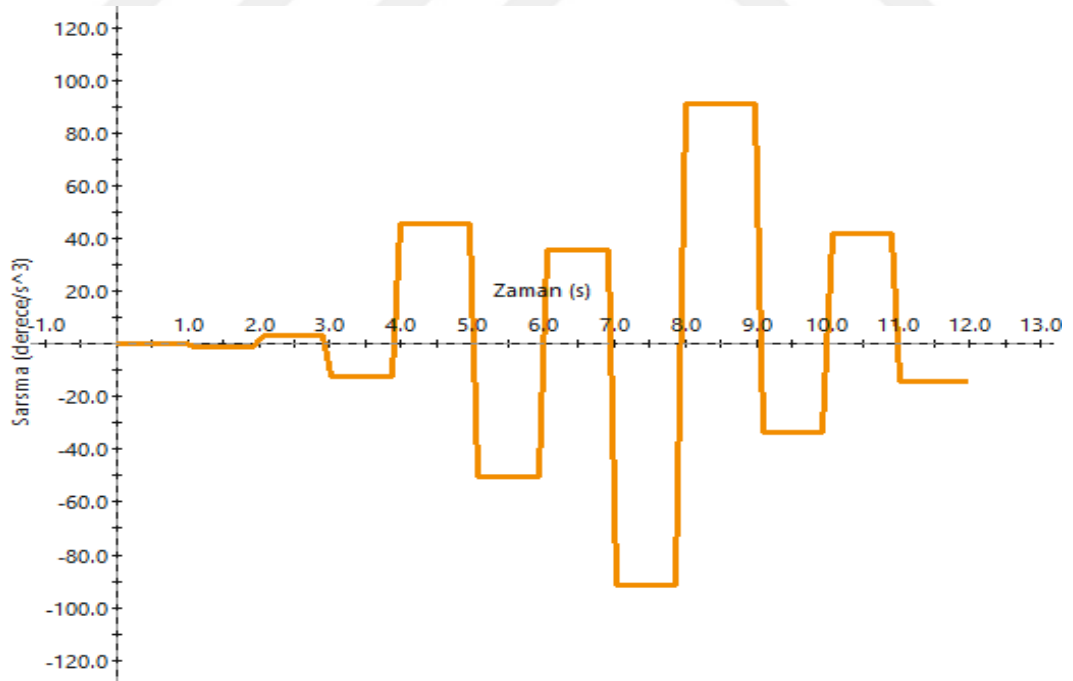
**Çekil 4.100.** Kürek  ekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının konum-zaman grafiği



**Çekil 4.101.** Kürek  ekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının hız-zaman grafiği

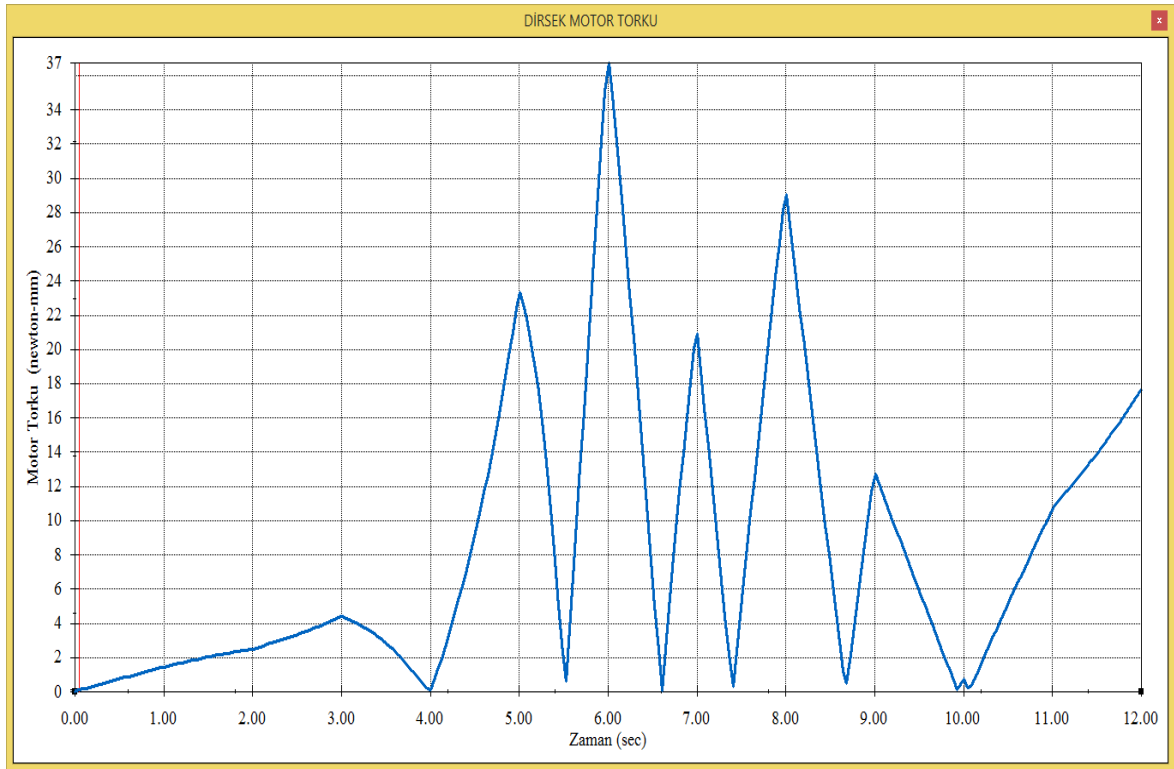


Çekil 4.102. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ivme-zaman grafiği

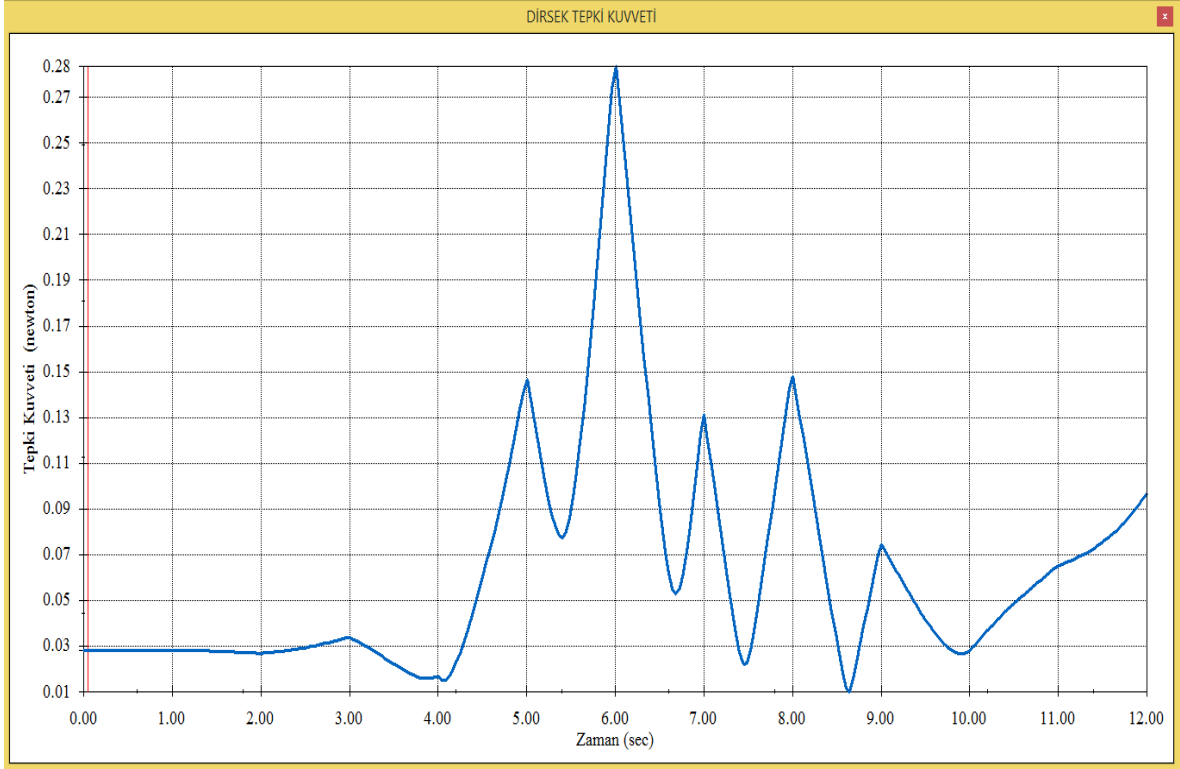


Çekil 4.103. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının sarsılma-zaman grafiği

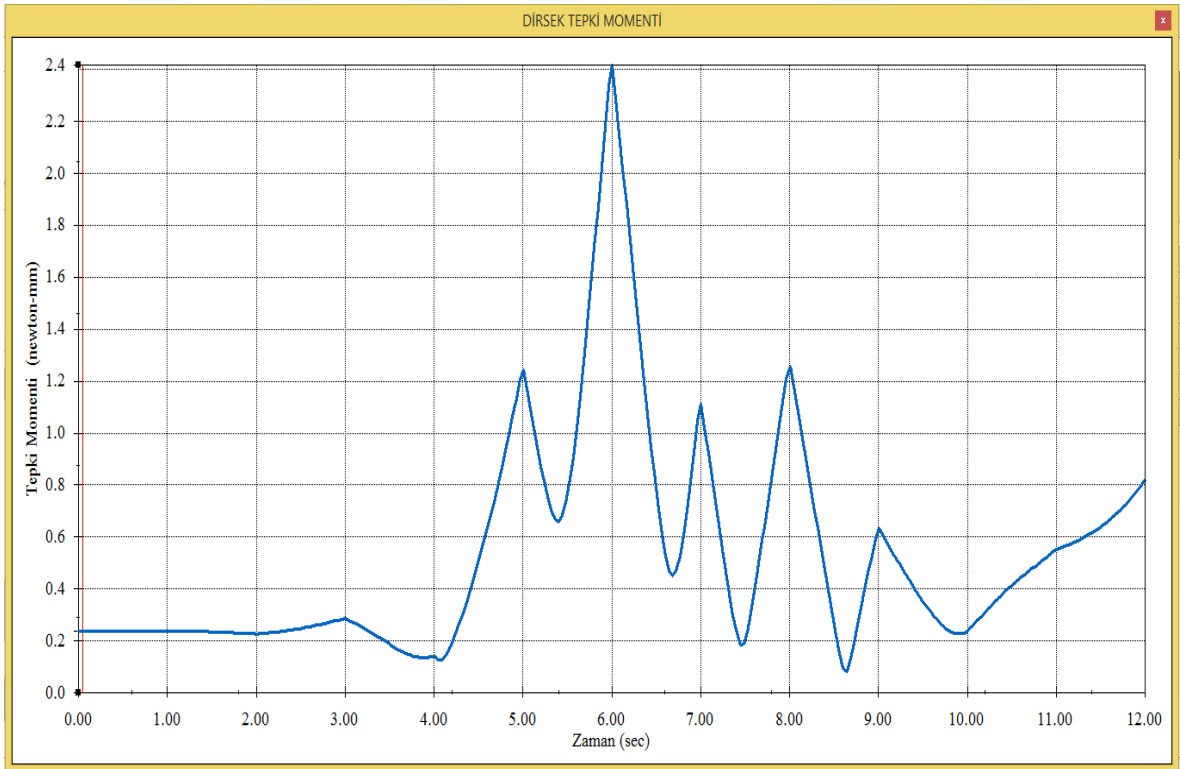
Kürek çekme hareketi yapan sporcunun hareket boyunca kolunun dirsek kısmının Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı tork değişimi ?ekil 4.104'te verilmiş olup 6.sn'de yaklaşık olarak 37 N.mm ile maksimum degerini almıştır. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı kuvvet değişimi ?ekil 4.105'te verilmiş olup 6.sn'de maksimum degeri 0.28 N olduğu görülmüştür. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı tepki momentinin değişimi ?ekil 4.106'da verilmiş olup 6.sn'de 2.4 N.mm ile maksimum degerini almıştır. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ötelenme moment değişimi ?ekil 4.107'de verilmiş olup 5sn-6sn ile 6sn-7sn arasında maksimum degeri, 6.sn'de ise yaklaşık olarak 0 N.sn ile minimum degeri almıştır.



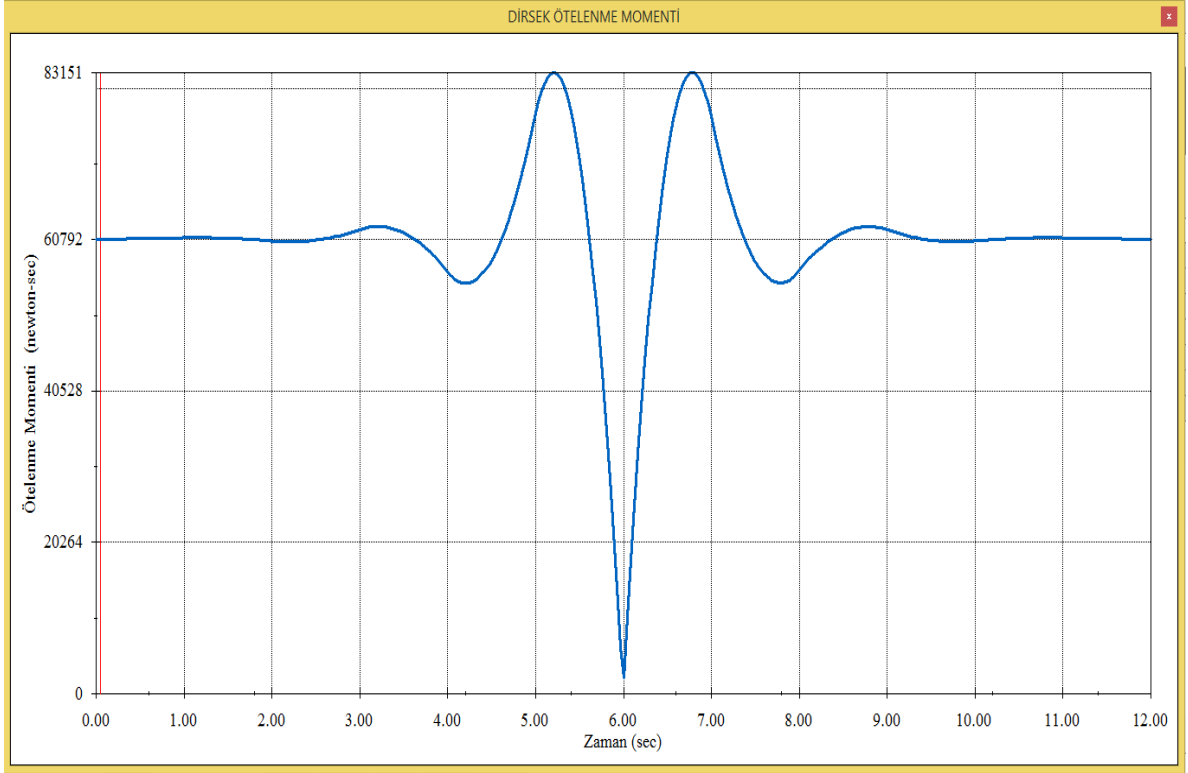
**Çekil 4.104.** Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının tork-zaman grafiği



Çekil 4.105. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının kuvvet-zaman grafiği

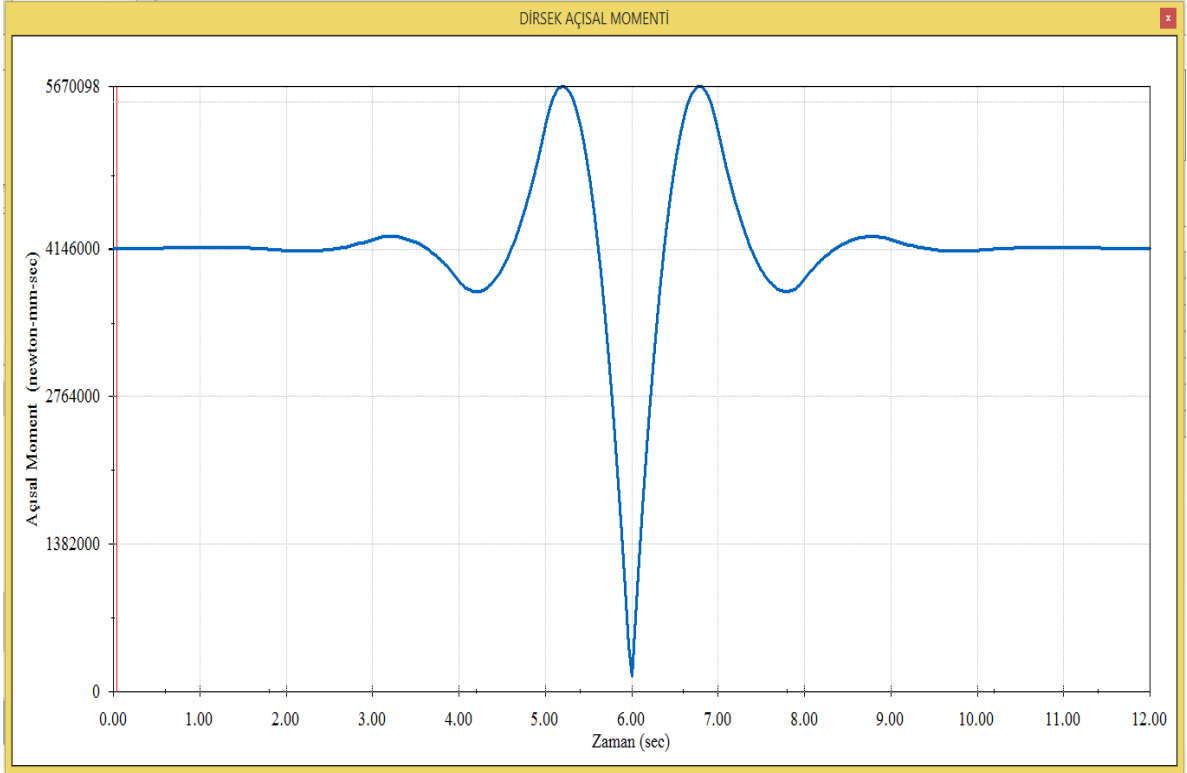


Çekil 4.106. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının tepki momenti-zaman grafiği

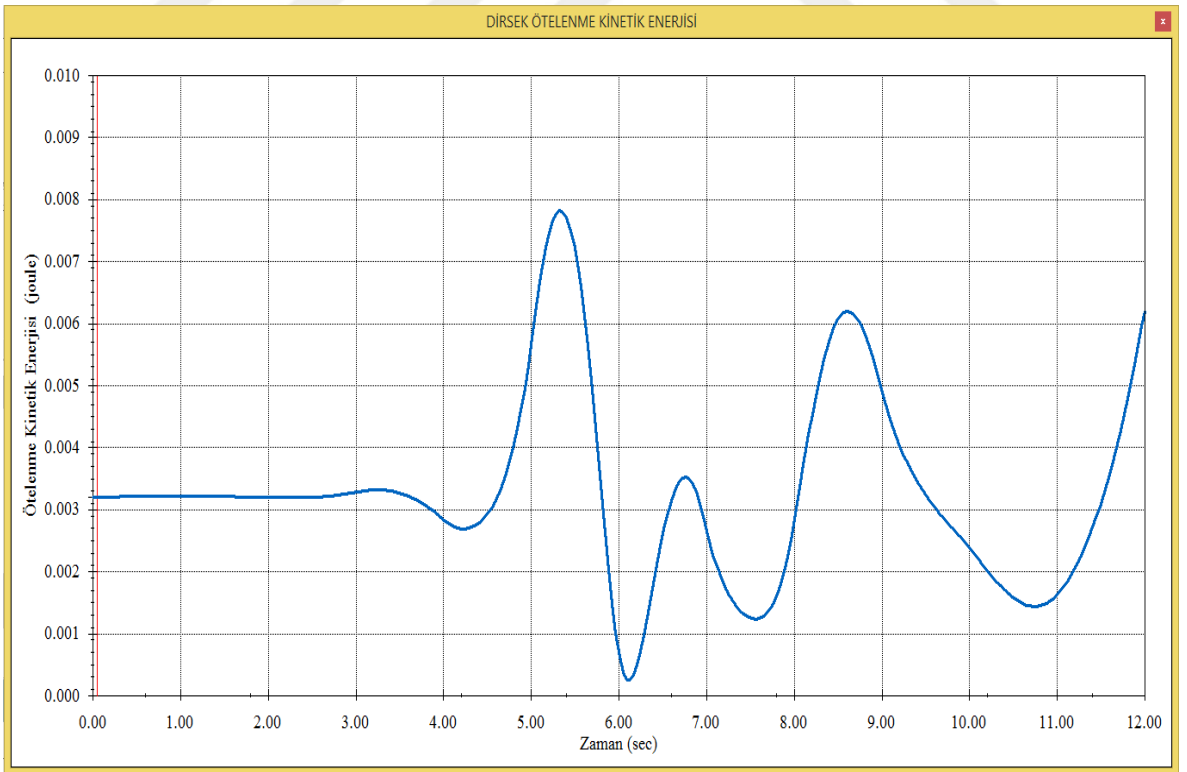


Çekil 4.107. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ötelenme momenti-zaman grafiği

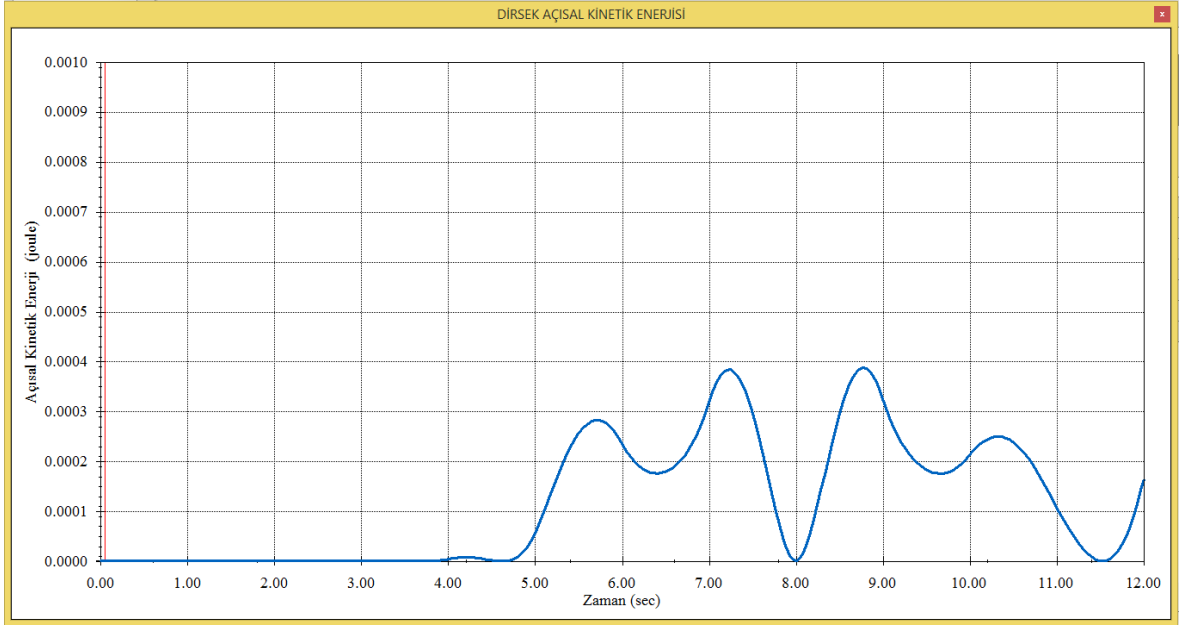
Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı açılal moment değışimi Çekil 4.108’de verilmiş olup 5sn-6sn ile 6sn-7sn arasında maksimum değeri alıp 6.sn’de 0 N.mm.sn ile minimum değere ulaşmıştır. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki ötelenme kinetik enerjisinin zamana bağlı değışimi Çekil 4.109’da verilmiş olup 5sn-6sn arasında maksimum değere ulaşmıştır. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki açılal kinetik enrjinin zamana bağlı değışimi Çekil 4.110’da verilmiş olup 7sn-8sn ile 8sn-9sn arasında maksimum değere, 8.sn’de 0 j ile minimum değeri almıştır. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı toplam kinetik enerji değışimi Çekil 4.111’de verilmiş olup 5sn-6sn arasında maksimum değeri almıştır. Hareket boyunca dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı güç değışimi Çekil 4.112’de verilmiş olup 6.sn’de -0.014 watt ile minimum değere, 0.009 watt ile maksimum değere ulaştığı görülmüştür.



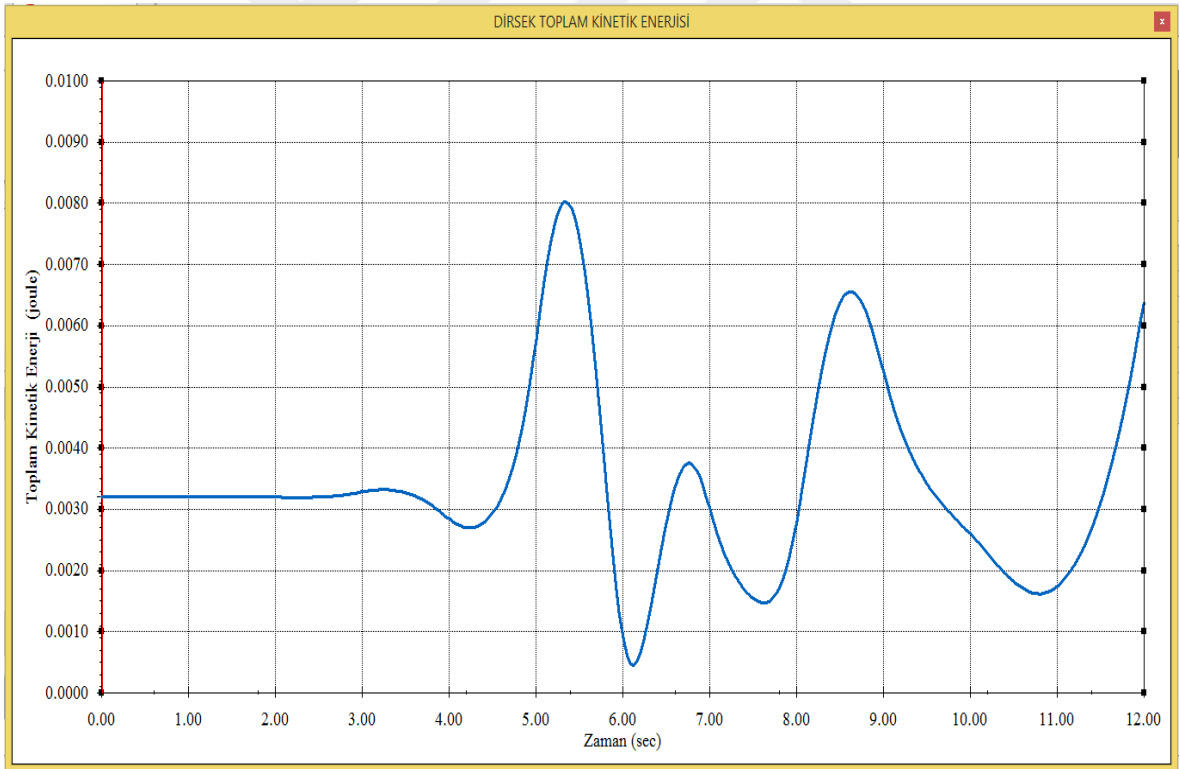
Çekil 4.108. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının açisal moment-zaman grafigi



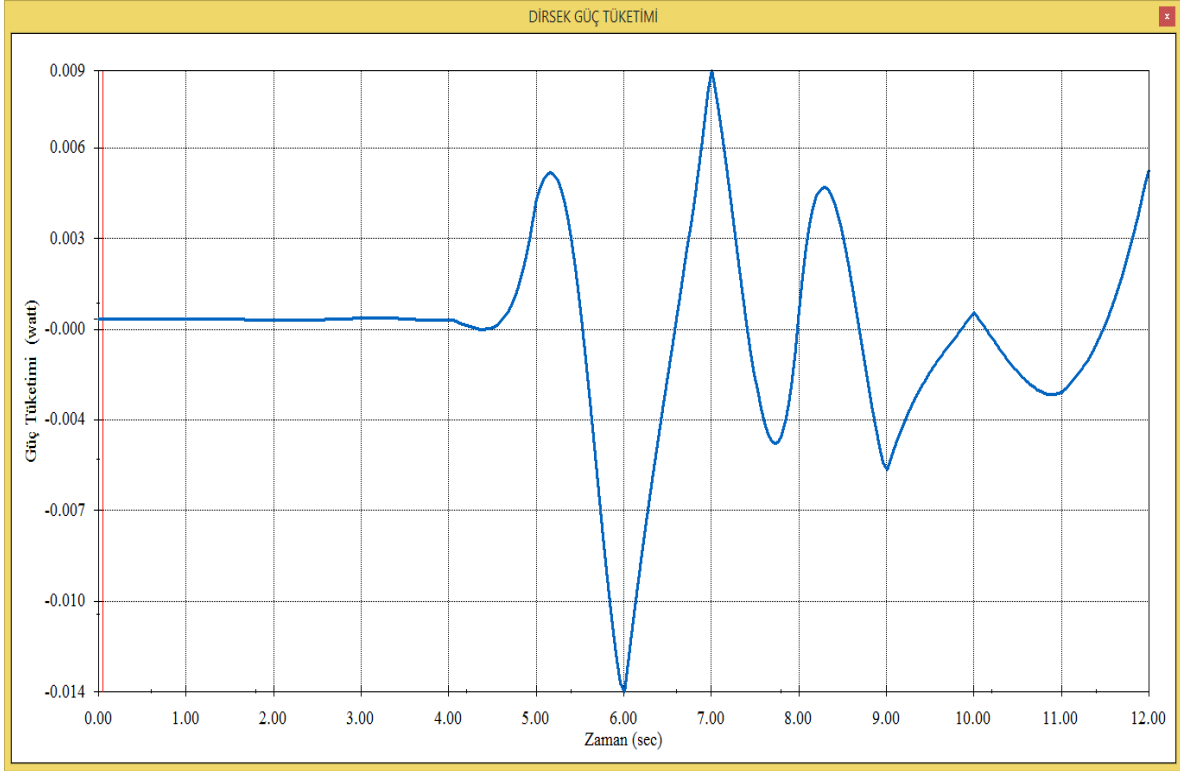
Çekil 4.109. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafigi



**Çekil 4.110.** Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının açisal kinetik enerji-zaman grafigi



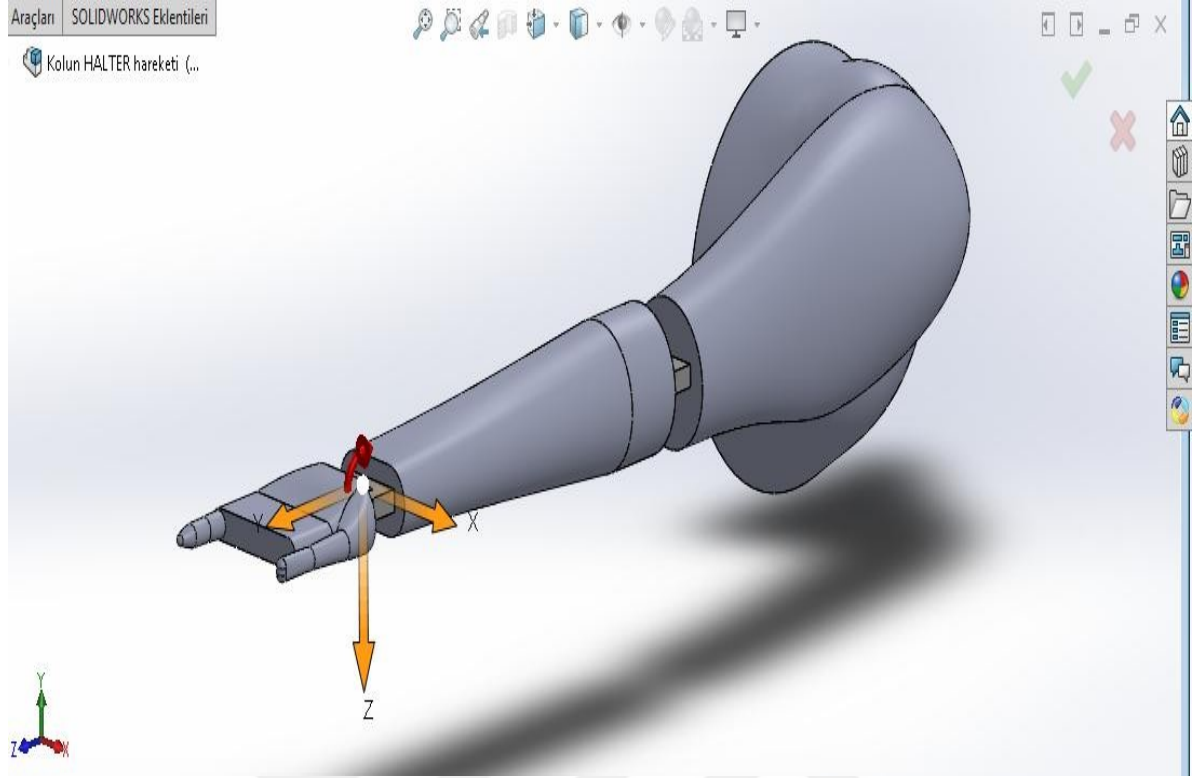
**Çekil 4.111.** Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafigi



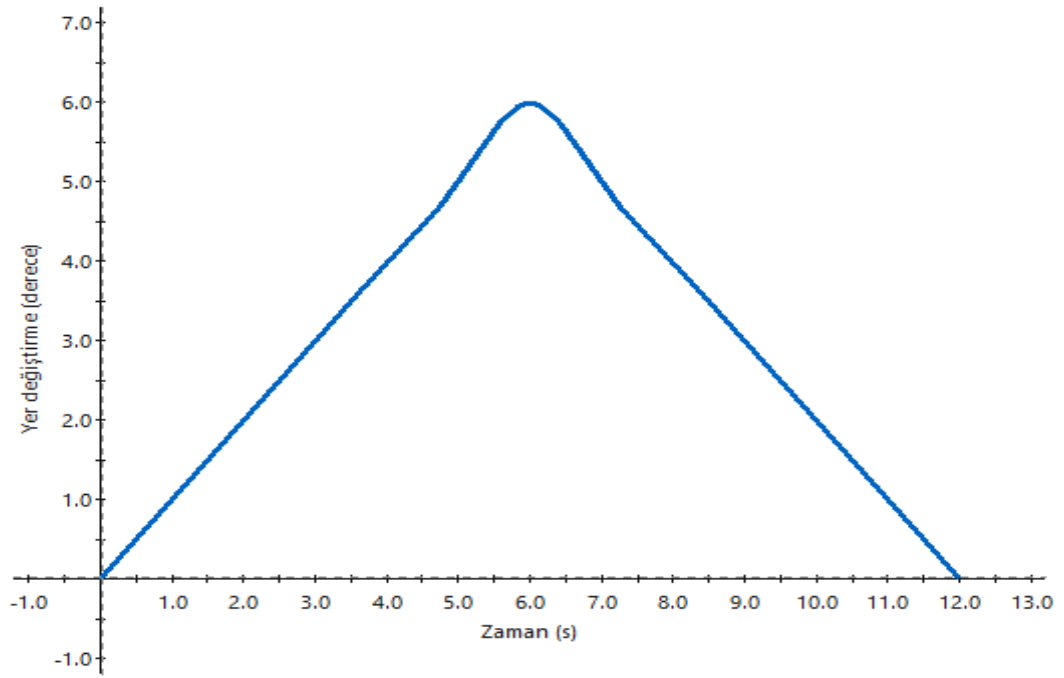
Çekil 4.112. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının güç-zaman grafiği

#### 4.3.3. Bilek

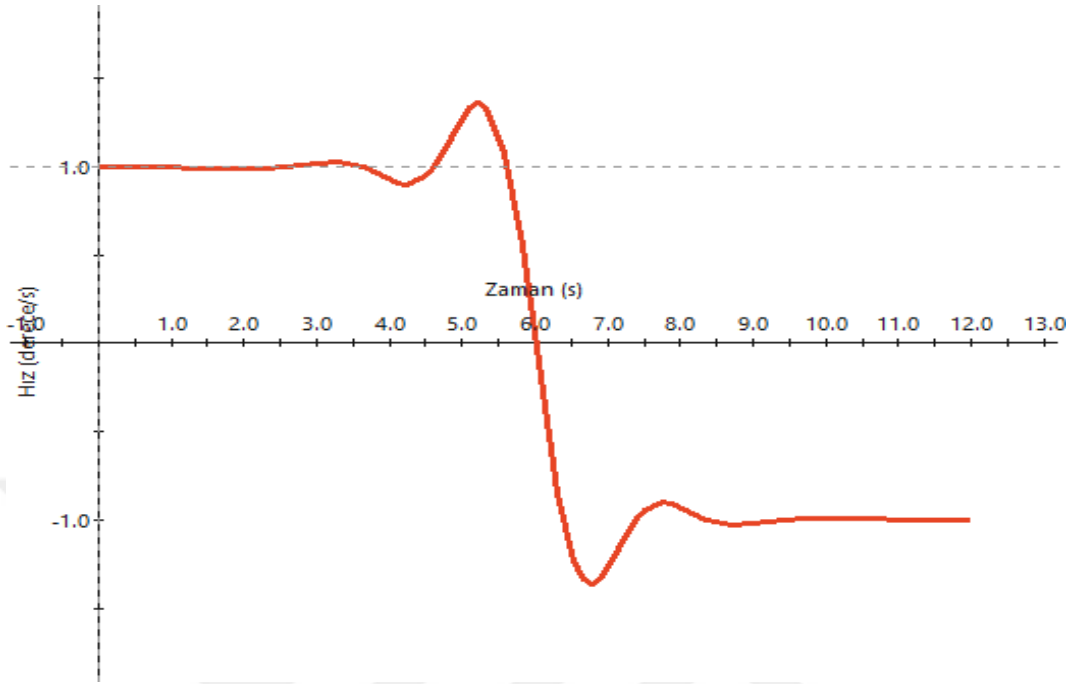
Sporcunun kürek çekme hareketi yaparken kolunun bilek kısmının X,Y ve Z eksenleri ile birlikte Çekil 4.113'te gösterilmiştir. Bu sporcunun kürek çekme hareketi yaparken hareket boyunca sporcu kolunun bileğinin Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı konum değişimi Çekil 4.114'te verilmiş olup maksimum konumu  $6^\circ$  olarak belirlenmiştir. Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı hız değişimi Çekil 4.115'te verilmiş olup açısal hızın maksimum değeri yaklaşık olarak  $+1.5$  derece/sn, minimum değeri ise yaklaşık olarak  $-1.5$  derece/sn olduğu görülmüştür. Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ivme değişimi Çekil 4.116'da verilmiş olup maksimum değeri yaklaşık olarak  $1$  derece/sn<sup>2</sup> olup minimum değeri ise  $-3.5$  derece/sn<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı sarsılma değişimi Çekil 4.117'de verilmiş olup 5sn-6sn arasında minimum değeri, 6sn-7sn maksimum değeri aldığı görülmüştür.



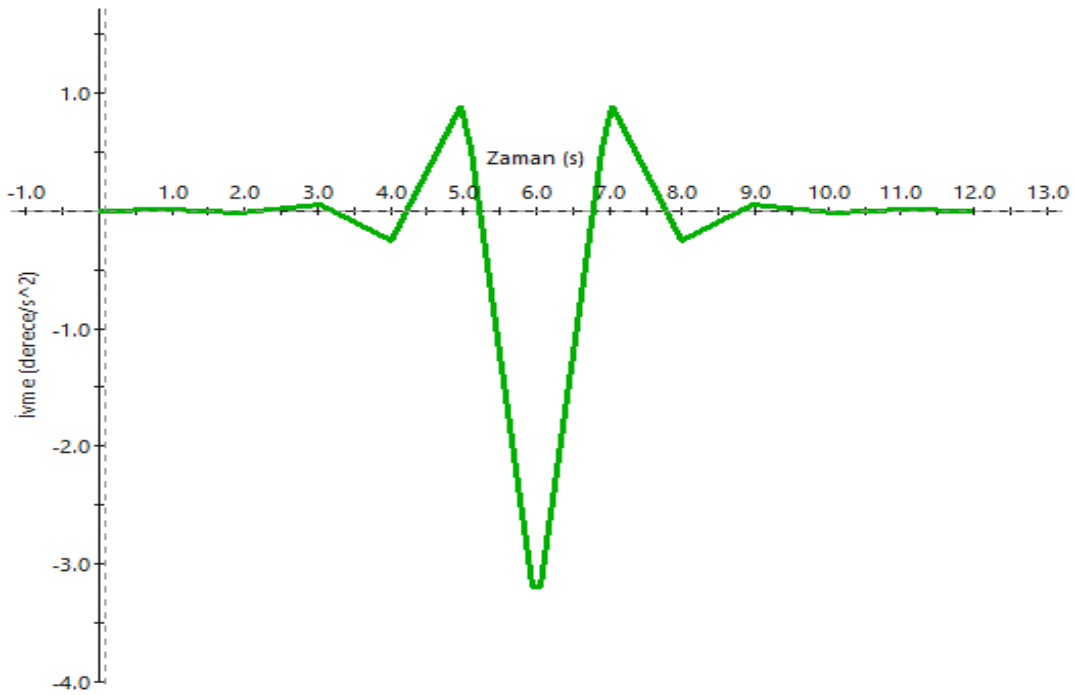
**Çekil 4.113.** Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının Solidworks ile gösterimi



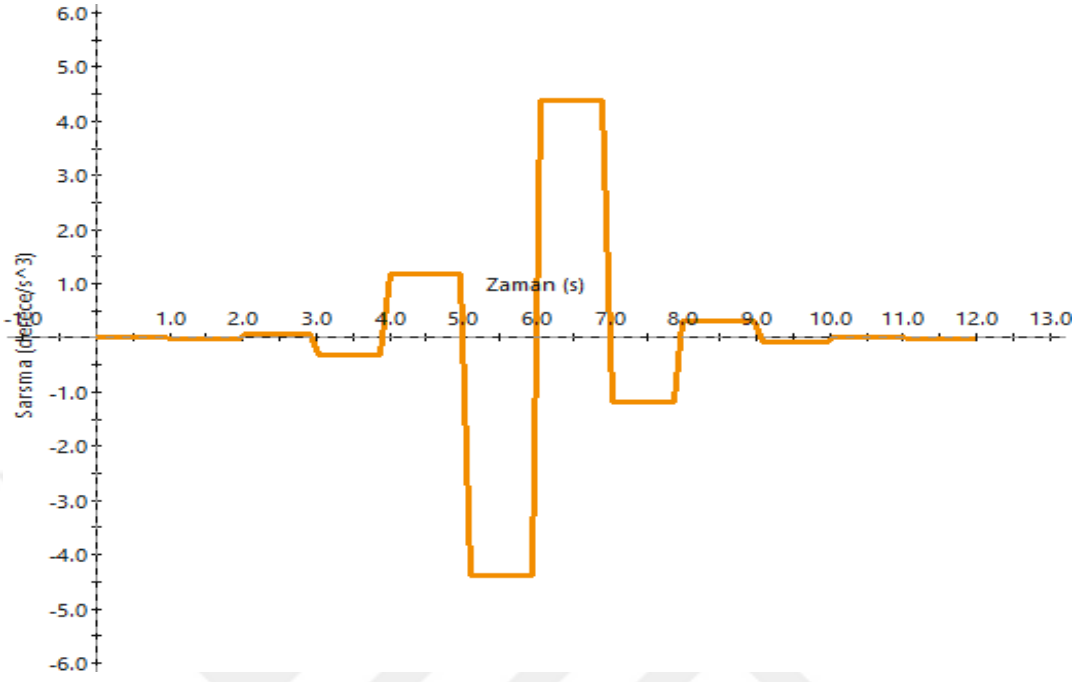
**Çekil 4.114.** Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının konum-zaman grafiği



**Çekil 4.115.** Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının hız-zaman grafiği

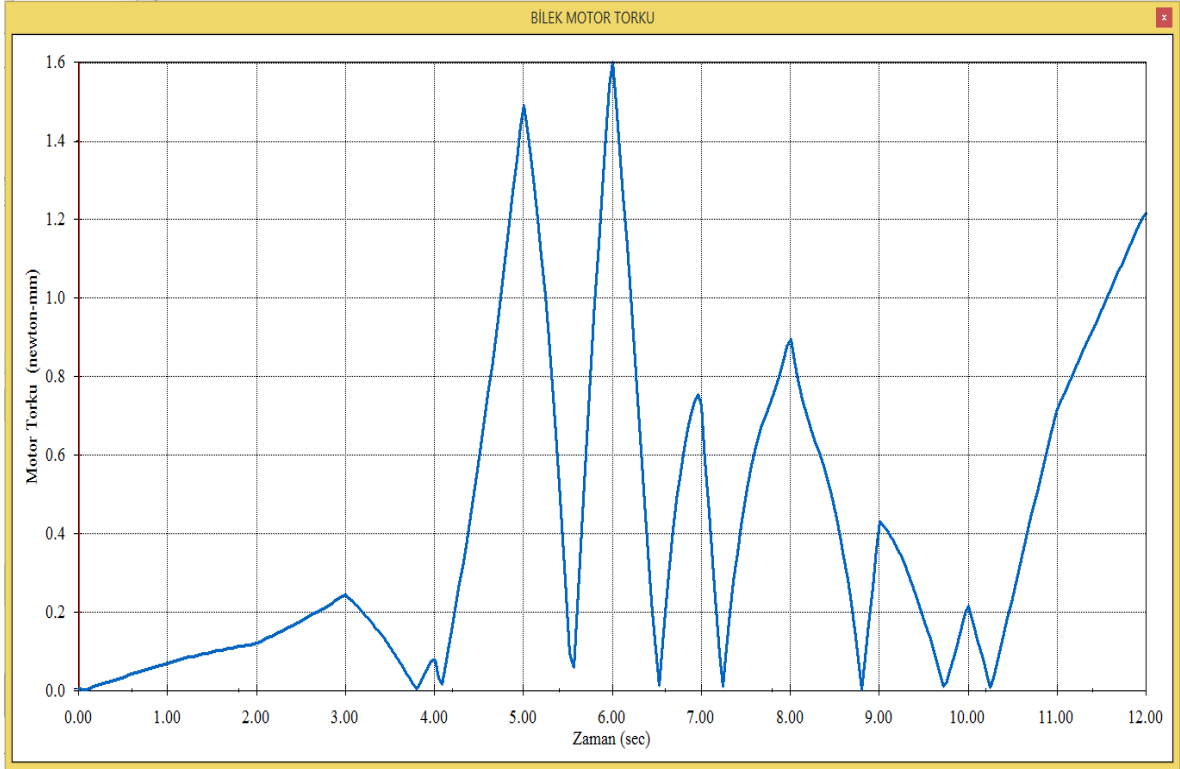


**Çekil 4.116.** Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ivme-zaman grafiği

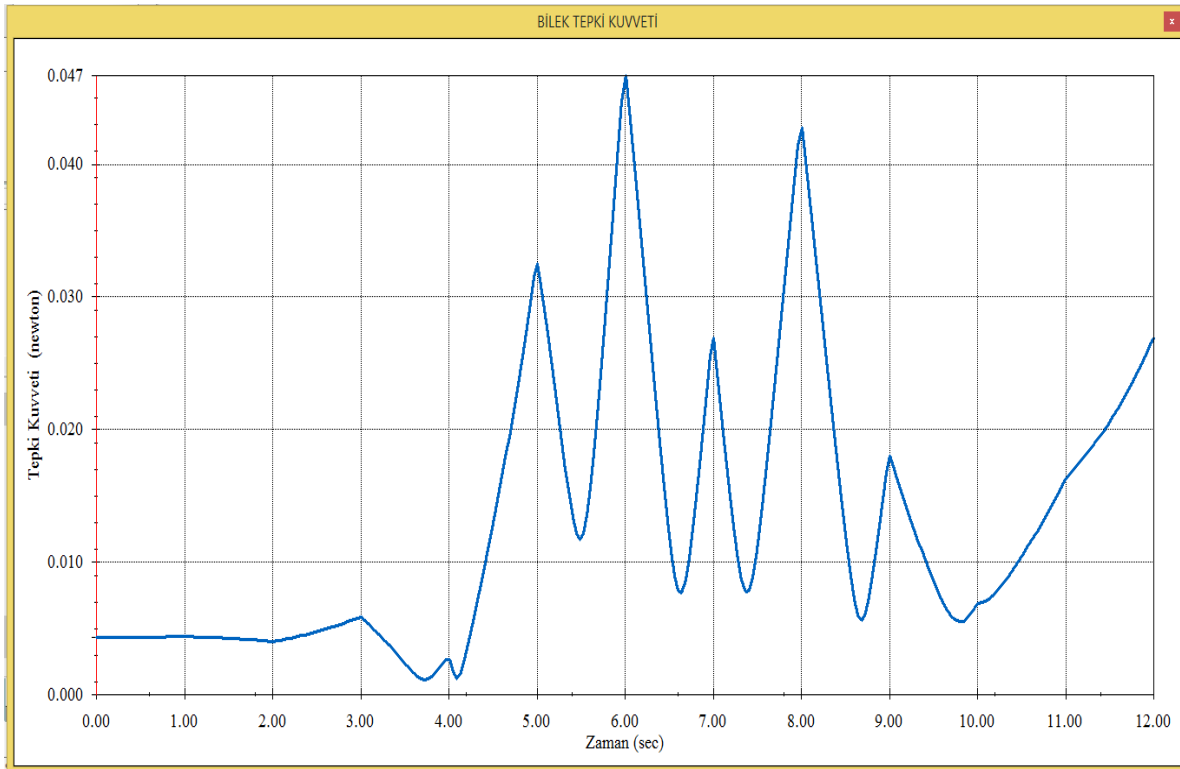


**Çekil 4.117.** Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının sarsılma-zaman grafiği

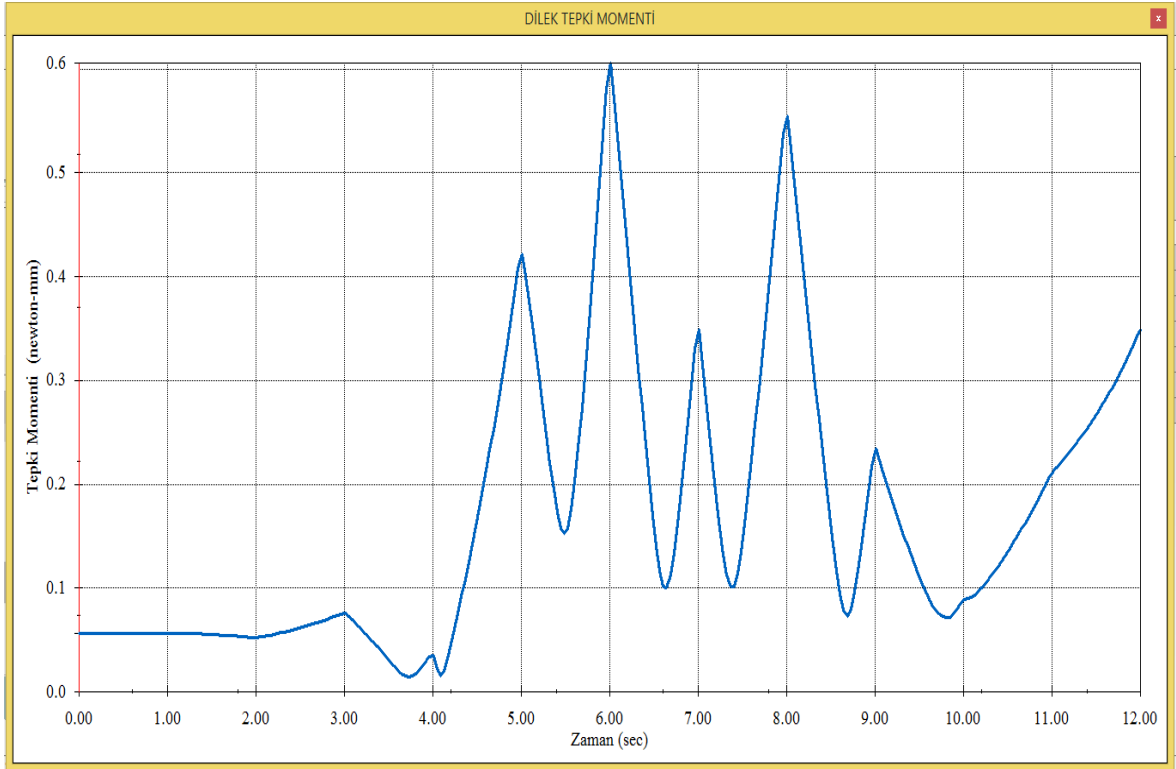
Kürek çekme hareketi boyunca bileğin Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı tork değişimi Çekil 4.118’de verilmiş olup 6.sn’de maksimum değerini aldığı görülmüştür. Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı kuvvet değişimi Çekil 4.119’da verilmiş olup 6.sn’de maksimum değerini aldığı görülmüştür. Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı tepki momenti değişimi Çekil 4.120’de verilmiş olup 6.sn’de maksimum değerini aldığı görülmüştür. Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ötelenme momenti değişimi Çekil 4.121’de verilmiş olup 5sn-6sn ile 8sn-9sn arasında maksimum degere ulaştığı görülmüştür.



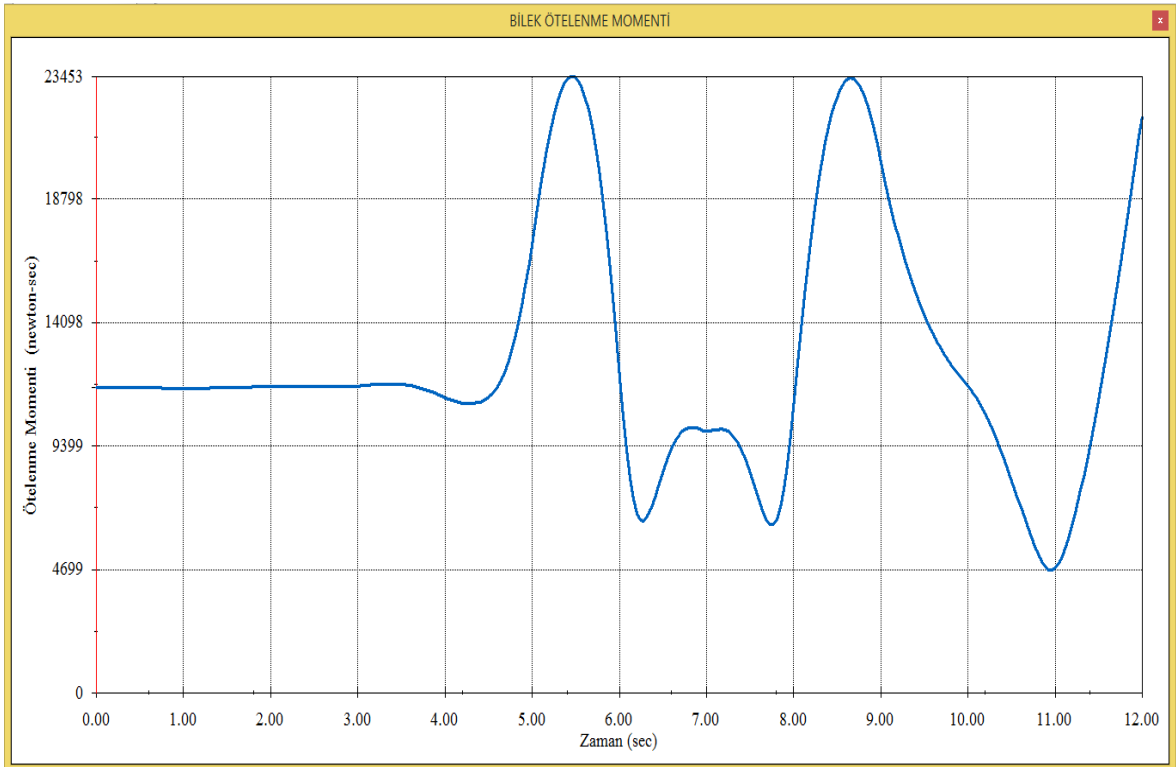
Çekil 4.118. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının tork-zaman grafiği



Çekil 4.119. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının kuvvet-zaman grafiği

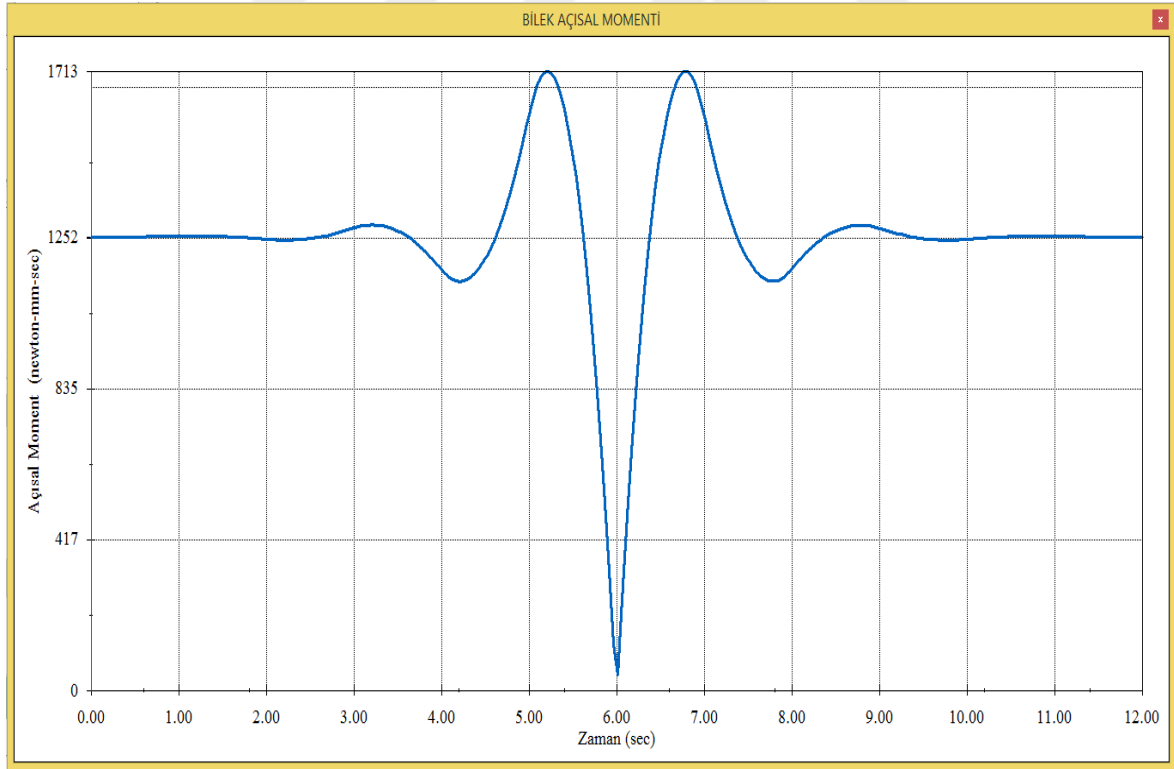


**Çekil 4.120.** Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının tepki momenti-zaman grafiği

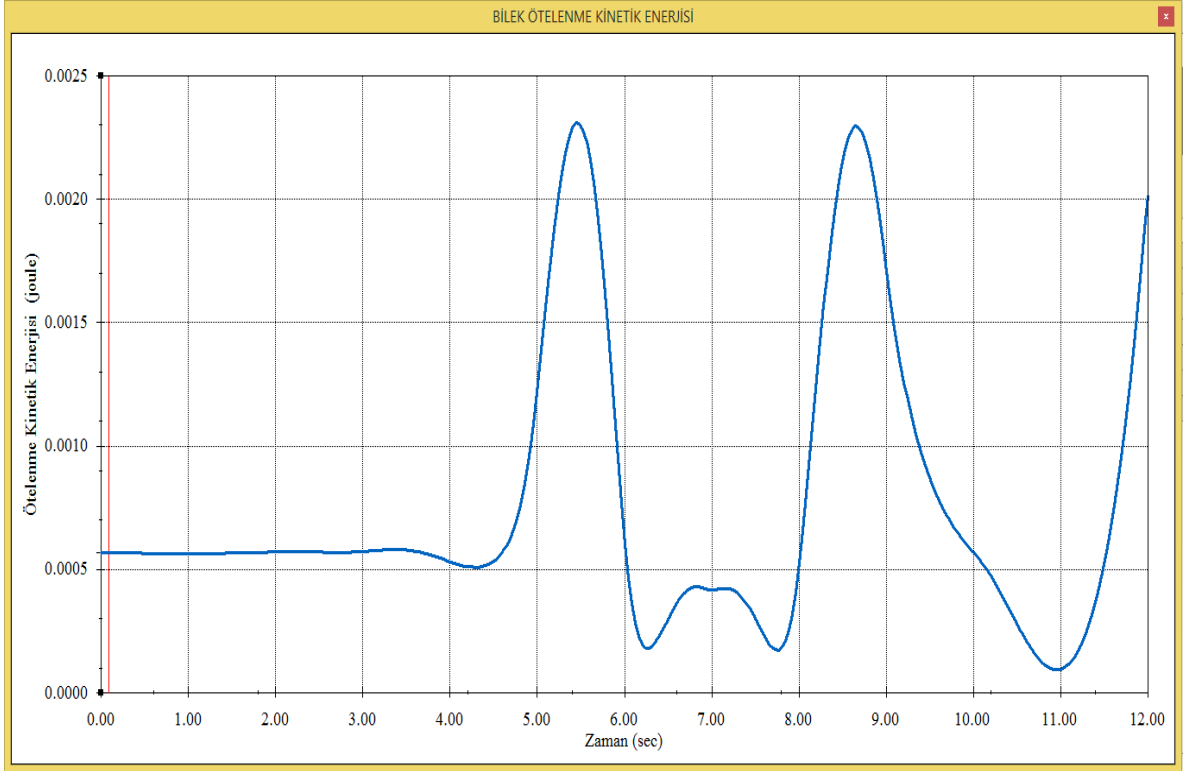


**Çekil 4.121.** Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ötelenme momenti-zaman grafiği

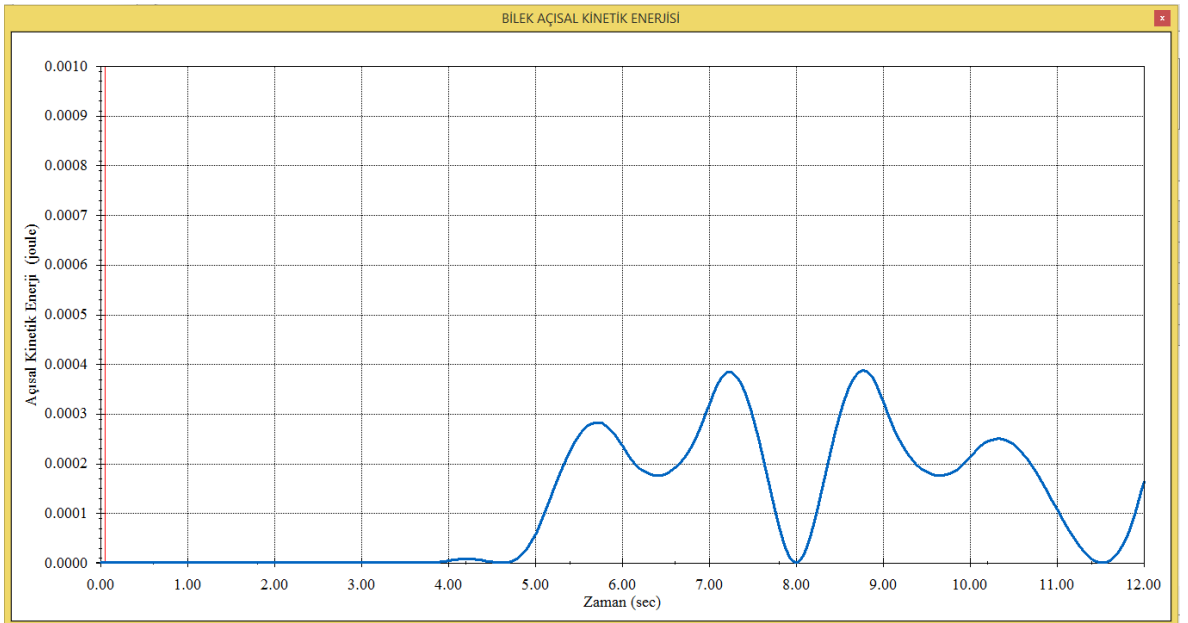
Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı açısall moment değışimi ?ekil 4.122’de verilmiş olup 5sn-6sn ile 6sn-7sn arasında maksimum değer, 6.sn’de ise minimum değere ulaşmıştır. Kürek çekme hareketi boyunca sporcu bileğinin Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı ötelenme kinetik enerjisi ?ekil 4.123’te verilmiş olup 5sn-6sn ile 8sn-9sn arasında maksimum değere ulaşırken 11.sn’de minimum değere ulaşmıştır. Bileğın Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı meydana gelen açısall kinetik enerji değışimi ?ekil 4.124’te verilmiş olup 7sn-8sn ile 8sn-9sn arasında maksimum değere ulaşmıştır. Bileğın Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı toplam kinetik enerji değışimi ?ekil 4.125’te verilmiş olup 5sn-6sn ile 8sn-9sn arasında maksimum değere ulaşmıştır. Kürek çekme hareketi boyunca Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı güç değışimi ?ekil 4.126’da verilmiş olup maksimum değeri yaklaşık olarak +0.00004watt ile minimum yaklaşık olarak -0.00002watt arasında değışmiştir.



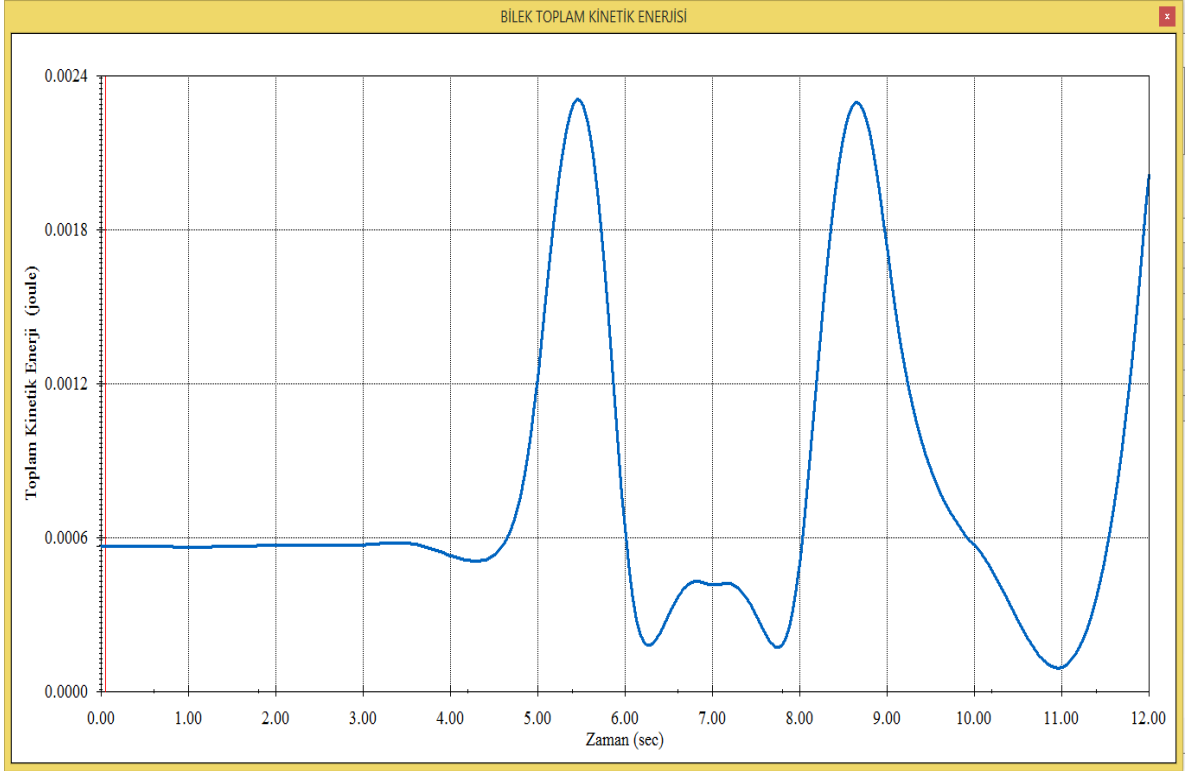
**Çekil 4.122.** Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının açısall moment-zaman grafigi



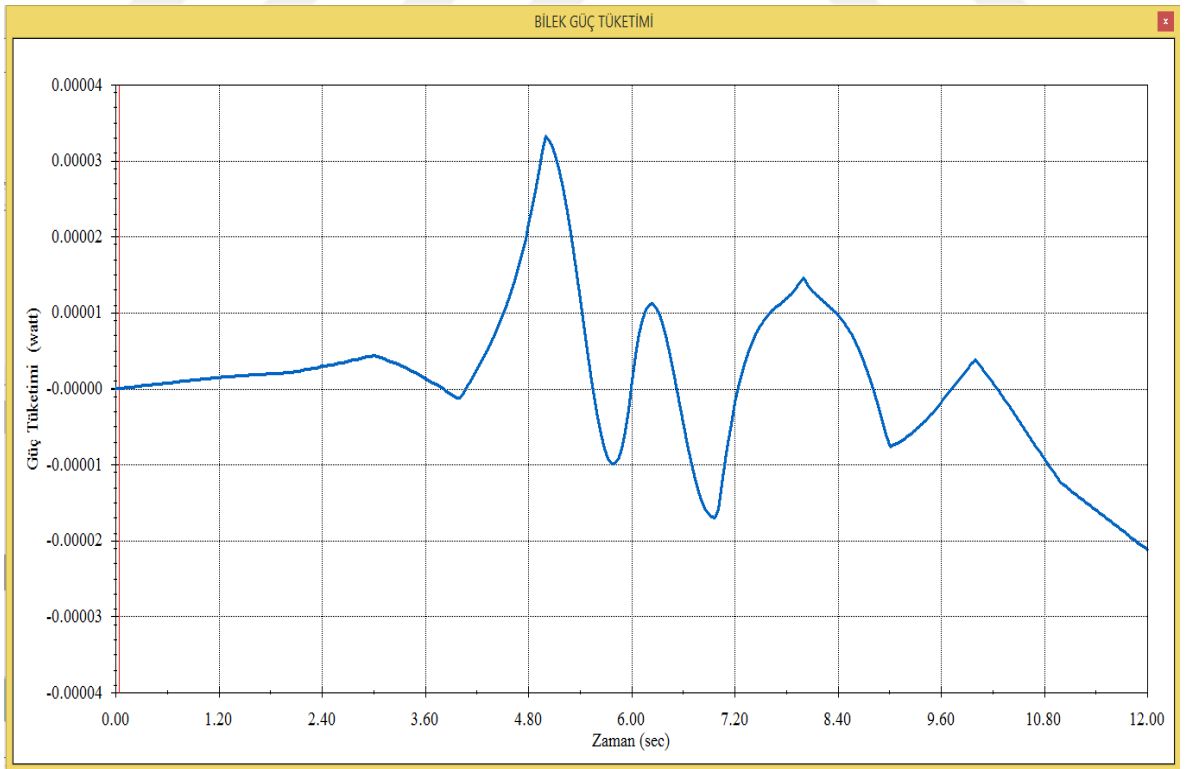
Çekil 4.123. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafiği



Çekil 4.124. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının açısai kinetik enerji-zaman grafiği



Çekil 4.125. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafigi



Çekil 4.126. Kürek çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının güç-zaman grafigi

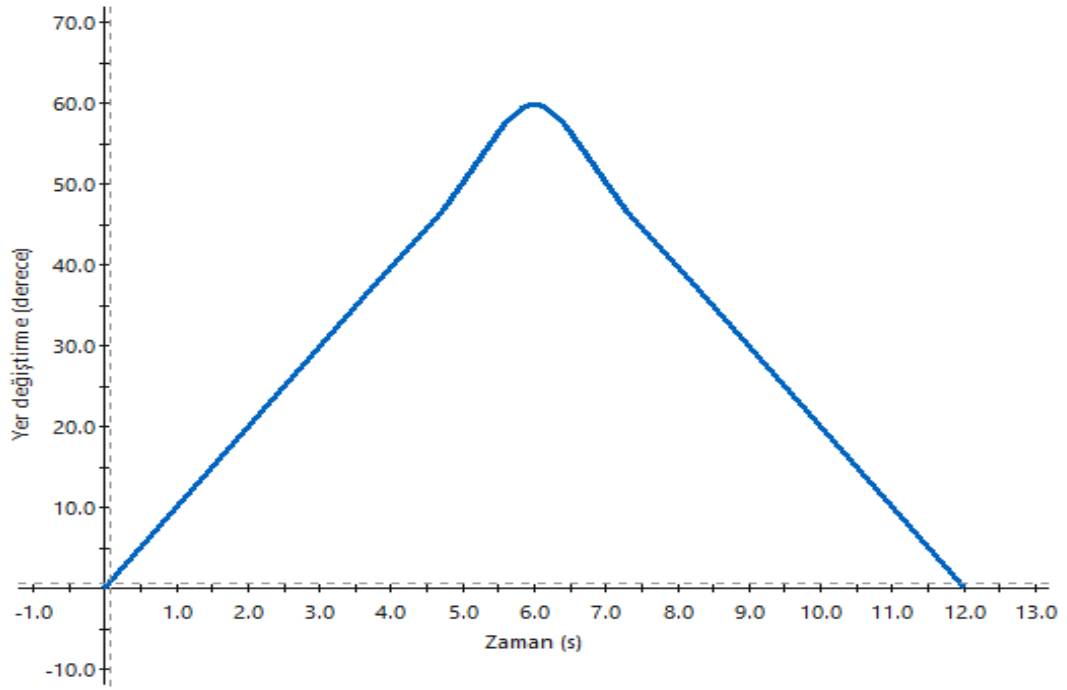
#### 4.4. Çınav Çekme Hareketi

##### 4.4.1. Omuz

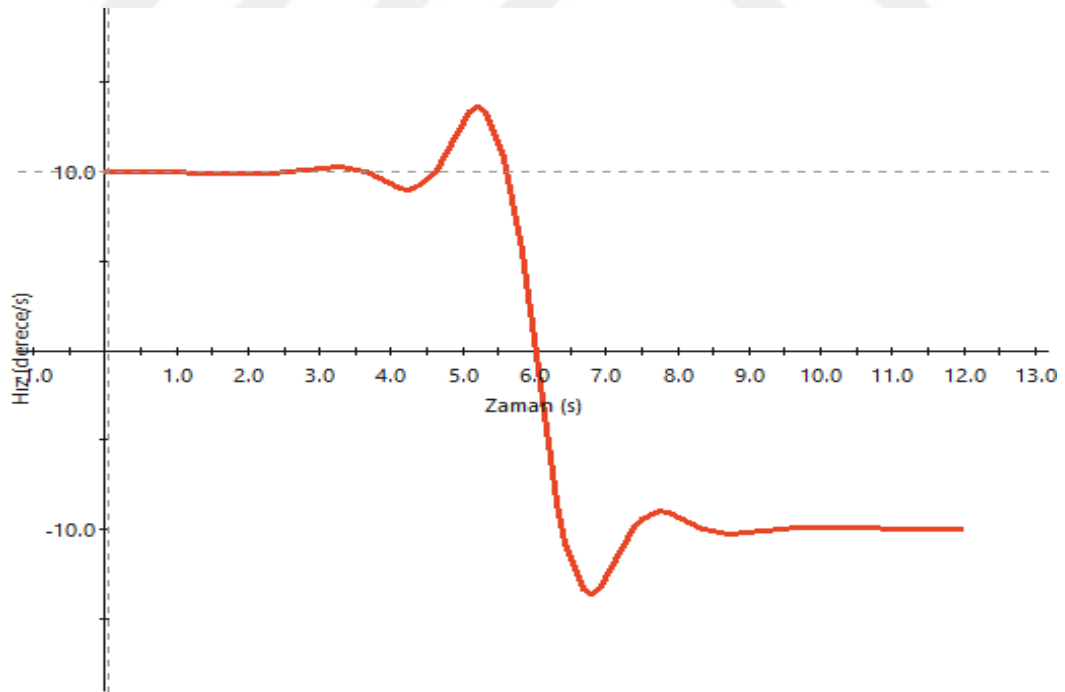
Şekil 4.127’da gösterilen sporcu bir insan kolunun omuz kısmının X,Y ve Z eksenleri gösterilmiştir. Çınav çekme hareketi boyunca Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı konum değişimi Şekil 4.128’de verilmiş olup maksimum açısal konumu  $60^\circ$  olarak belirlenmiştir. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı hız değişimi Şekil 4.129’da verilmiş olup maksimum değeri yaklaşık olarak  $+15$  derece/sn ile minimum değeri yaklaşık olarak  $-15$  derece/sn olarak belirlenmiştir. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ivme değişimi Şekil 4.130’da verilmiş olup maksimum değeri  $+10$  derece/sn<sup>2</sup>, minimum değeri  $-35$  derece/sn<sup>2</sup> olduğu gözlenmiştir. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı sarsılma değişimi Şekil 4.131’de, verilmiş olup 5sn-6sn arasında minimum degere, 6sn-7sn arasında maksimum degere ulaşmıştır.



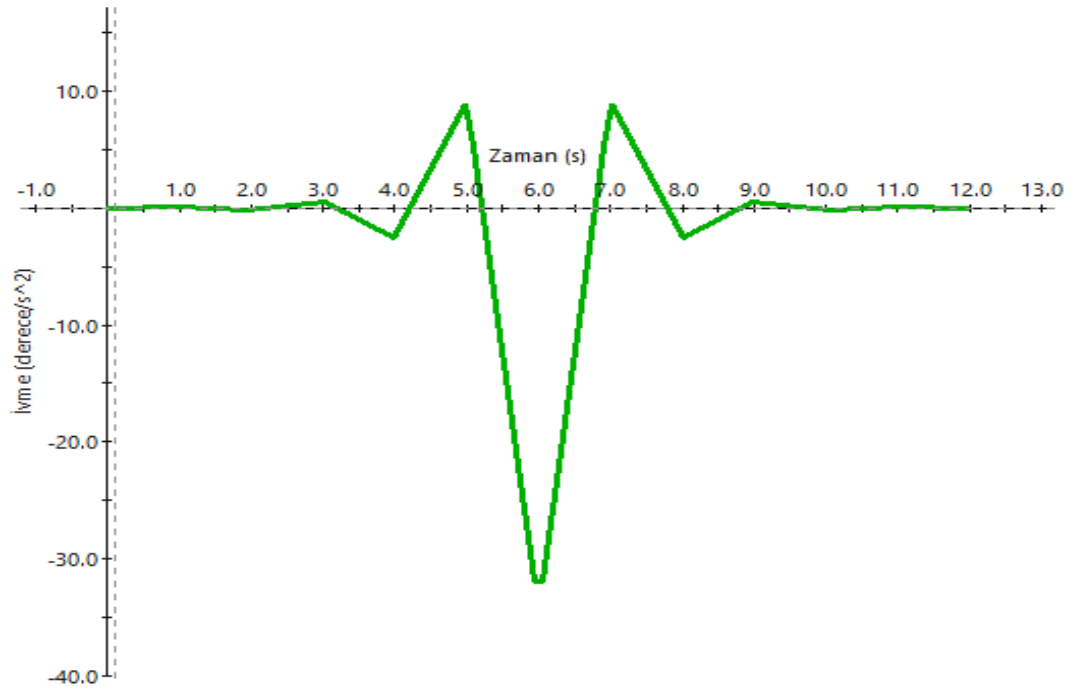
Çekil 4.127. Çınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının Solidworks ile gösterimi



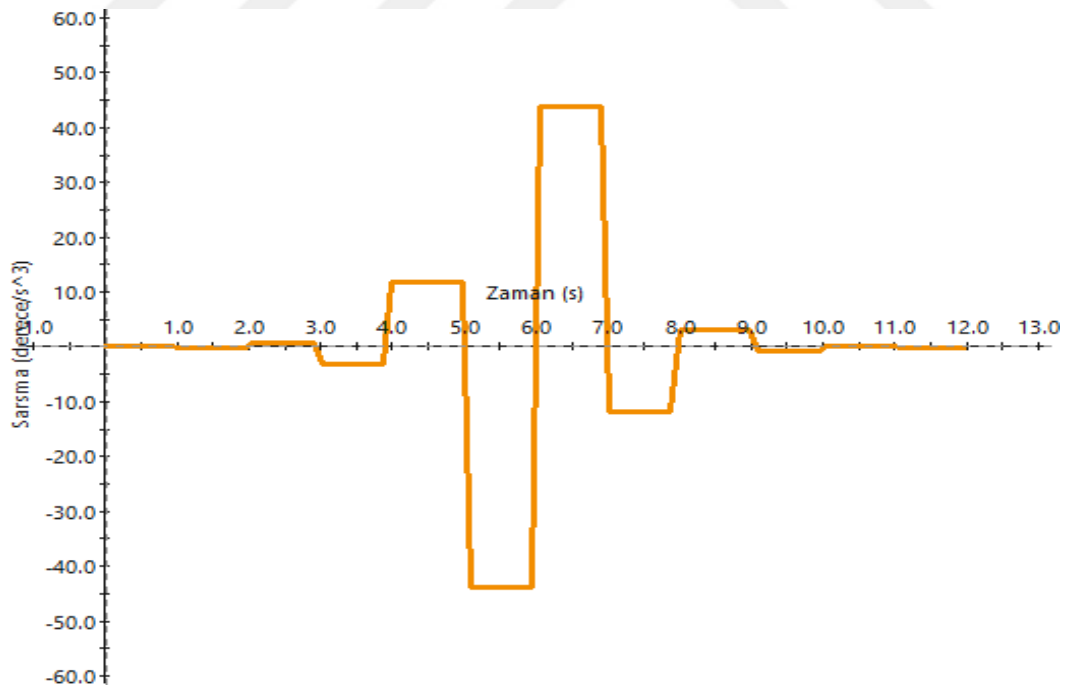
**Çekil 4.128.** ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının konum-zaman grafiği



**Çekil 4.129.** ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının hız-zaman grafiği

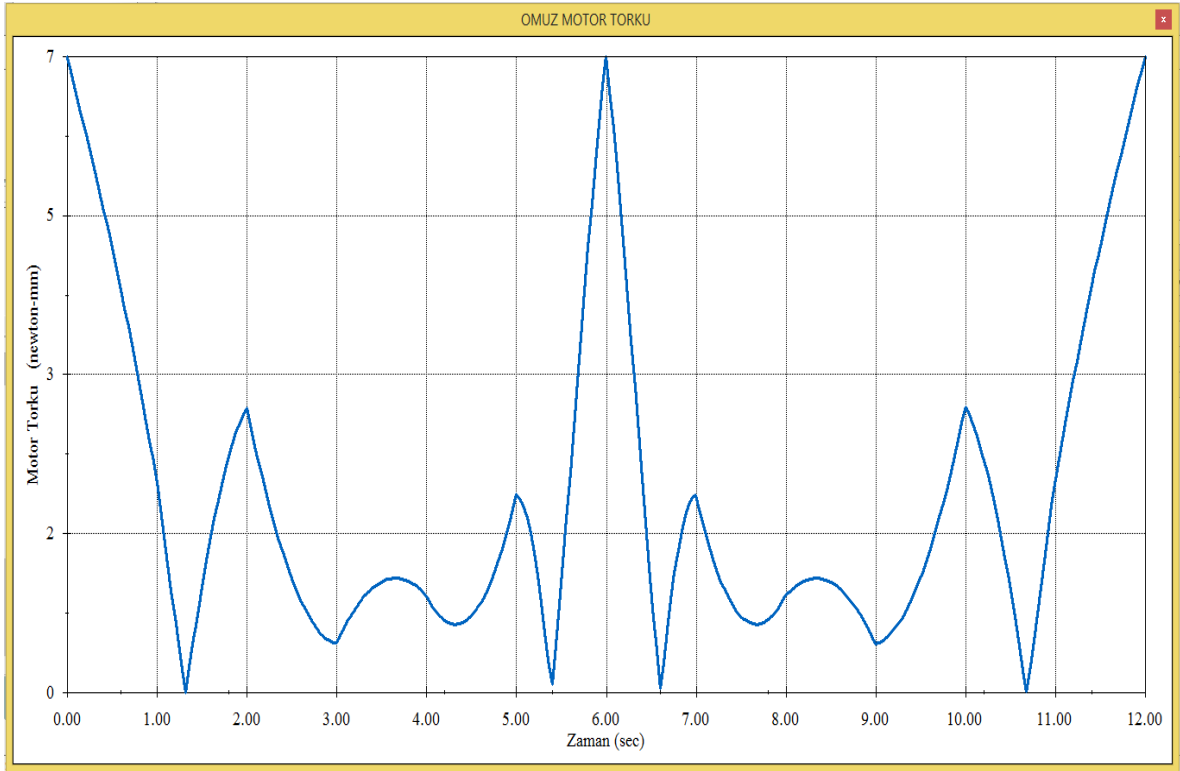


**Çekil 4.130.** ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ivme-zaman grafiği

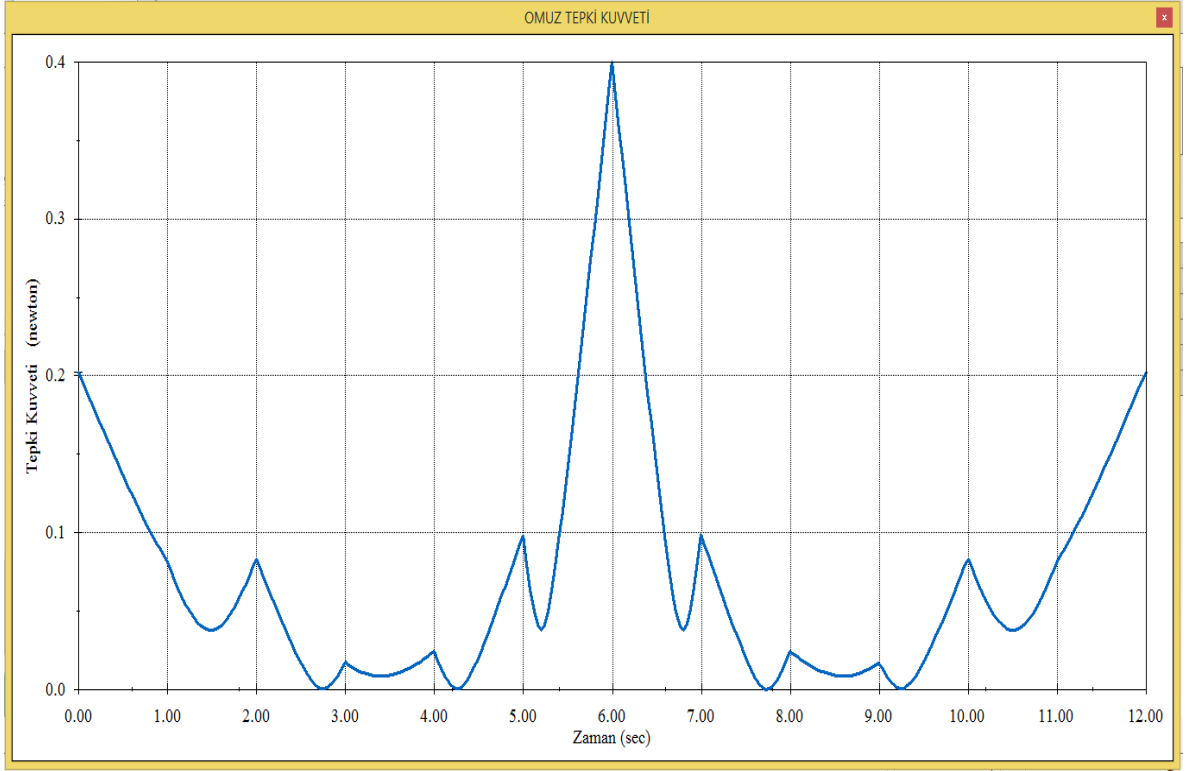


**Çekil 4.131.** ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının sarsılma-zaman grafiği

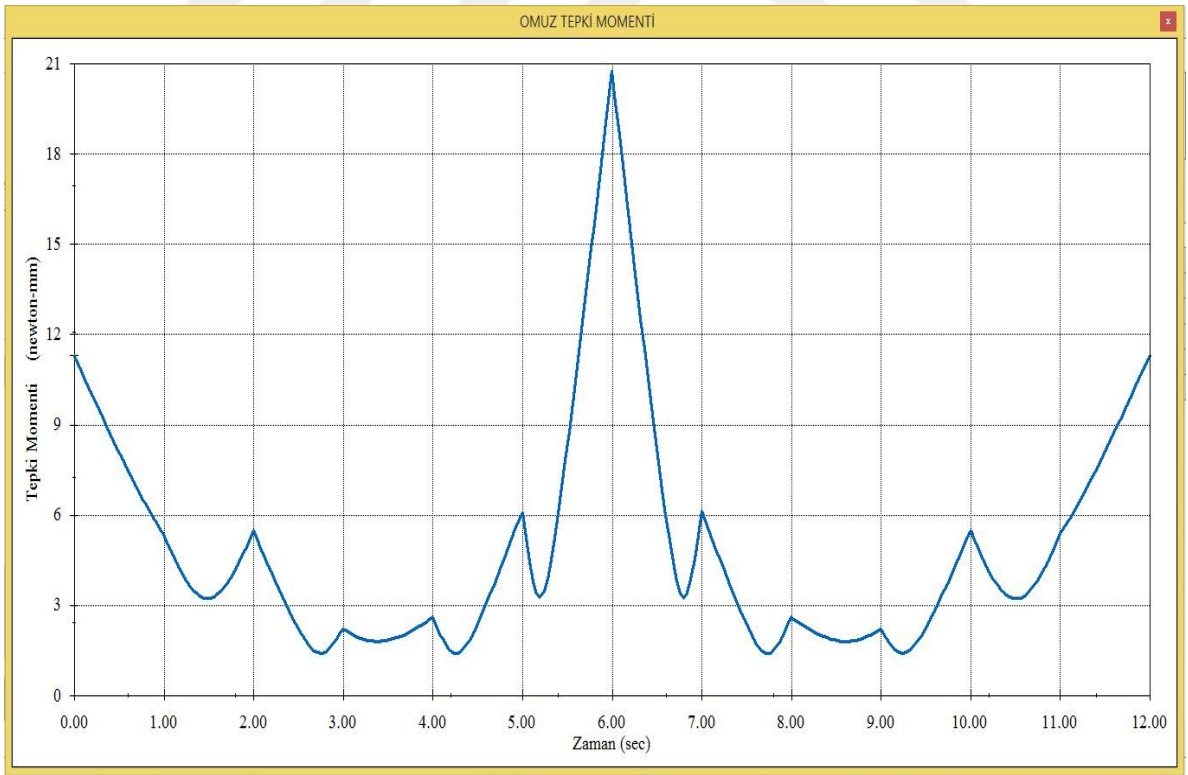
Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağılı tork değişimi Şekil 132’de verilmiş olup 0.sn, 6.sn ve 12.sn’de maksimum degere ulaşmıştır. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağılı kuvvet değişimi Şekil 133’te verilmiş olup 6.sn’de maksimum degere ulaşmıştır. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağılı tepki momenti değişimi Şekil 134’te verilmiş olup 6.sn’de maksimum degere ulaşmıştır. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağılı ötelenme momenti değişimi Şekil 135’te 1sn-2sn ile 10sn-11sn arasında maksimum degere ulaşmıştır.



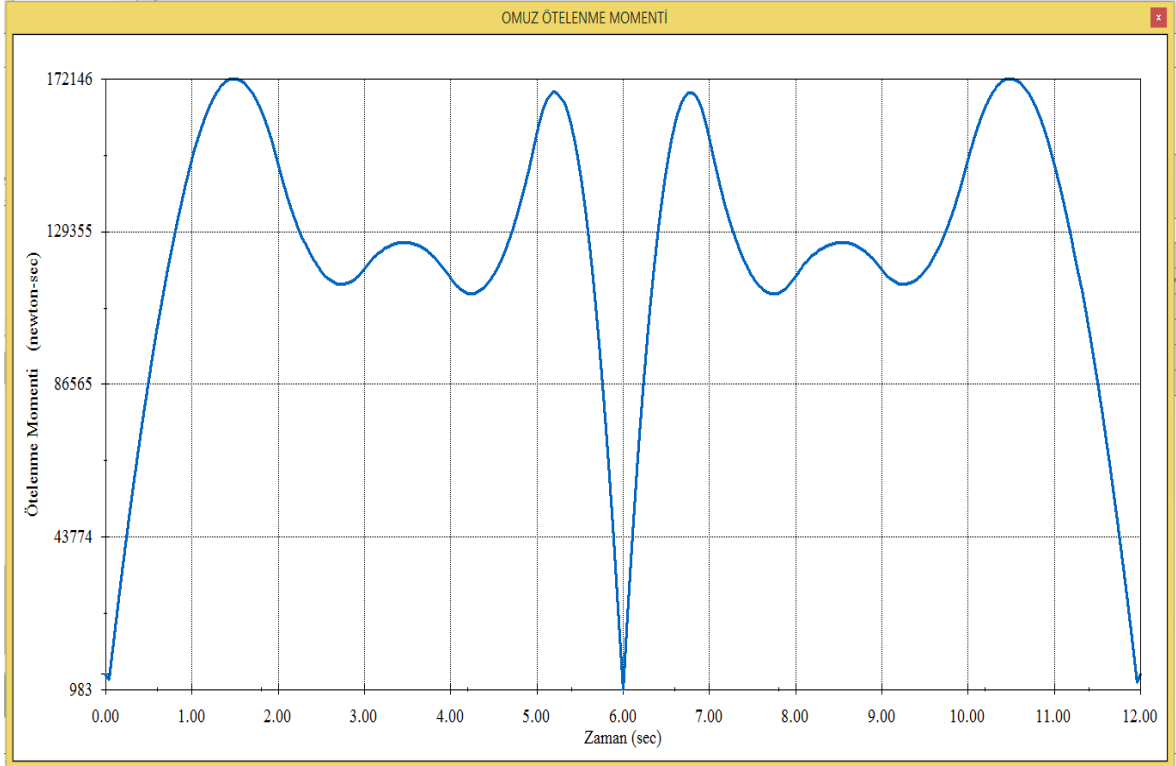
Şekil 4.132. İnav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının tork-zaman grafiği



Çekil 4.133. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının kuvvet-zaman grafiği

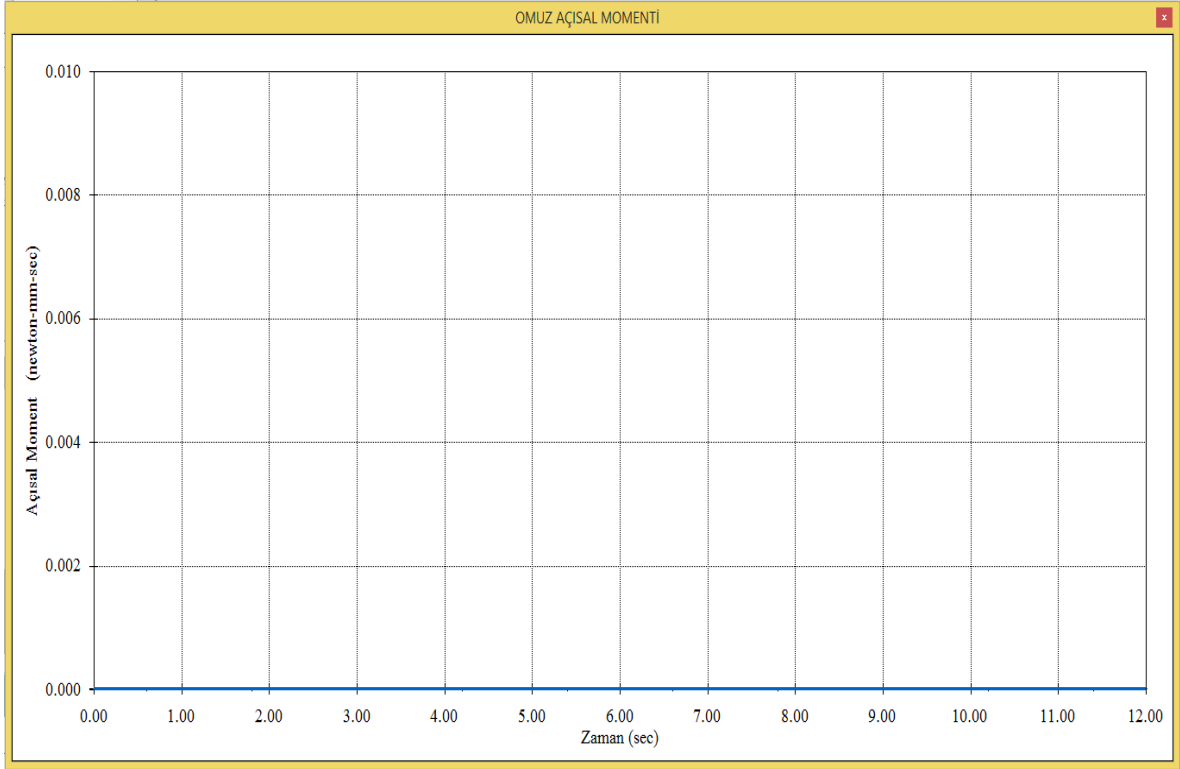


Çekil 4.134. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının tepki momenti-zaman grafiği

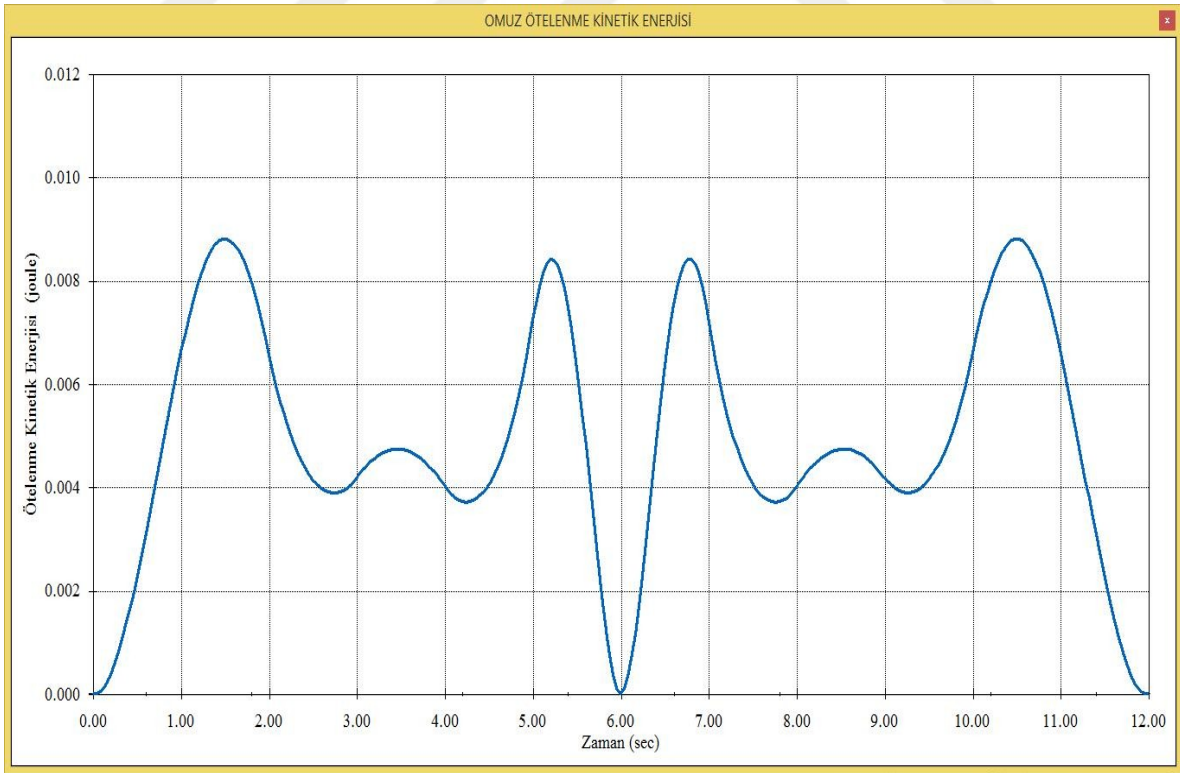


**Çekil 4.135.** ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ötelenme momenti-zaman grafiği

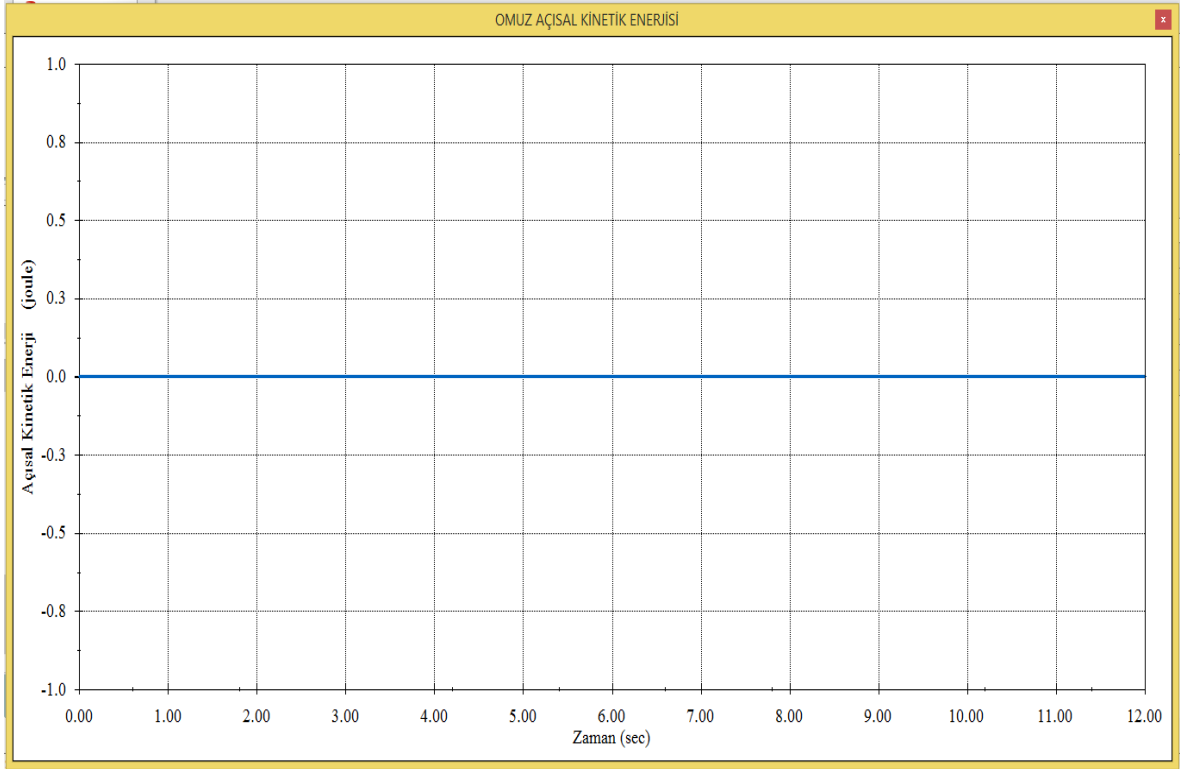
Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı açılal moment ?ekil 4.136'da verilmiş olup hareket boyunca 0 N.mm.sn degerinde kalmıştır. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ötelenme kinetik enerjisi ?ekil 4.137'de verilmiş olup 1sn-2sn ile 10sn-11sn arasında maksimum degere, 6.sn'de minimum degere ulaşmıştır. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı açılal kinetik enerjisi ?ekil 4.138'de verilmiş olup hareket boyunca 0 j degerinde kalmıştır. Omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı toplam kinetik enerji değişimi ?ekil 4.139'da verilmiş olup 1sn-2sn ile 10sn-11sn arasında maksimum degere, 6sn'de minimum degere ulaşmıştır. ?ınav çekme hareketi boyunca omuzun Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı güç değişimi ?ekil 4.140'ta verilmiş olup maksimum degeri yaklaşık olarak +0.0013 watt, minimum ise yaklaşık olarak -0.0013 watt arasında değişmiştir.



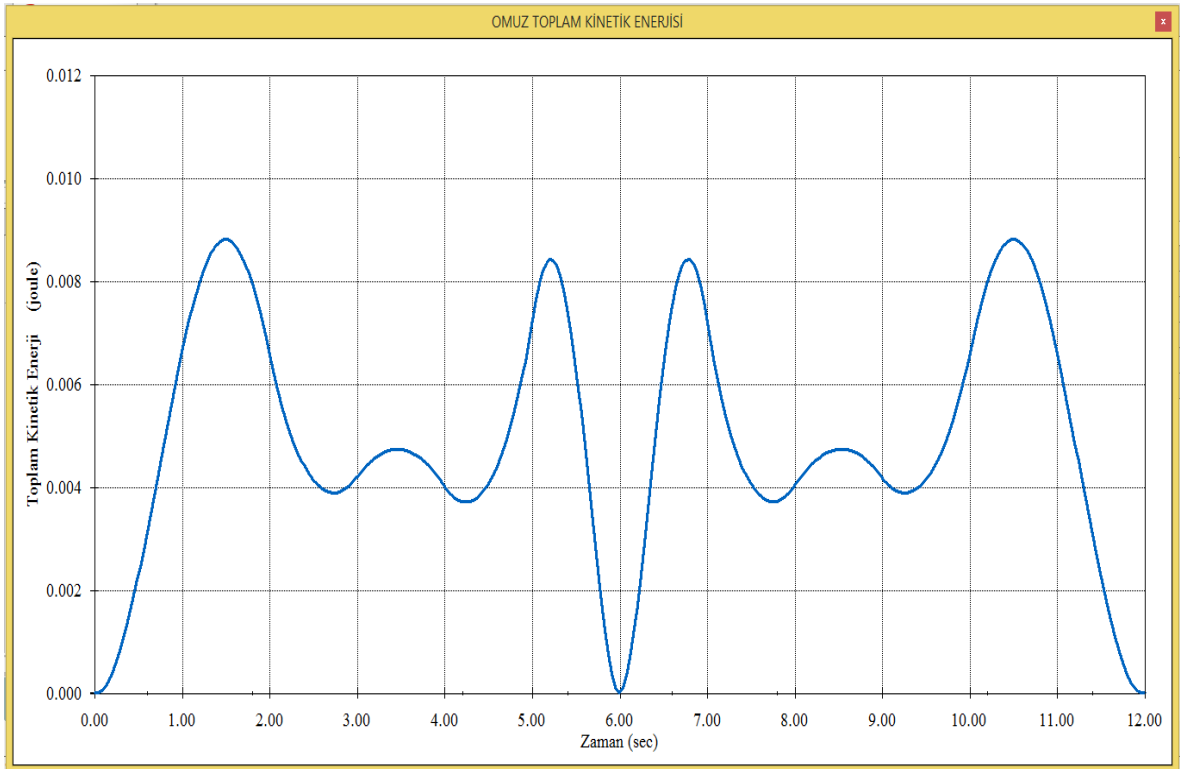
Çekil 4.136. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının açıl moment-zaman grafiği



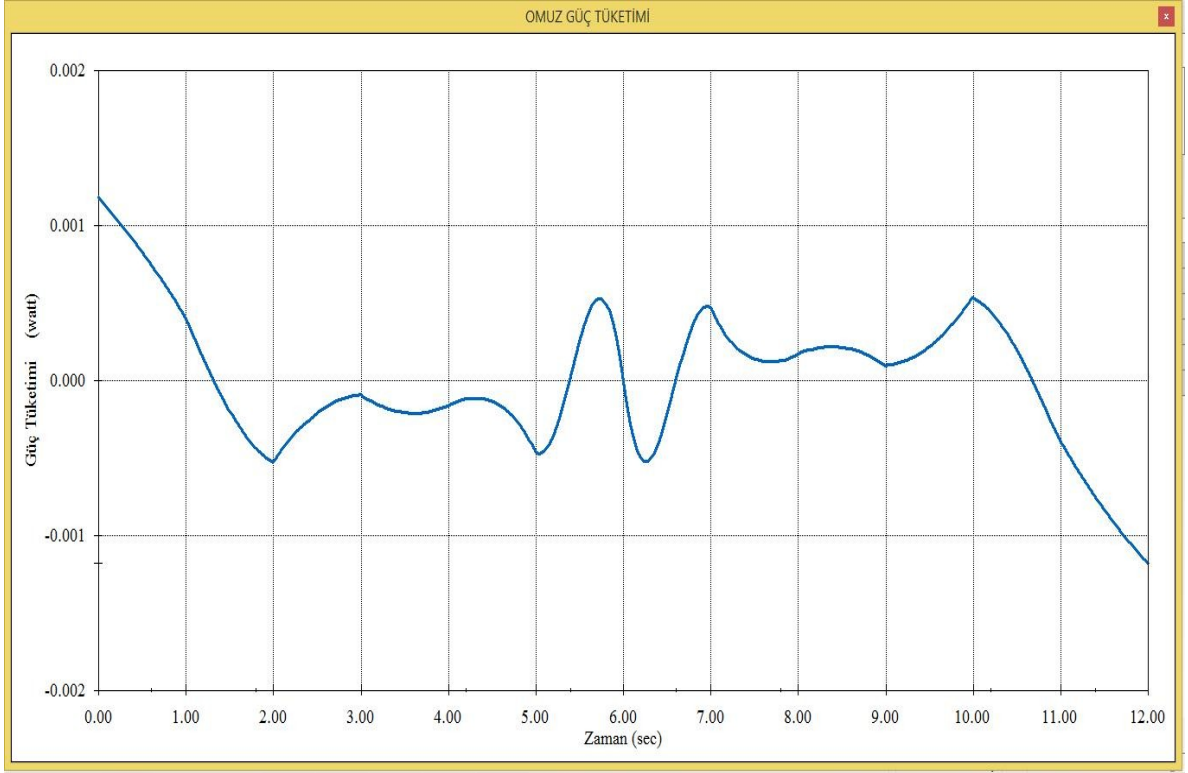
Çekil 4.137. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafiği



Çekil 4.138. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının açısal kinetik enerji-zaman grafiği



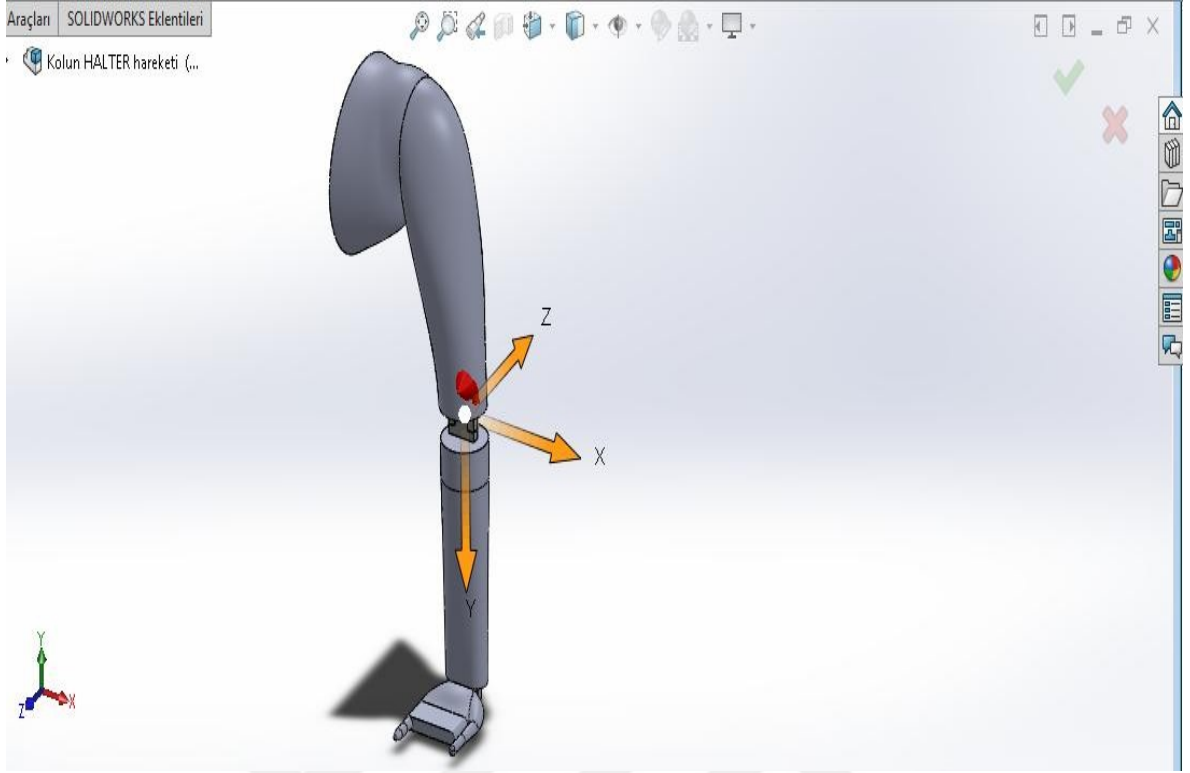
Çekil 4.139. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafiği



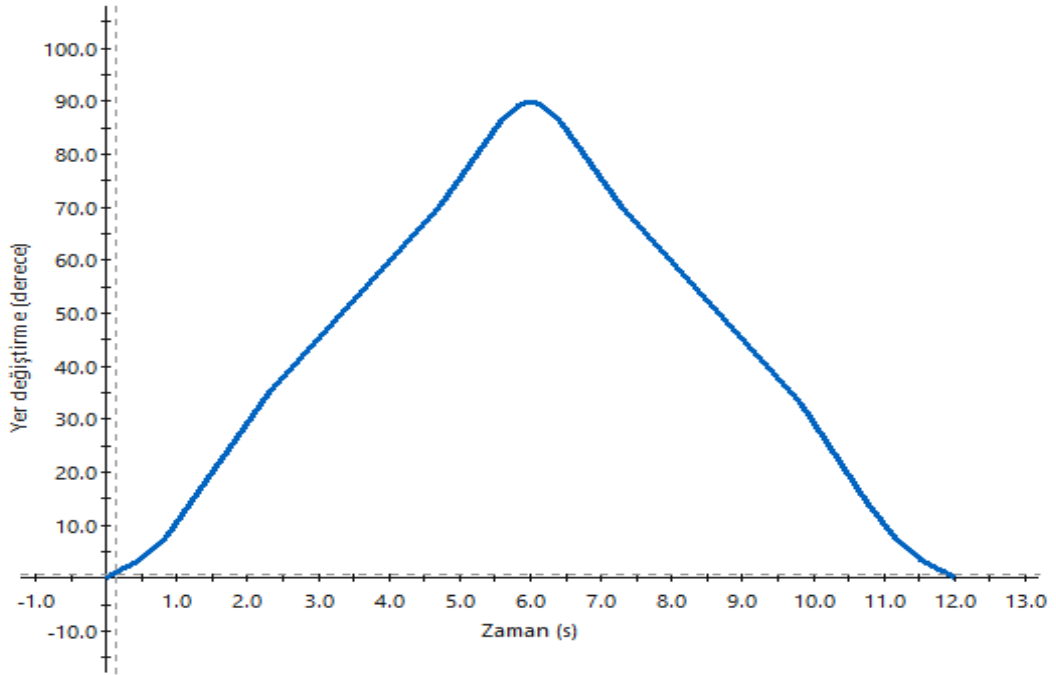
Çekil 4.140. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun omuz kısmının güç-zaman grafigi

#### 4.4.2. Dirsek

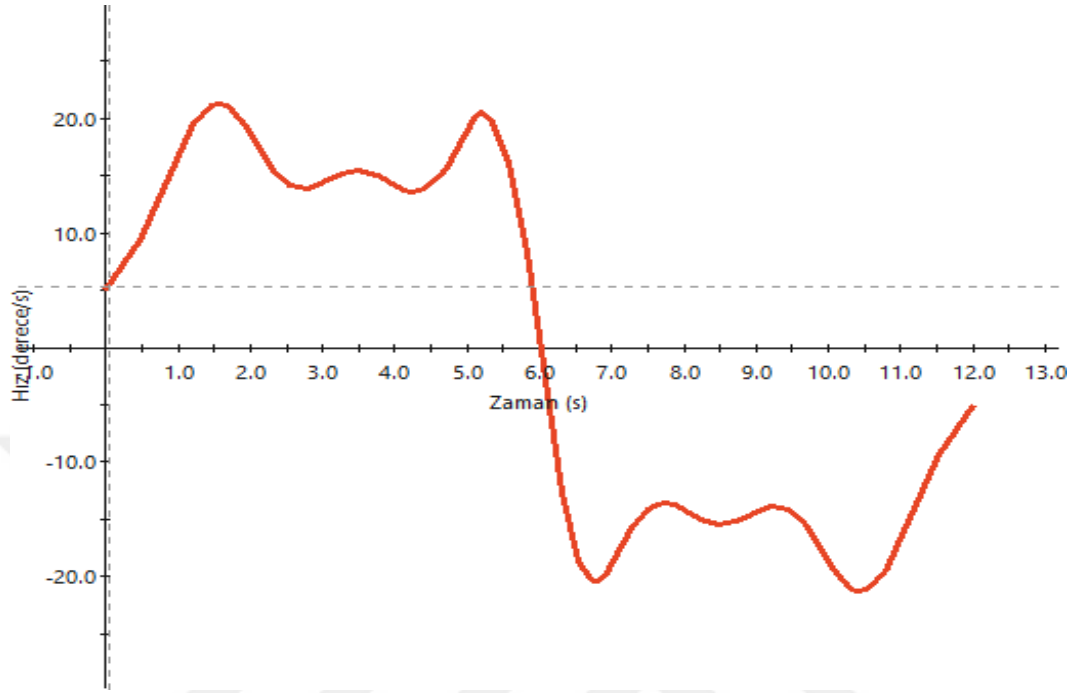
?ekil 4.141’de bir sporcu kolunun dirsek kısmı ve X,Y ve Z eksenleri gösterilmiştir. Sporcunun sınav çekme hareketi yaparken kolunun dirsek kısmının hareket boyunca Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı konum değişimi ?ekil 4.142’de verilmiş olup açısal konum değeri maksimum  $90^\circ$  olarak belirlenmiştir. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı hız değişimi ?ekil 4.143’te verilmiş olup maksimum  $+20$  derece/sn, minimum  $-20$  derece/sn arasında değişmiştir. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ivme değişimi ?ekil 4.144’te verilmiş olup maksimum değeri yaklaşık olarak  $+20$  derece/sn<sup>2</sup>, minimum olarak  $-50$  derece/sn<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı sarsılma değişimi ?ekil 4.145’te verilmiş olup 5sn-6sn arasında minimum degere, 6sn-7sn arasında maksimum degere ulaşmıştır.



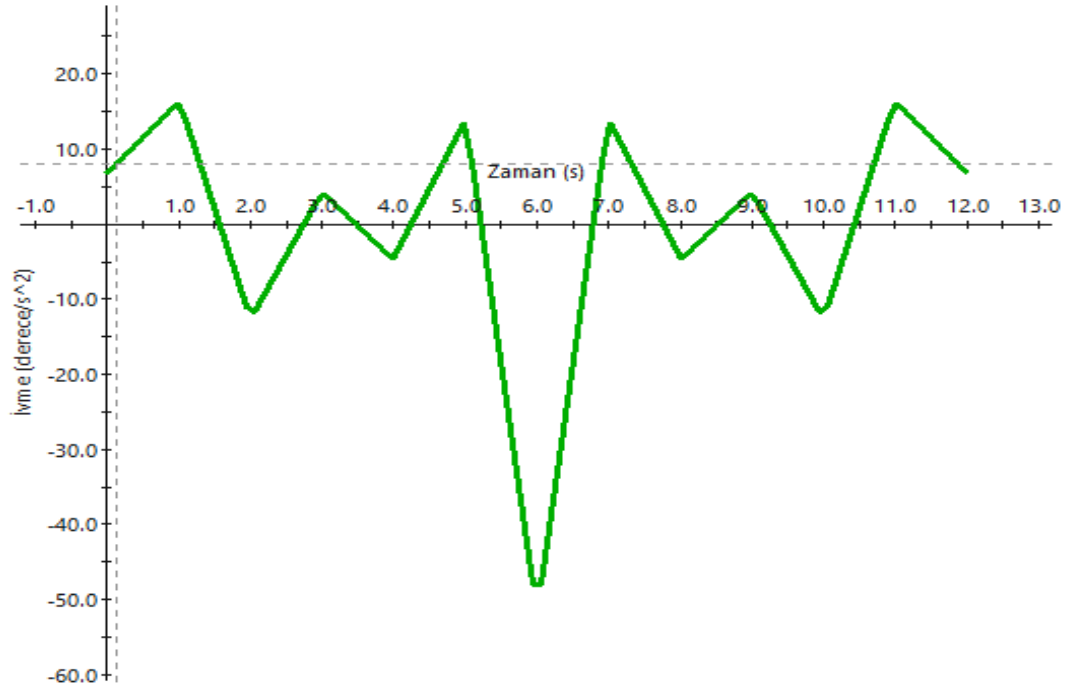
Çekil 4.141. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının Solidworks ile gösterimi



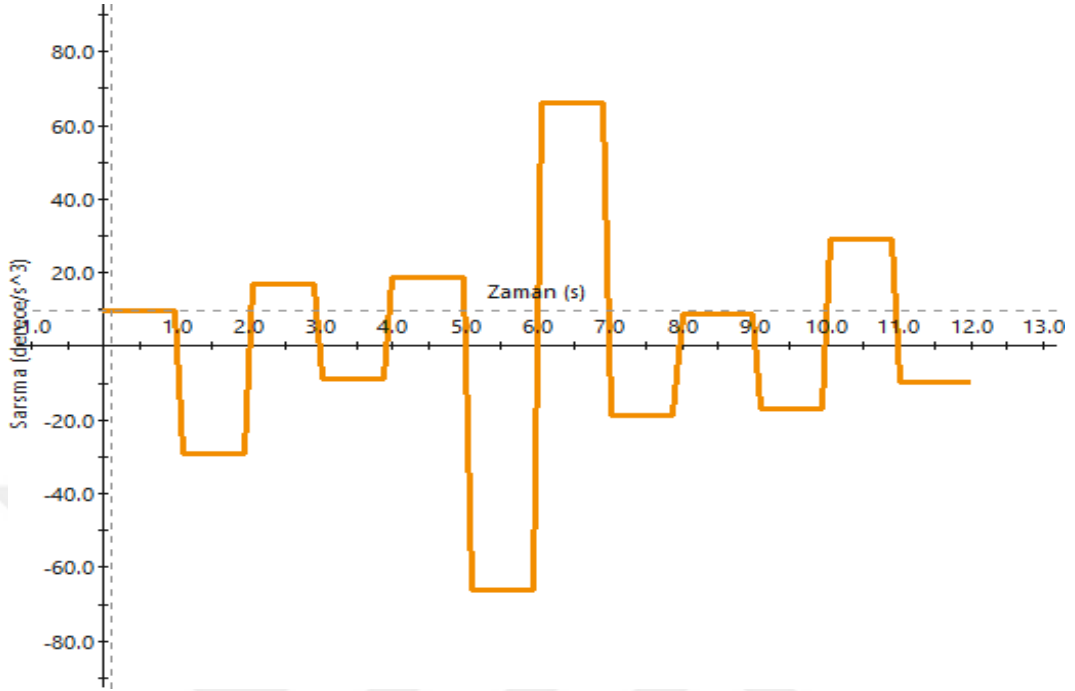
Çekil 4.142. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının konum-zaman grafiği



Çekil 4.143. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının hız-zaman grafiği

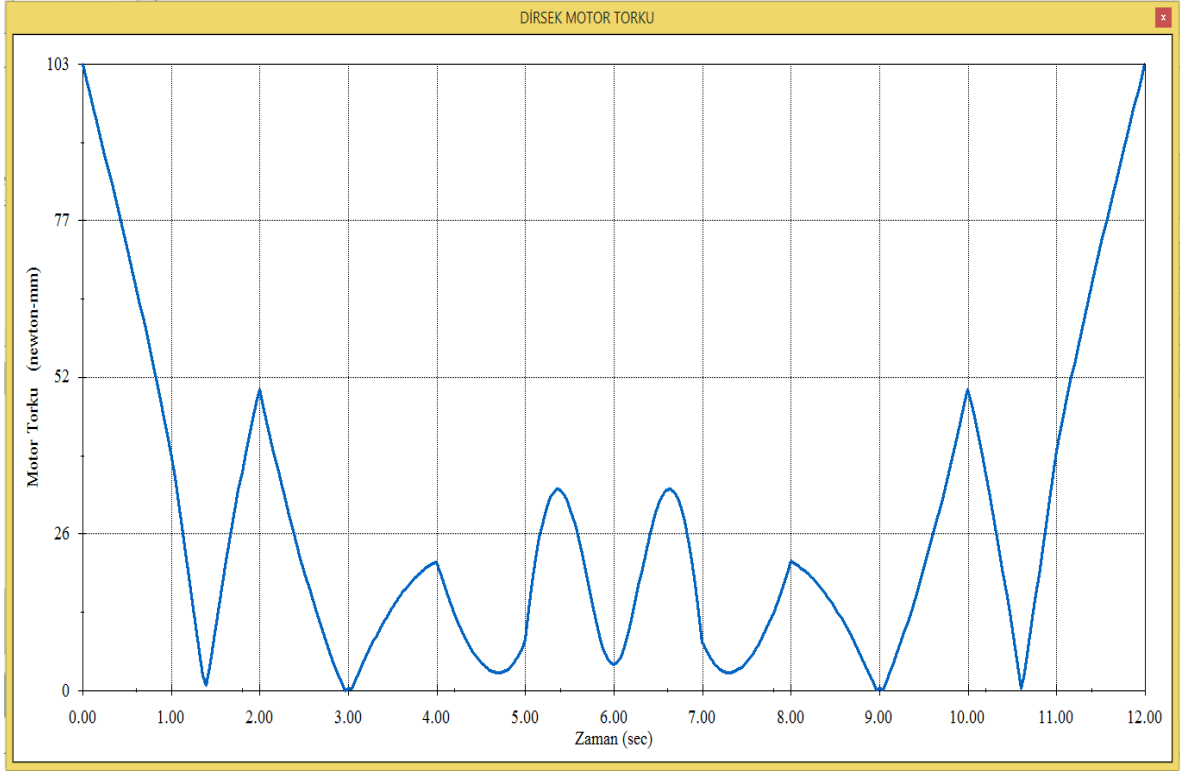


Çekil 4.144. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ivme-zaman grafiği

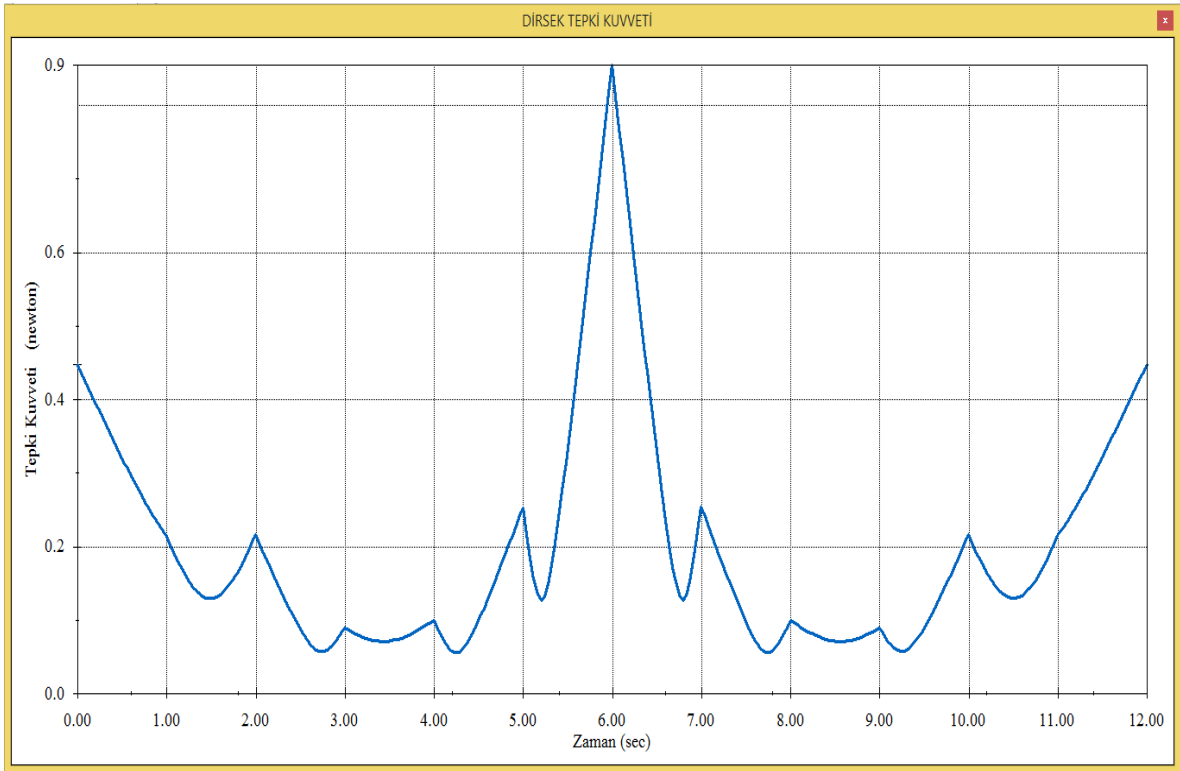


**Çekil 4.145.** ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının sarsılma-zaman grafiği

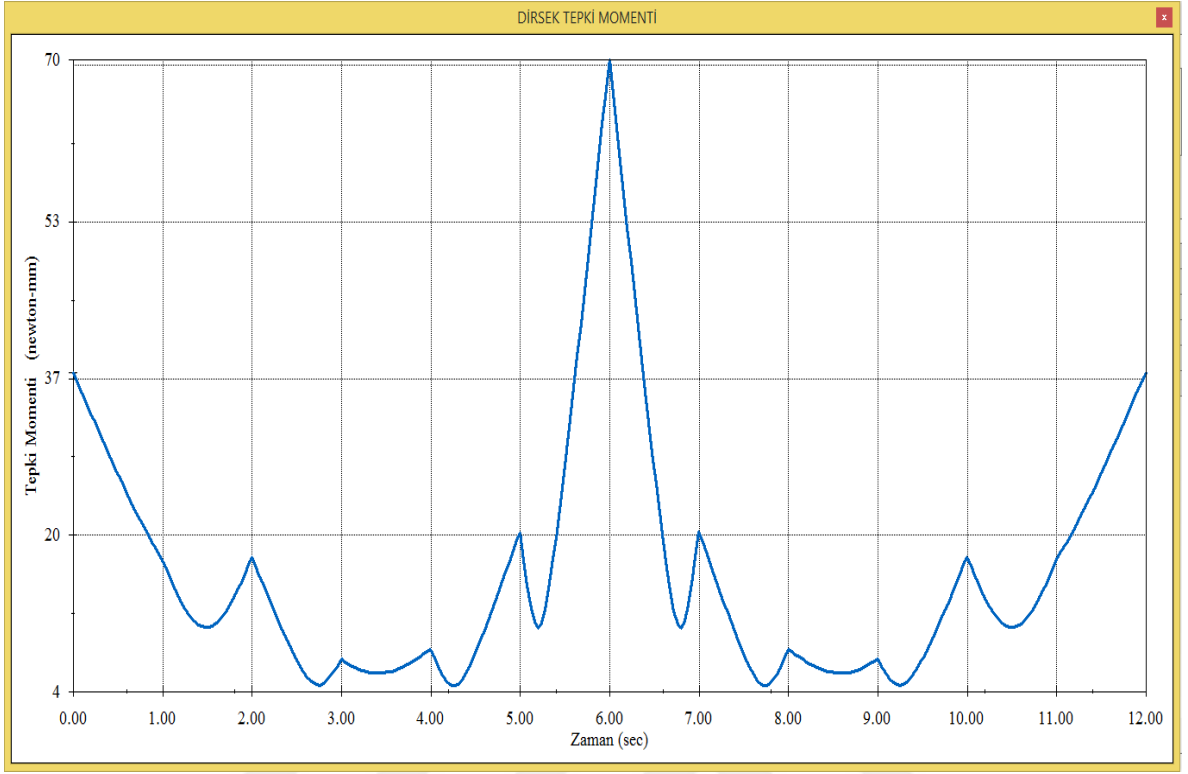
?ınav çekme hareketi yapan sporcunun hareket boyunca kolunun dirsek kısmının Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı tork değişimi ?ekil 4.146'da verilmiş olup 0.sn ile 12.sn'de maksimum degere ulaştığı görülmüştür. Dirseğinin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı kuvvet değişimi ?ekil 4.147'de verilmiş olup 6.sn'de maksimum degere ulaşmıştır. Dirseğinin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı tepki momentinin değişimi ?ekil 4.148'de verilmiş olup 6.sn'de maksimum degere ulaşmıştır. Dirseğinin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ötelenme moment değişimi ?ekil 4.149'da verilmiş olup 1sn-2sn ile 10sn-11sn arasında maksimum degere, 6.sn'de minimum degere ulaştığı görülmüştür.



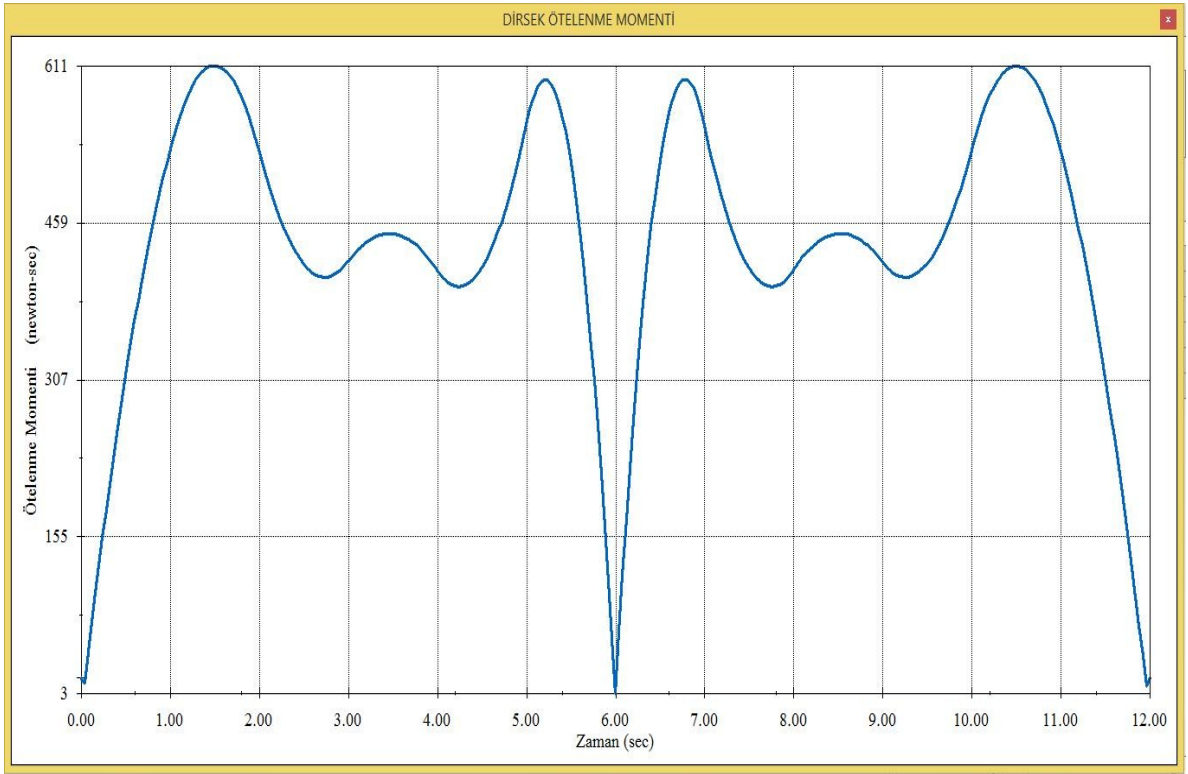
Çekil 4.146. ?nav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının tork-zaman grafiği



Çekil 4.147. ?nav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının kuvvet-zaman grafiği

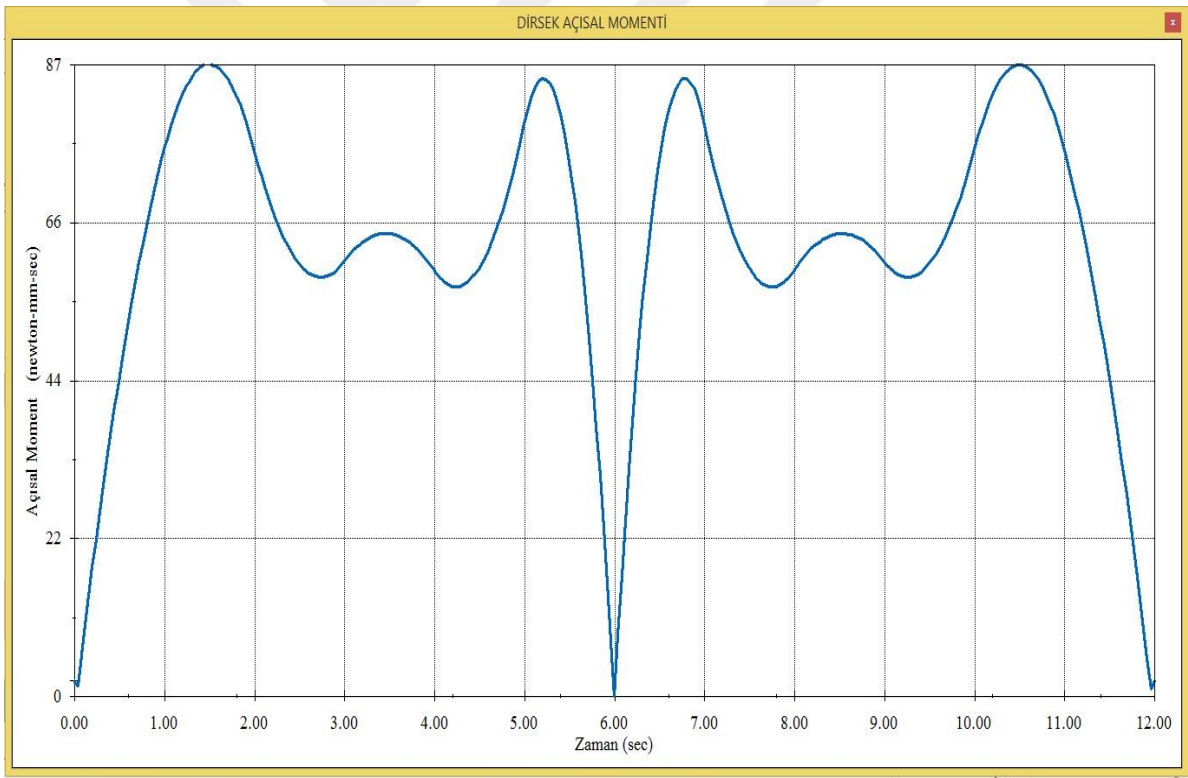


Çekil 4.148. ?nav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının tepki momenti-zaman grafiği

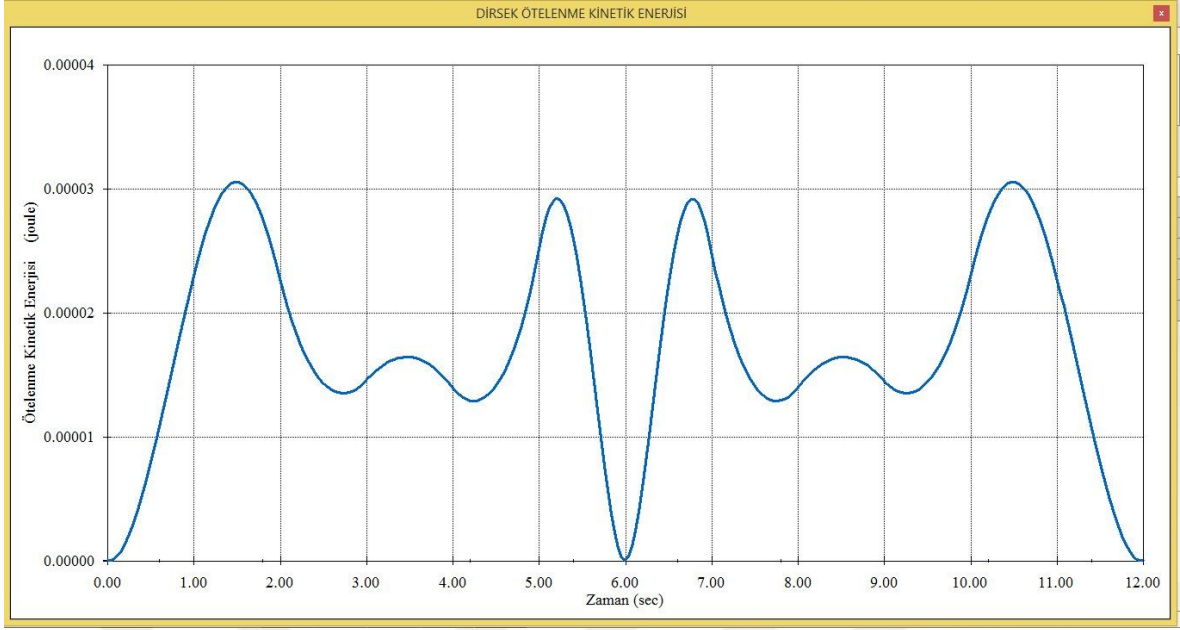


Çekil 4.149. ?nav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ötelenme momenti-zaman grafiği

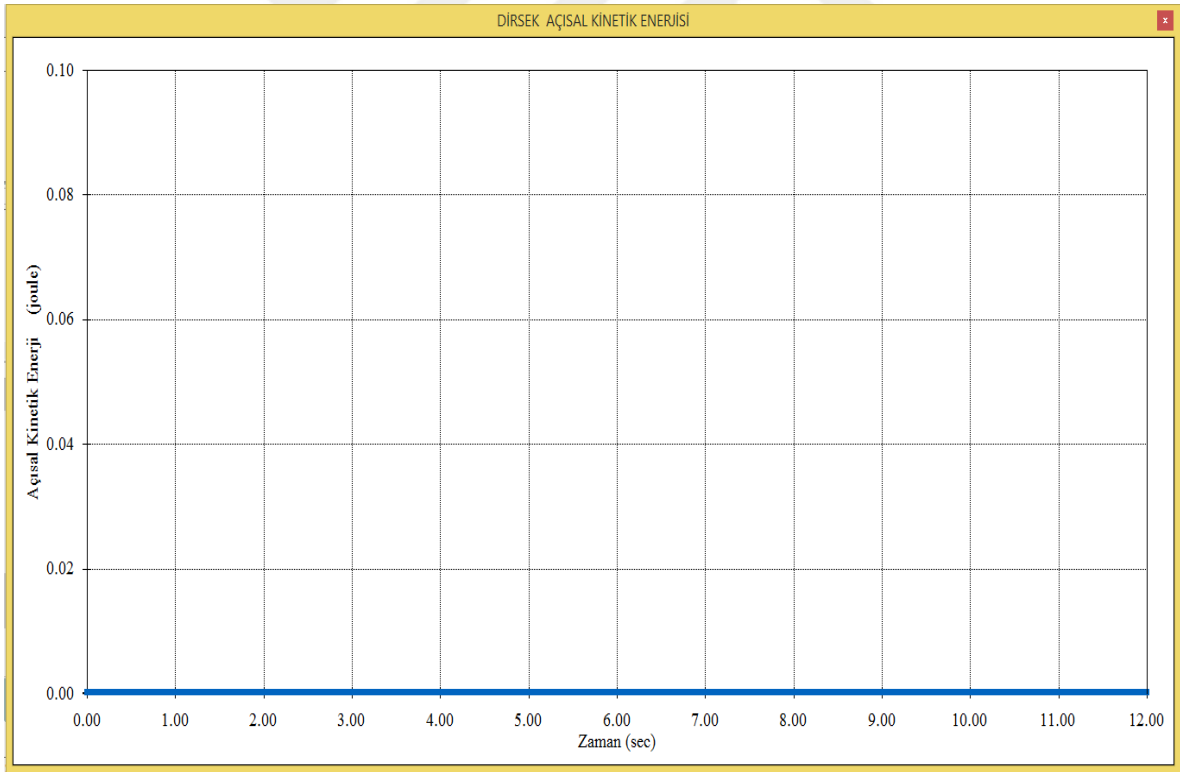
Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı açısall moment değişimi 7ekil 4.150’de verilmiş olup 1sn-2sn ile 10sn-11sn arasında maksimum degere, 6.sn’de minimum degere ulaştığı g6r6lm6řt6r. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki 6telenme kinetik enerjisinin zamana bağlı değişimi 7ekil 4.151’de verilmiş olup 1sn-2sn ile 10sn-11sn arasında maksimum degere, 6.sn’de minimum degere ulaşmıştır. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki açısal kinetik enerjisinin zamana bağlı değişimi 7ekil 4.152’de verilmiş olup hareket boyunca 0joule olarak devam etmiştir. Dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı toplam kinetik enerji değişimi 7ekil 4.153’te verilmiş olup 1sn-2sn ile 10sn-11sn arasında maksimum degere, 6.sn’de minimum degere ulaşmıştır. Hareket boyunca dirseğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı g6 değişimi 7ekil 4.154’te verilmiş olup 2.sn’de maksimum degere, 10.sn’de minimum degere ulaşmıştır.



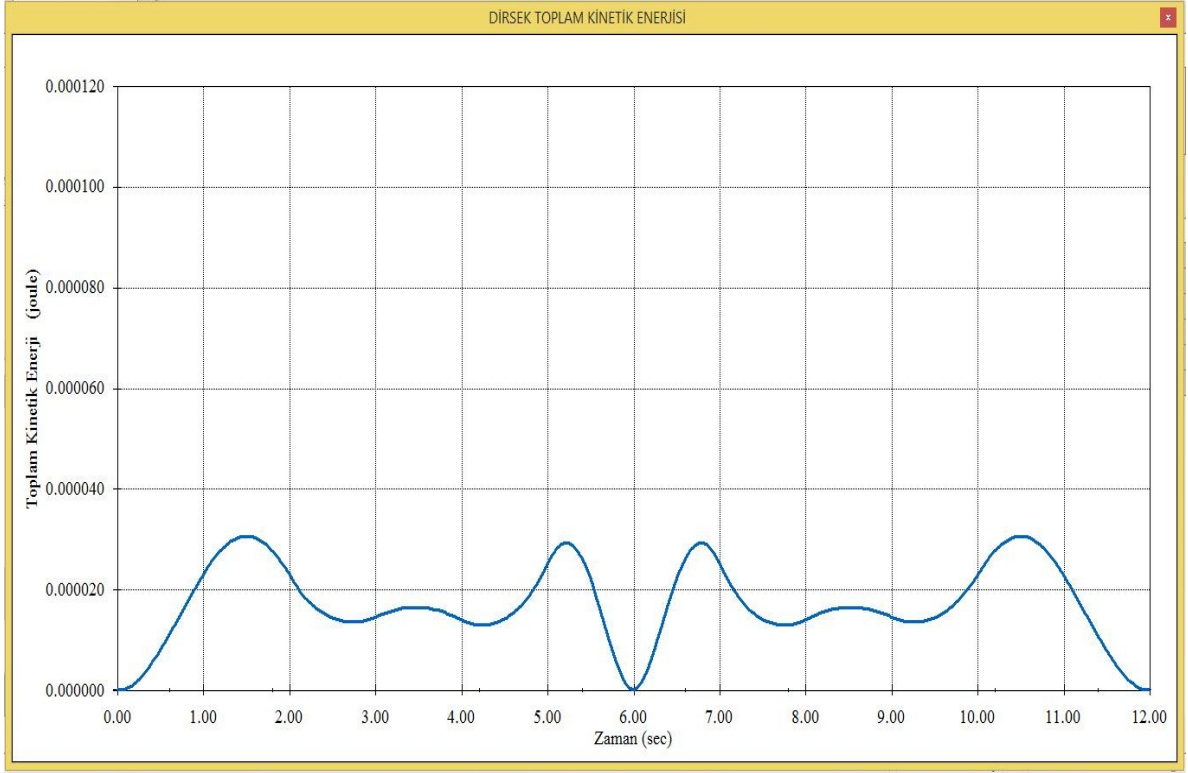
**Şekil 4.150.** 7nav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının açısal moment-zaman grafiği



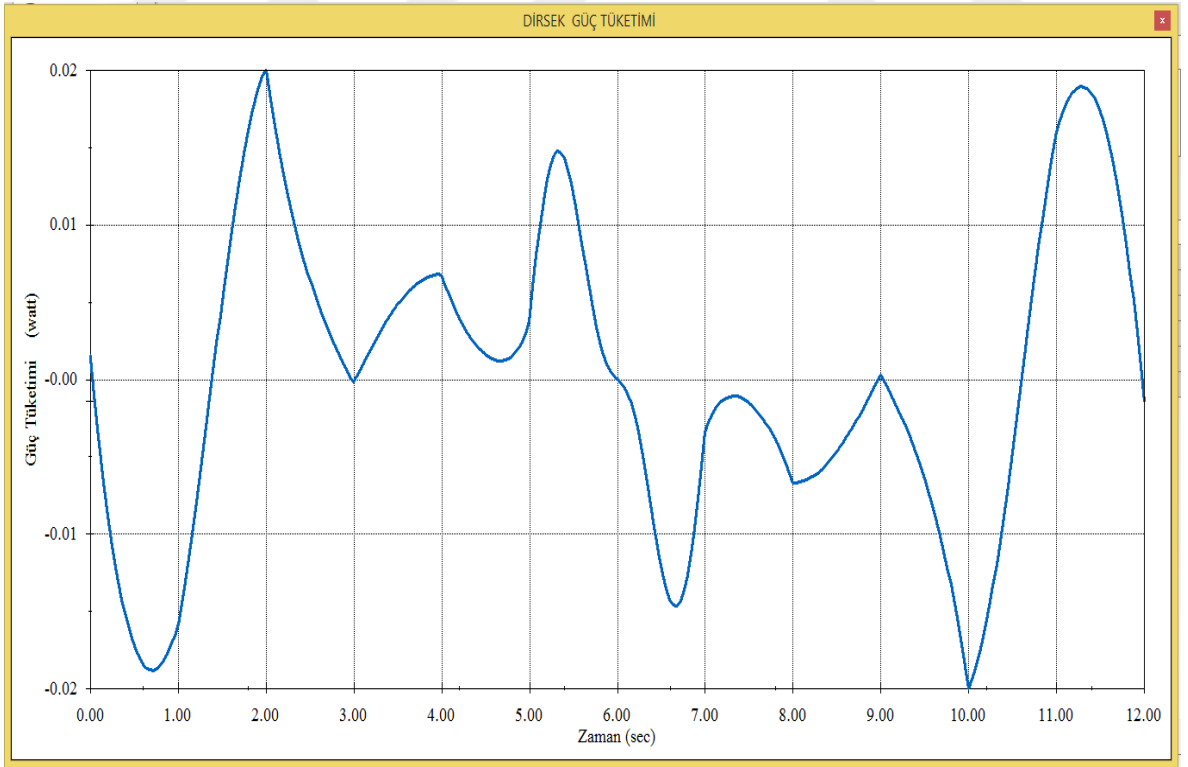
Çekil 4.151. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafiği



Çekil 4.152. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının açısai kinetik enerji-zaman grafiği



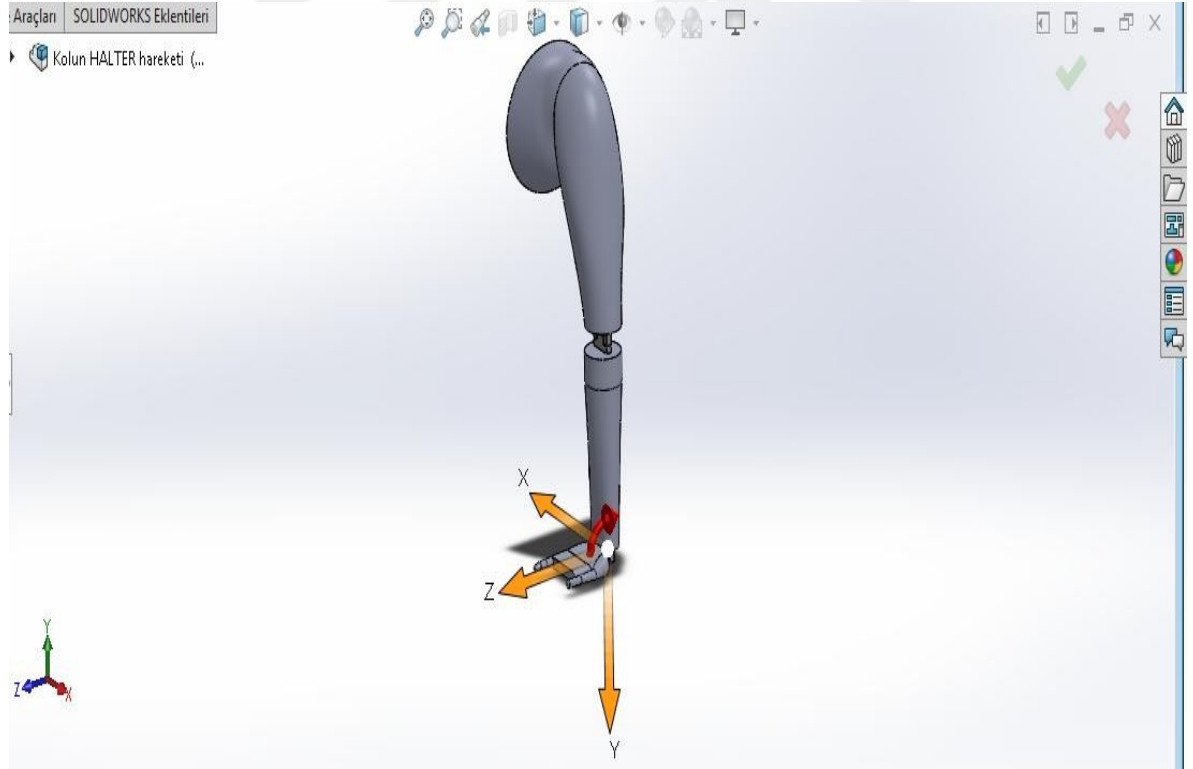
Çekil 4.153. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafiği



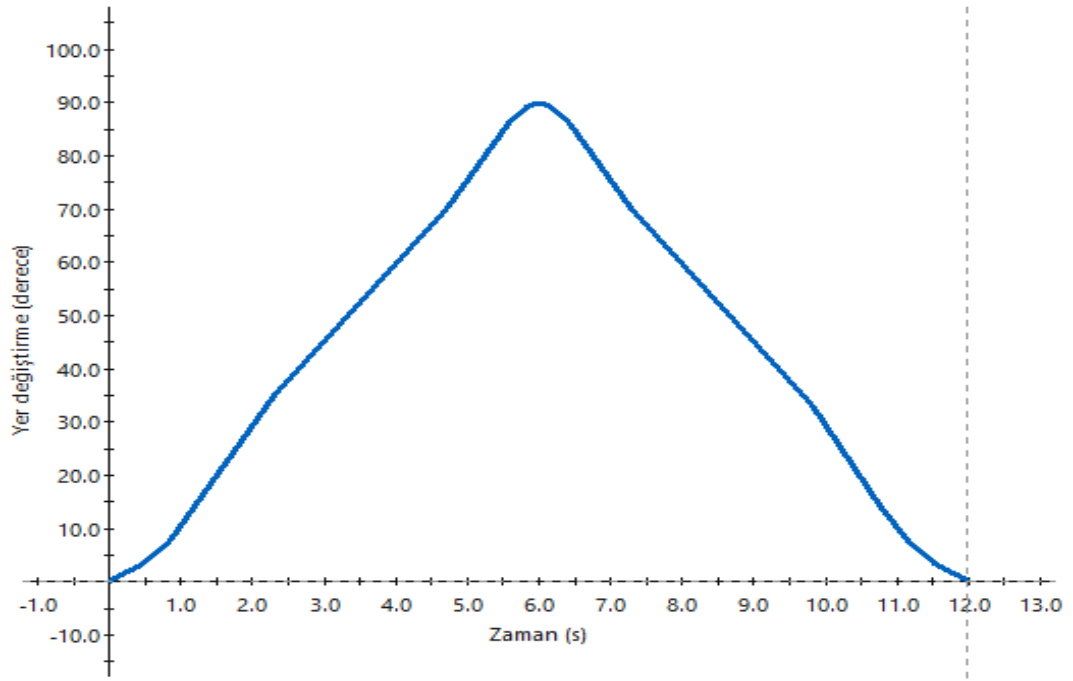
Çekil 4.154. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun dirsek kısmının güç-zaman grafiği

#### 4.4.3. Bilek

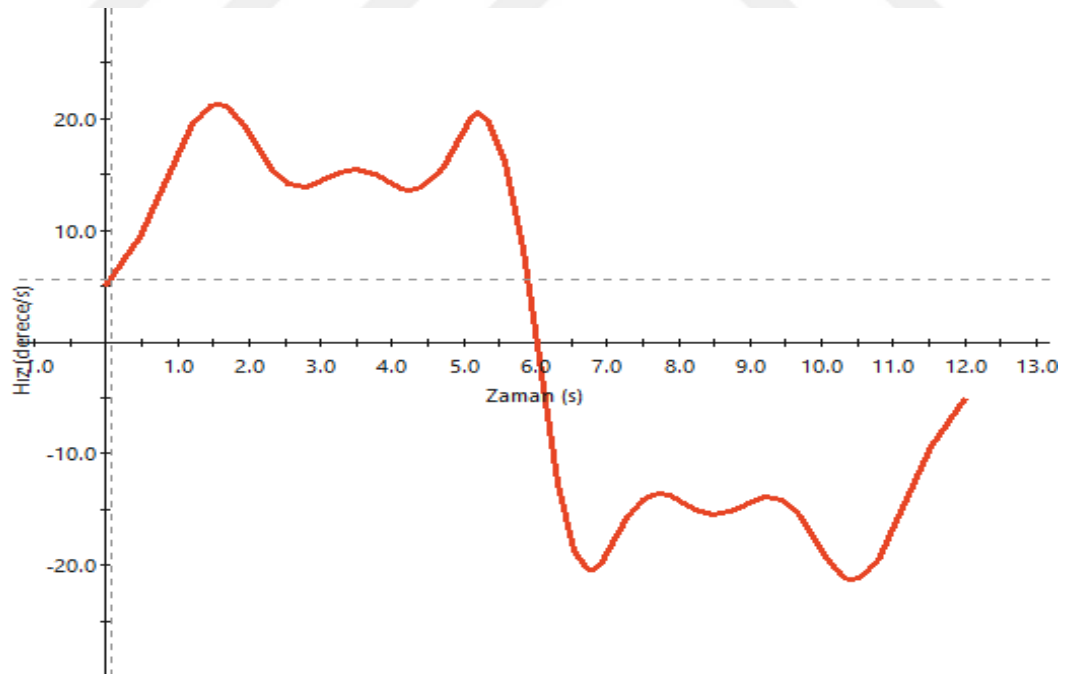
Bir sporcunun şınav çekme hareketi yaparken kolunun bilek kısmı X,Y ve Z eksenleriyle birlikte Şekil 4.155'te gösterilmiştir. Bu sporcunun şınav çekme hareketi yaparken hareket boyunca sporcu bileğinin Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı konum değişimi Şekil 4.156'da verilmiş olup açısal konum değeri maksimum  $90^\circ$  olarak belirlenmiştir. Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı hız değişimi Şekil 4.157'de verilmiş olup maksimum değeri yaklaşık olarak  $+20$  derece/sn iken minimum değeri yaklaşık olarak  $-20$  derece/sn olduğu görülmüştür. Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ivme değişimi Şekil 4.158'de verilmiş olup maksimum değeri  $+20$  derece/sn<sup>2</sup> iken minimum değeri yaklaşık olarak  $-50$  derece/sn<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı sarsılma değişimi Şekil 4.159'de verilmiş olup 5sn-6sn arasında minimum degere, 6sn-7sn arasında ise maksimum degere ulaşmıştır.



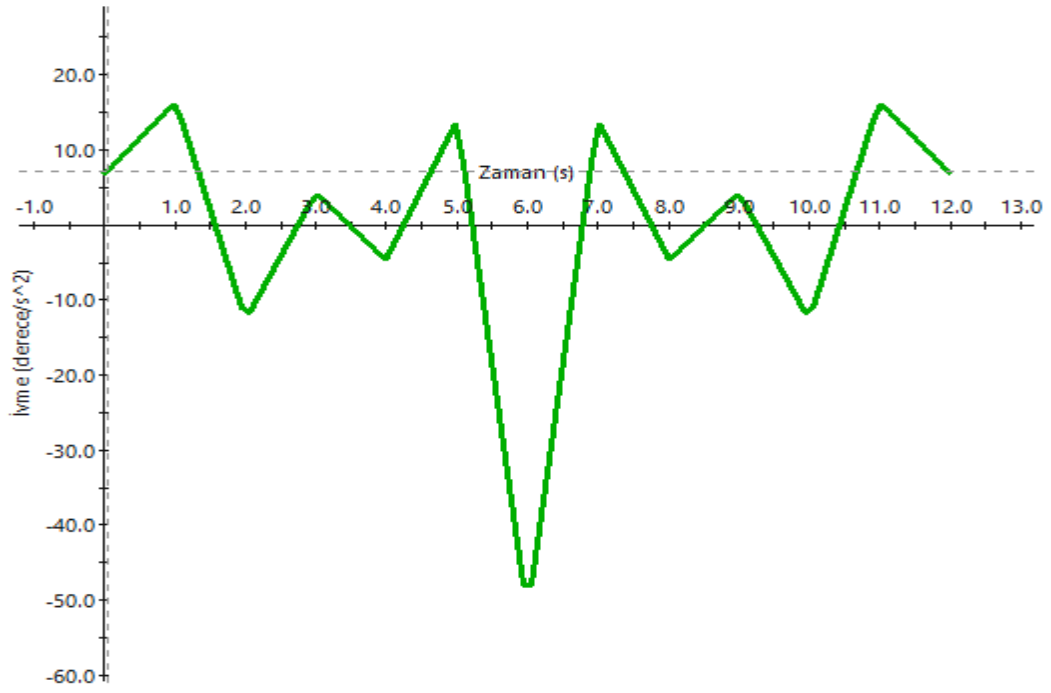
Şekil 4.155. Şınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının Solidworks ile gösterimi



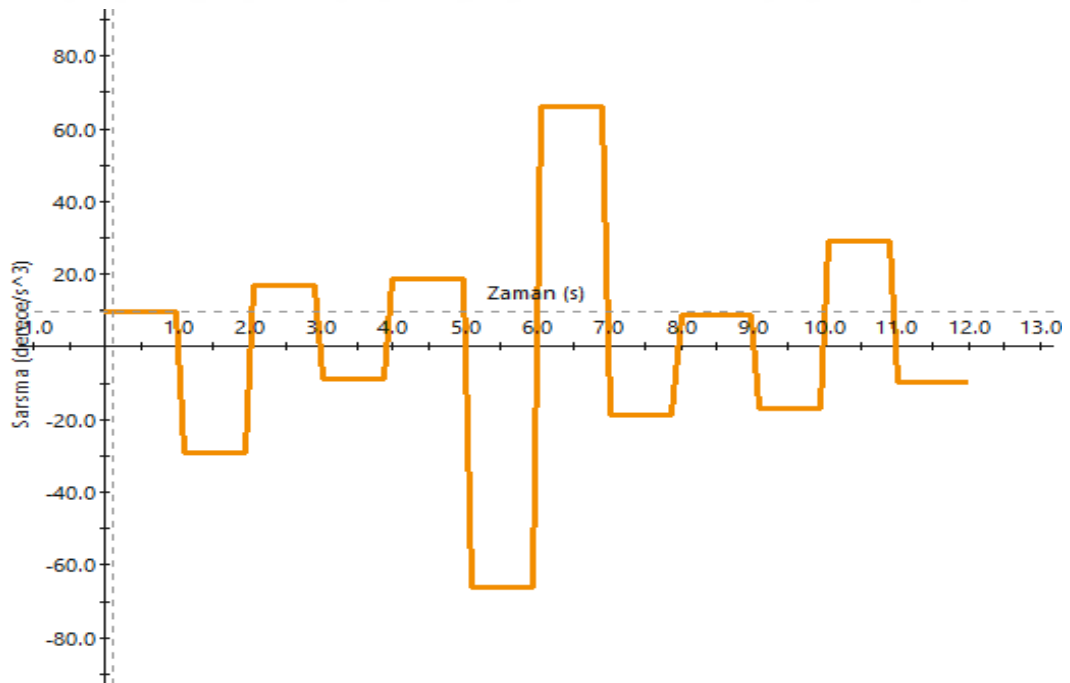
**Çekil 4.156.** ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının konum-zaman grafiği



**Çekil 4.157.** ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının hız-zaman grafiği

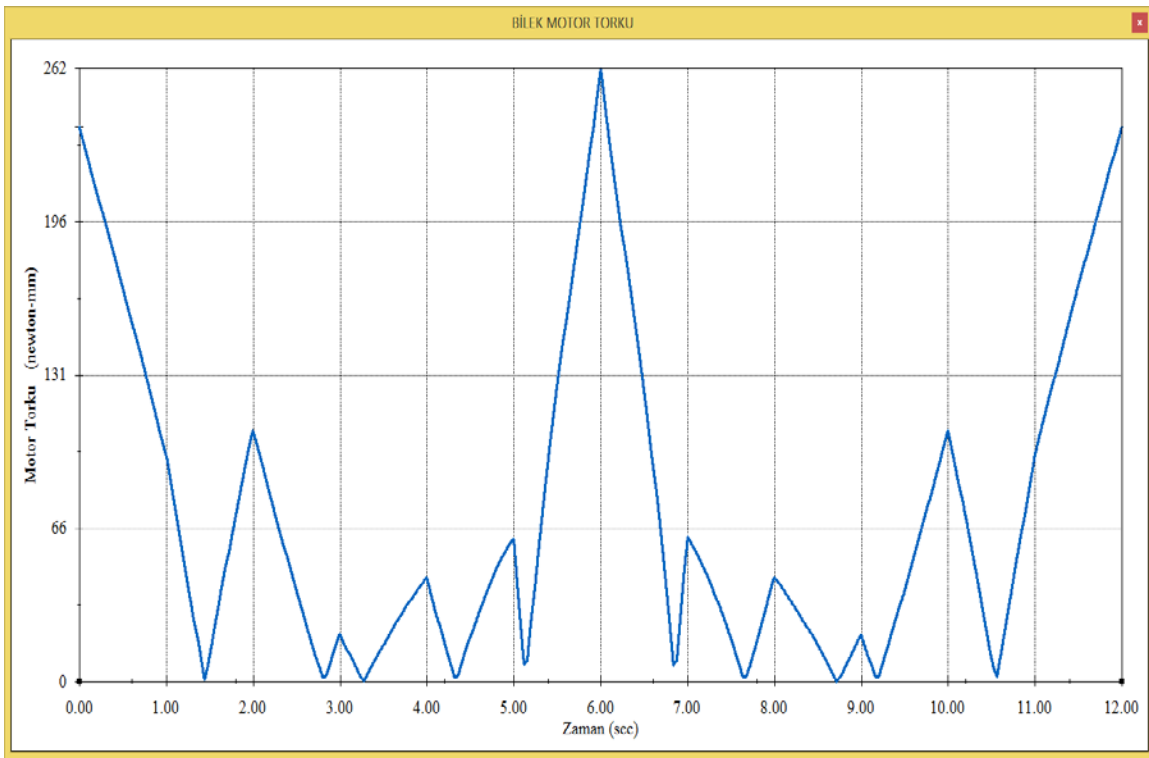


Çekil 4.158. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ivme-zaman grafiği

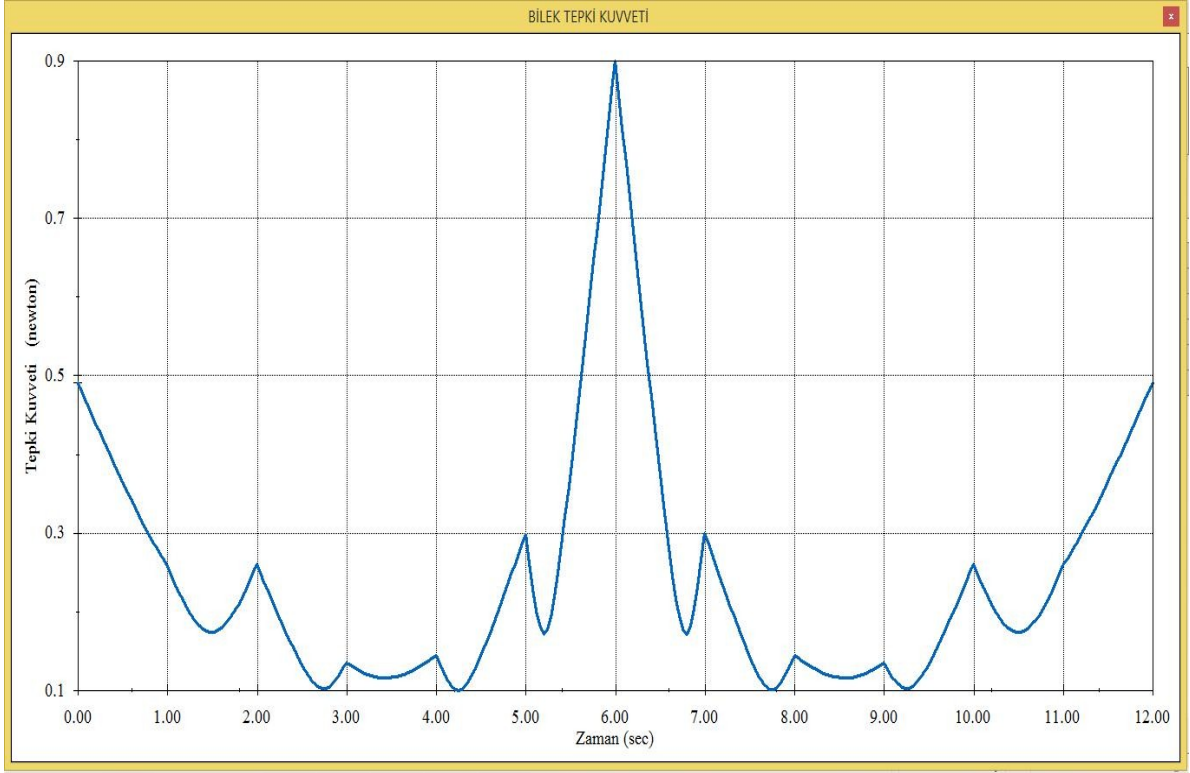


Çekil 4.159. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının sarsılma-zaman grafiği

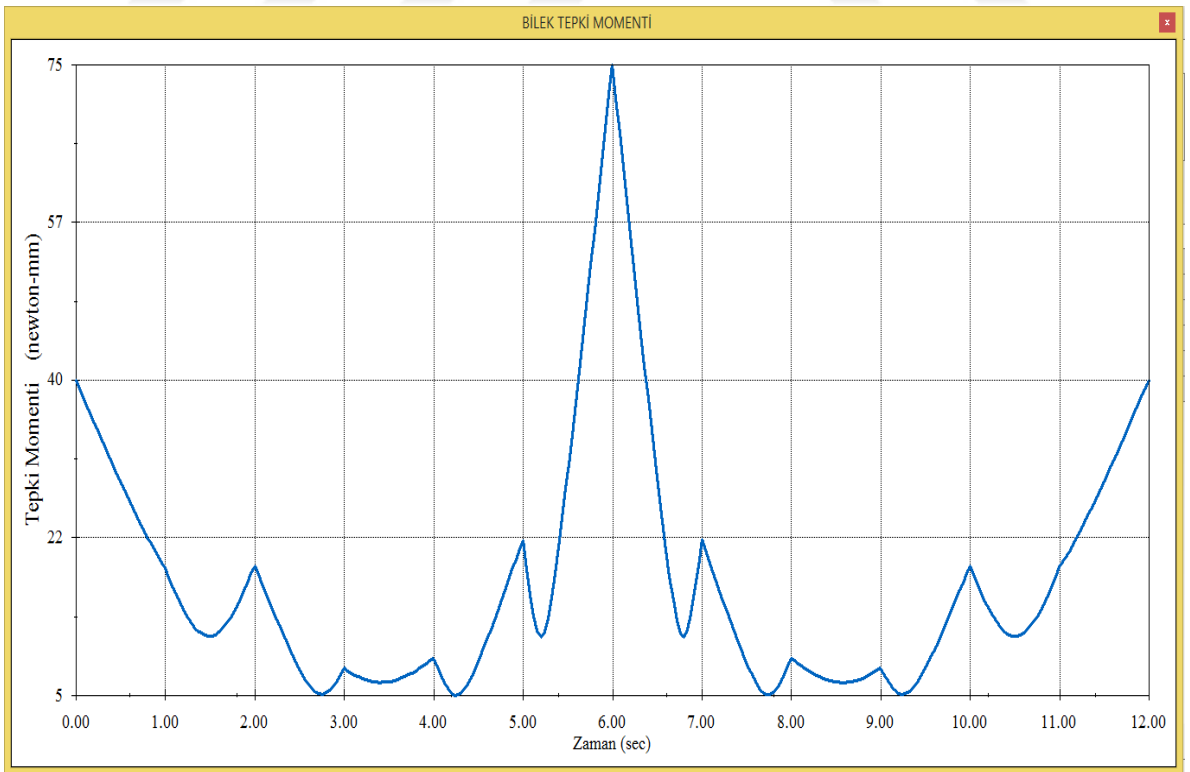
İnav çekme hareketi boyunca bileğin Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı tork değişimi Şekil 160'ta verilmiş olup 6.sn'de maksimum degere ulaşmıştır. Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı kuvvet değişimi Şekil 161'de verilmiş olup 6.sn'de maksimum degere ulaşmıştır. Bileğin zamana bağlı tepki momenti değişimi Şekil 162'de verilmiş olup 6.sn'de maksimum degere ulaşmıştır. Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı ötelenme momenti değişimi Şekil 163'te verilmiş olup hareket boyunca 0 N.sn olarak aynı degerde kaldığı görülmüştür.



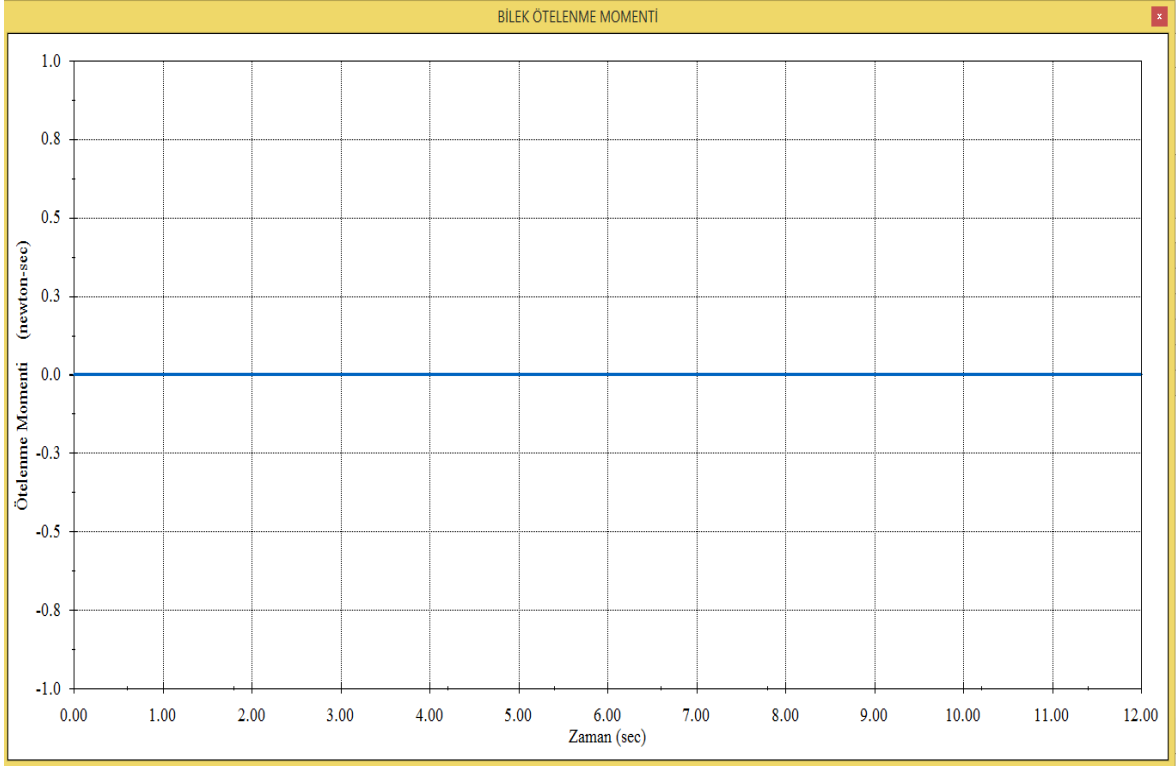
Şekil 4.160. İnav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının tork-zaman grafiği



**Çekil 4.161.** ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının kuvvet-zaman grafiği

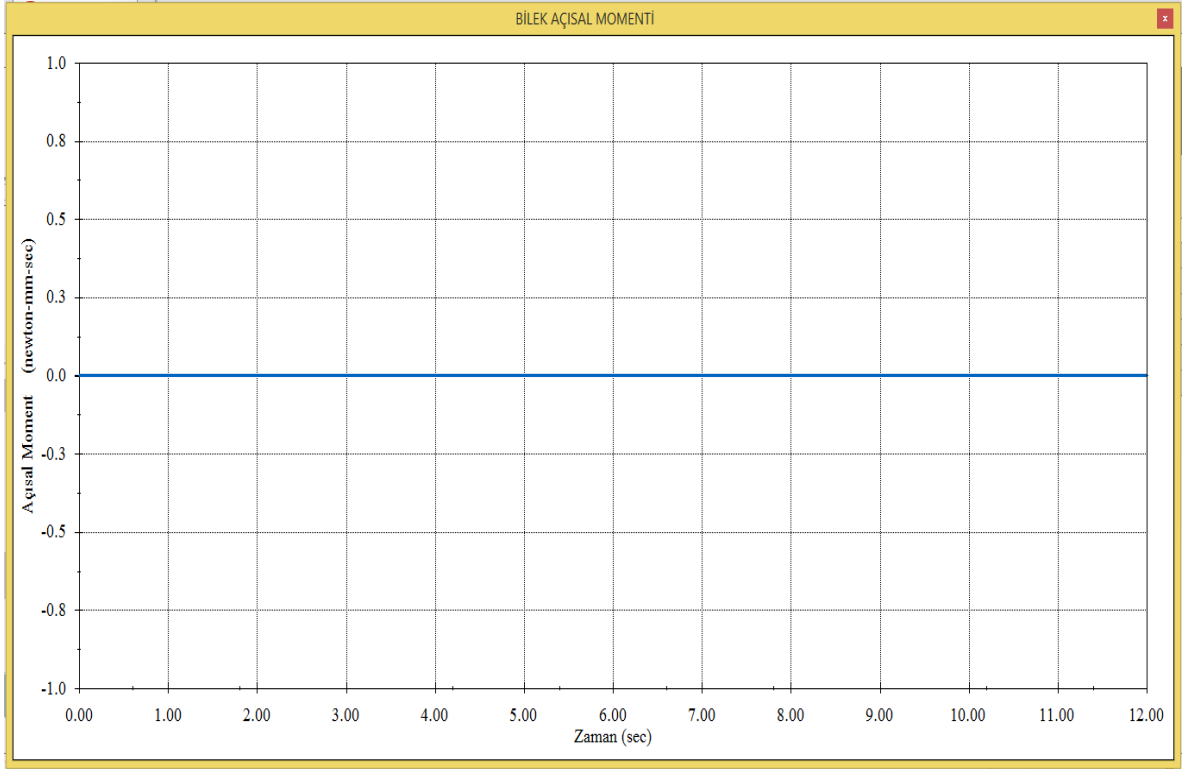


**Çekil 4.162.** ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının tepki momenti-zaman grafiği

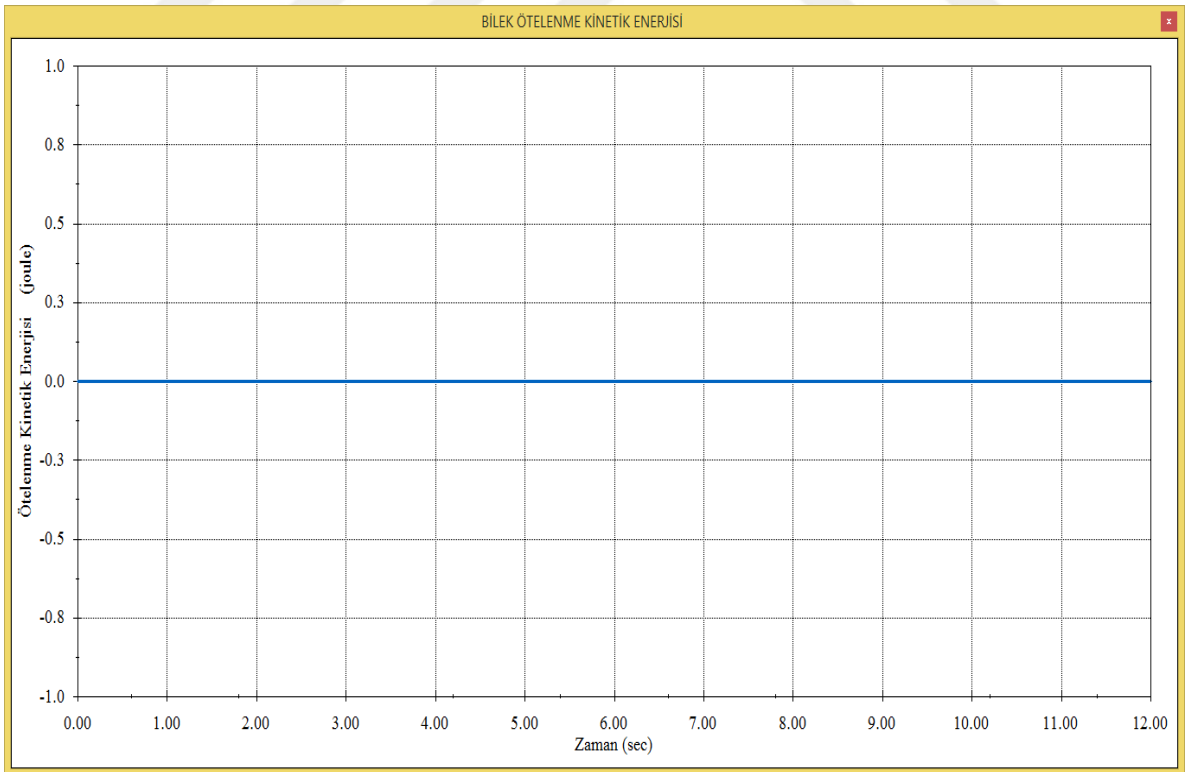


**Çekil 4.163.** ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ötelenme momenti-zaman grafiği

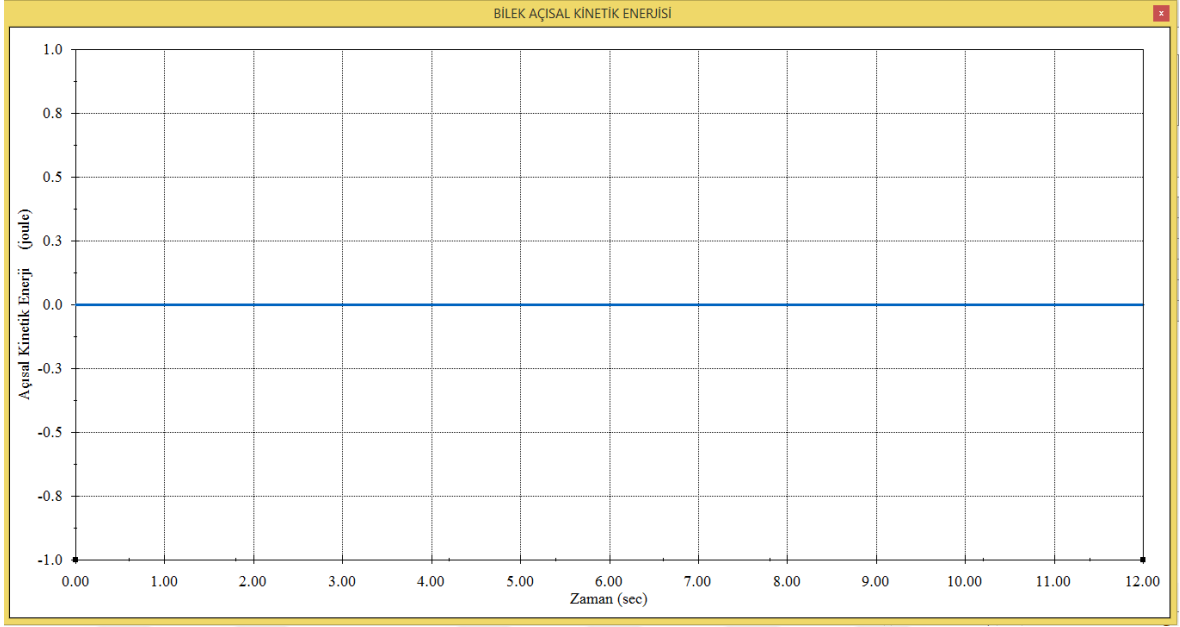
Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı açısal moment değişimi ?ekil 4.164'te verilmiş olup hareket boyunca 0 N.mm.sn değerinde kaldığı görülmüştür. ?ınav çekme hareketi boyunca sporcu bileğinin Y ve Z eksenlerinde meydana gelen zamana bağlı ötelenme kinetik enerjisi ?ekil 4.165'te verilmiş olup hareket boyunca 0 j değerinde kaldığı görülmüştür. Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı meydana gelen açısal kinetik enerji değişimi ?ekil 4.166'da verilmiş olup hareket boyunca 0 j olduğu görülmüştür. Bileğin Y ve Z eksenlerindeki zamana bağlı toplam kinetik enerji değişimi ?ekil 4.167'de verilmiş olup hareket boyunca 0 j olduğu görülmüştür ve sınav çekme hareketi boyunca zamana bağlı güç değişimi ?ekil 4.168'de verilmiş olup 5sn-6sn arasında minimum degere, 6sn-7sn arasında maksimum degere ulaştığı görülmüştür.



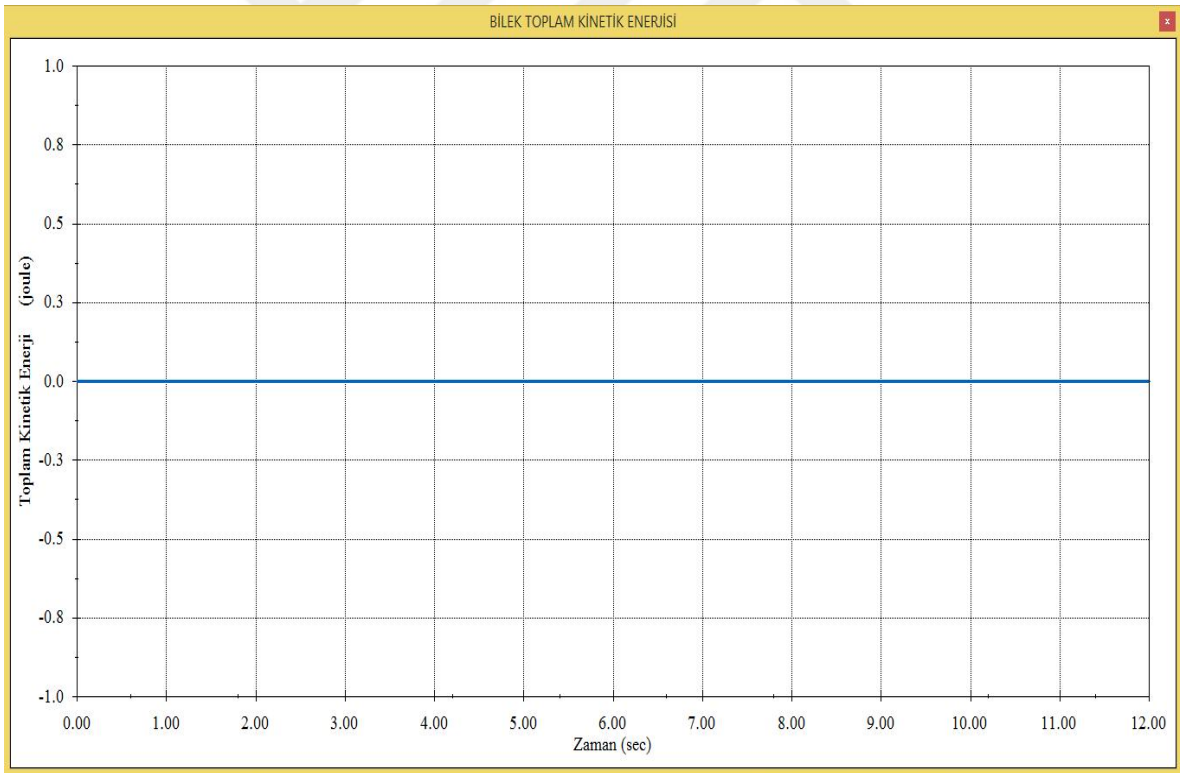
Çekil 4.164. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının açisal moment-zaman grafigi



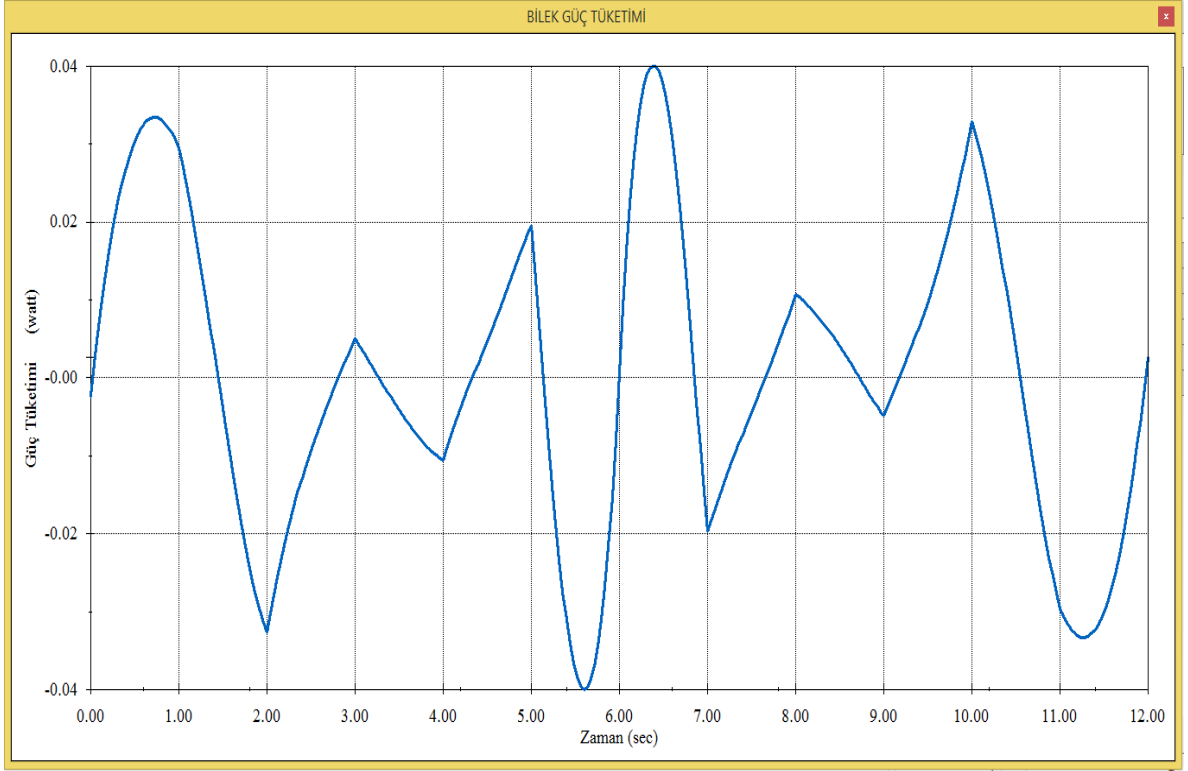
Çekil 4.165. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının ötelenme kinetik enerji-zaman grafigi



Çekil 4.166. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının açısai kinetik enerji-zaman grafigi



Çekil 4.167. ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının toplam kinetik enerji-zaman grafigi



**Çekil 4.168.** ?ınav çekme hareketi yapan sporcu kolunun bilek kısmının güç-zaman grafiği

## 5. SONUÇLAR

Bu tezde Solidworks programı yardımıyla insan el-kol mekanizması şematik, üç boyutlu olarak çizilmiştir. Çizilen insan el-kol mekanizmasına Solidworks Motion yardımıyla barfiks çekme hareketi, dambıl kaldırma hareketi, kürek çekme hareketi ve şınav çekme hareketi yaptırılan el-kol mekanizmasının omuz, dirsek ve kol için her bir hareketin zamana bağlı konum, hız, ivme ve sarsılma kinematik analizi yapılmıştır. Ayrıca İnsan el-kol mekanizmasının omuz, dirsek ve bilek için barfiks çekme, dambıl kaldırma, kürek çekme ve şınav çekme sırasında meydana gelen zamana bağlı tork değişimi, kuvvet değişimi, moment değişimi, ötelenme momenti değişimi, açısal moment değişimi, ötelenme kinetik enerji değişimi, açısal kinetik enerji değişimi, toplam kinetik enerji değişimi ve hareketler boyunca meydana gelen güç değişimi incelenerek kinetik analizi yapılmıştır.

Yapılan çalışmanın sonucunda elde edilen veriler dışardan bir kuvvet uygulanmadan kolun kendi ağırlığından kaynaklanan kuvvetler dikkate alındığından daha sonra biyonik kol, askeri alanda yapılması düşünülen insansı robotlar veya benzer çalışmalar için referans noktası olarak görülebilir.

### 5.1. Omuz

Solidworks Motion'da yapılan analizin sonucunda insan el-kol mekanizması omuz kısmının barfiks hareketi boyunca meydana gelen konumun zamana bağlı değişimi maksimum  $90^\circ$ 'lik bir açı yaptırılırken, dambıl kaldırma hareketi için maksimum  $6^\circ$ , kürek çekme hareketi için maksimum  $120^\circ$ , şınav çekme hareketi için ise maksimum  $60^\circ$ 'lik hareket kabiliyeti sağlanmıştır. Buna göre sporcunun omuz kısmının hareket kabiliyeti sırasıyla  $120^\circ$  ile kürek çekme,  $90^\circ$  ile barfiks çekme,  $60^\circ$  ile şınav çekme ve  $6^\circ$  ile dambıl kaldırma hareketi yapmaktadır.

Omuz kısmının hızın zamana bağlı değişimi, barfiks çekme hareketinde maksimum 25 derece/sn, dambıl kaldırma hareketi 1,5 derece/sn, kürek çekmede 30 derece/sn, şınav çekmede 15 derece/sn olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlarla kıyaslandığında çoktan aza doğru hızlar sıralandığında 30 derece/sn ile kürek çekme, 25 derece/sn ile barfiks çekme, 15 derece/sn ile şınav çekme ve 1.5 derece/sn ile dambıl kaldırma hareketi olarak sıralandığı gözlenmiştir.

Omuz kısmının ivmenin zamana bağlı değişimi, barfiks çekme hareketinde  $+7.5$  derece/sn<sup>2</sup> ile  $20$  derece/sn<sup>2</sup> arasında değiştiği, dambıl kaldırma hareketinde  $+1$  derece/sn<sup>2</sup> ile  $-4$  derece/sn<sup>2</sup> arasında değiştiği, kürek çekme hareketinde  $+20$  derece/sn<sup>2</sup> ile  $-65$  derece/sn<sup>2</sup> arasında değiştiği, şınav çekme hareketinde ise  $+10$  derece/sn<sup>2</sup> ile  $-35$  derece/sn<sup>2</sup> arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Omuz kısmının sarsılmanın zamana bağlı değişimi, barfiks çekme hareketinde  $-65$  derece/sn<sup>3</sup> ile  $+65$  derece/sn<sup>3</sup> arasında değiştiği, dambıl kaldırma hareketinde  $-4.5$  derece/sn<sup>3</sup> ile  $+4.5$  derece/sn<sup>3</sup> arasında değiştiği, kürek çekme hareketinde  $-65$  derece/sn<sup>3</sup> ile  $+65$  derece/sn<sup>3</sup> arasında değiştiği, şınav çekme hareketinde  $-4.5$  derece/sn<sup>3</sup> ile  $+4.5$  derece/sn<sup>3</sup> arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Sarsılma analizinde barfiks çekme hareketi ile kürek çekme hareketinin aynı değerler arasında değiştiği, dambıl kaldırma hareketi ile şınav çekme hareketinin aynı değerler arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Omuz kısmının zamana bağlı tork değişimi, barfiks çekme hareketinde  $0$ .sn'de maksimum değeri olan  $7$  N.mm ile başlamış olup hareketin ilk evresinin bitişi olan  $6$ .sn'de minimum değerinin  $0$  N.mm olduğu, hareketin bitişi olan  $12$ .sn'de ise yaklaşık olarak  $3,3$  N.mm olduğu gözlenmiştir. Dambıl kaldırma hareketinde omuz kısmının zamana bağlı tork değişimi,  $0$ .sn'de  $28$  N.mm iken maksimum değerini  $6$ .sn'de yaklaşık olarak  $30$  N.mm'ye ulaştığı görülmüştür. Kürek çekme hareketinde omuz kısmının zamana bağlı tork değişimi  $6$ .sn'de maksimum değeri olan  $115$  N.mm değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.

Şınav çekme hareketinde omuz kısmının zamana bağlı tork değişimi  $0$ .sn,  $6$ .sn ve  $12$ .sn'de  $7$  N.mm ile maksimum değerlere ulaşmıştır. Bu değerlere göre omuzdaki tork miktarı çoktan aza doğru kürek çekme hareketinde  $115$  N.mm, dambıl kaldırma hareketinde  $30$  N.mm, barfiks çekme ve şınav çekme hareketlerinde ise maksimum değerleri  $7$  N.mm olup eşit değerlere ulaştığı görülmüştür.

Omuz kısmının zamana bağlı kuvvet değişimi, barfiks çekme hareketinde  $6$ .sn'de  $0.5$  N ile maksimum değere ulaştığı görülürken, dambıl kaldırma hareketinde  $6$ .sn'de  $0,12$  N ile maksimum değere ulaşırken, kürek çekme hareketinde  $6$ .sn'de  $0,5$  N ile maksimum değere ulaştığı görülürken, şınav çekme hareketinde ise  $6$ .sn'de  $0,4$  N ile maksimum değere ulaştığı görülmüştür. Bu değerlere göre omuza yüklenen maksimum kuvvetler en fazla  $0,5$  N ile barfiks çekme ve kürek çekmede görülürken,  $0,4$  N ile şınav çekme,  $0,12$  N ile dambıl kaldırma hareketinde meydana geldiği görülmüştür.

Omuz kısmının zamana bağlı tepki moment değişimi, barfiks çekme hareketinde maksimum değerine  $24$  N.mm ile  $6$ .sn'de ulaşırken, dambıl kaldırma hareketinde  $10$  N.mm

ile 6.sn'de maksimum degere ulaşırken kürek çekme hareketinde 6.sn'de 32 N.mm ile maksimum degerine ulaşmış, şınav çekme hareketinde 6.sn'de 21 N.mm ile maksimum degerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu değerlere göre omuzun en fazla tepki momentine maruz kaldığı hareketler sırasıyla kürek çekme hareketi 32 N.mm, barfiks çekme hareketi 24 N.mm, şınav çekme hareketi 21N.mm ve dambıl kaldırma hareketi 10 N.mm olduğu görülmüştür.

Omuz kısmının zamana bağlı ötelenme moment değişimi, barfiks çekme hareketinde 1.sn ile 2.sn arasında 109036 N.sn ile maksimum degere ulaşmış, dambıl kaldırma hareketinde 5.sn-6.sn ve 6.sn-7.sn arasında 4157 N.sn ile maksimum degerine ulaştığı, kürek çekme hareketinde 5.sn-6.sn ve 6.sn-7.sn arasında 83151 N.sn ile maksimum degere ulaştığı, şınav çekme hareketinde ise 1.sn-2.sn ve 10.sn-11.sn arasında 172146 N.sn degeriyle maksimum değerlere ulaştıkları gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre omuzun ötelenme moment değişimi sırasıyla en fazla 172146 N.sn şınav çekme hareketi, 109036 N.sn barfiks çekme hareketi, 83151 N.sn kürek çekme ve 4157 N.sn ile dambıl kaldırma hareketi olduğu görülmüştür.

Omuz kısmının zamana bağlı açılal moment değişimi, barfiks çekme hareketinde 1.sn-2.sn arasında 4345072 N.mm.sn ile maksimum degere ulaşmış, dambıl kaldırma hareketinde 5.sn-6.sn ve 6.sn-7.sn arasında 283447 N.mm.sn ile maksimum degere ulaşmış, kürek çekme hareketinde 5.sn-6.sn ve 6.sn-7.sn arasında 5670098 N.mm.sn ile maksimum degere ulaşmış, şınav çekme hareketinde ise 12 sn'lik hareket boyunca 0 N.mm.sn degerinde kaldığı görülmüştür. Bu sonuçlara göre omuzun zamana bağlı açılal moment değişimi sırasıyla en fazla kürek çekme hareketinde 5670098 N.mm.sn, barfiks çekme hareketinde 4345072 N.mm.sn, dambıl kaldırma hareketinde 283447 N.mm.sn ve şınav çekme hareketinde ise 0 N.mm.sn olduğu görülmüştür.

Omuz kısmının zamana bağlı ötelenme kinetik enerji değişimi, barfiks hareketinde 1.sn-2.sn aralığında yaklaşık olarak 0.0040 j olduğu, dambıl kaldırma hareketinde hareket boyunca 0 j olduğu, kürek çekme hareketinde 5.sn-6.sn ve 6.sn-7.sn arasında yaklaşık olarak 0.0020 j olduğu ve şınav çekme hareketinde ise 1.sn-2.sn ile 10.sn-11.sn arasında yaklaşık olarak 0.009 j degerini aldığı görülmüştür. Bu değerlere göre omuzun zamana bağlı ötelenme kinetik enerji değişiminin en fazla şınav çekme hareketinde 0.009 j, barfiks çekme hareketinde 0.004 j, kürek çekme hareketinde 0.002 j ve dambıl kaldırma hareketinde ise hareket boyunca 0 j olduğu görülmüştür.

Omuz kısmının zamana bağlı açısal kinetik enerji değişimi, barfiks çekme hareketinde 1.sn-2.sn arasında maksimum degerinin yaklaşık olarak 0.0008 j olduğu, dambıl kaldırma hareketinde hareket boyunca 0 j olduğu, kürek çekme hareketinde 5.sn-6.sn ile 6.sn-7.sn arasında 0.0014 j ile maksimum degerine ulaştığı, sınav çekme hareketinde hareket boyunca 0 j olduğu görülmüştür. Bu degerler incelendiğinde zamana bağlı açısal kinetik enerji değişimi en fazla barfiks çekme hareketinde 0.0008 j, kürek çekme hareketinde 0.0014 j olduğu, dambıl kaldırma ile sınav çekme hareketlerinde ise hareketler boyunca 0 j degerinde kaldığı görülmüştür.

Omuz kısmının zamana bağlı toplam kinetik enerji değişimi, barfiks çekme hareketinde 1.sn-2.sn arasında 0.0045 j ile maksimum degerine ulaştığı, dambıl kaldırma hareketinde hareket boyunca toplam kinetik enerji değişiminin 0 j olduğu, kürek çekme hareketinde 5.sn-6.sn ile 6.sn-7.sn arasında yaklaşık olarak 0.004 j olduğu ve sınav çekme hareketinde ise 1.sn-2.sn ile 10.sn-11.sn arasında yaklaşık olarak 0.009 j olduğu görülmüştür. Bu degerler incelendiğinde zamana bağlı toplam kinetik enerji değişimleri kıyaslandığında en fazla, sınav çekme hareketinde 0.009 j olduğu, barfiks çekme hareketinde 0.0045 j olduğu, kürek çekme hareketinde 0.004 j olduğu, dambıl kaldırma hareketinde ise zamana bağlı toplam kinetik enerji değişiminin hareket boyunca 0 j olduğu görülmüştür.

Omuz kısmının zamana bağlı güç değişimi, barfiks çekme hareketinde maksimum degerini 2.sn'de +0.0010 watt olduğu, dambıl kaldırma hareketinde maksimum degerine 0.sn ile 12.sn'de yaklaşık olarak 0.0005 watt olduğu, kürek çekme hareketinde maksimum degerinin 6.sn-7.sn arasında 0.02 watt olduğu ve sınav çekme hareketinde ise 0.sn ile 12.sn'de 0.0013 watt olduğu görülmüştür.

## 5.2. Dirsek

Solidworks Motion yardımıyla yapılan el-kol mekanizmasının barfiks çekme, dambıl kaldırma, kürek çekme ve sınav çekme hareketleri sırasında dirsek kısmının kinematik ve kinetik analizlerin sonuçları;

Dirsek kısmının zamana bağlı konum değişimi, barfiks hareketinde maksimum 90° olurken, dambıl kaldırma ve sınav çekme hareketlerinde de dirseğin konum değişimlerinin 90° olduğu görülürken kürek çekme hareketinde ise konum değişiminin 60° olduğu görülmüştür. Bu degerler incelendiğinde barfiks çekme, dambıl kaldırma ve sınav çekme

hareketleri boyunca dirseğin konum değişiminin kürek çekme hareketinden fazla olduğu görülmüştür.

Dirsek kısmının zamana bağlı hız değişimi, barfiks çekme hareketinde maksimum değeri 25 derece/sn, dambıl kaldırma hareketinde maksimum 25 derece/sn, kürek çekme hareketinde maksimum değeri 30 derece/sn, şınav çekme hareketinde ise maksimum değeri 20 derece/sn olduğu görülmüştür. Bu değerler incelendiğinde, dirsek kısmı hız olarak en fazla değeri 30 derece/sn ile kürek çekme hareketinde ulaştığı, barfiks çekme ile dambıl kaldırma hareketinin 25 derece/sn aynı hızda olduğu, şınav çekme hareketinde ise 20 derece/sn ile hareketler arasında en yavaş değere ulaştığı görülmüştür.

Dirsek kısmının zamana bağlı ivme değişimi, barfiks çekme hareketinde 50 derece/sn<sup>2</sup>, dambıl kaldırma hareketinde yaklaşık olarak 20 derece/sn<sup>2</sup>, kürek çekme hareketinde yaklaşık olarak 35 derece/sn<sup>2</sup> ve şınav çekme hareketinde ise yaklaşık olarak 20 derece/sn<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. Bu değerler incelendiğinde zamana bağlı ivme değişiminin en fazla olduğu hareket sırasıyla, 50 derece/sn<sup>2</sup> ile barfiks çekme hareketi, 35 derece/sn<sup>2</sup> ile kürek çekme hareketi iken 20 derece/sn<sup>2</sup> değerleriyle dambıl kaldırma ile şınav çekme hareketlerinin aynı değerlere sahip olduğu görülmüştür.

Dirsek kısmının zamana bağlı sarsılma değişimi, barfiks çekme hareketinde yaklaşık olarak 65 derece/sn<sup>3</sup>, dambıl kaldırma hareketinde 45 derece/sn<sup>3</sup>, kürek çekme hareketinde 100 derece/sn<sup>3</sup> ve şınav çekme hareketinde yaklaşık olarak 70 derece/sn<sup>3</sup> olduğu görülmüştür. Bu değerler incelendiğinde zamana bağlı sarsılma değişiminin en fazla olduğu hareket sırasıyla, 100 derece/sn<sup>3</sup> ile kürek çekme 70 derece/sn<sup>3</sup>, 65 derece/sn<sup>3</sup> ile barfiks çekme ve 45 derece/sn<sup>3</sup> ile dambıl kaldırma hareketinin olduğu görülmüştür.

Dirsek kısmının zamana bağlı tork değişimi, barfiks çekme hareketinde maksimum değerinin 186 N.mm olduğu, dambıl kaldırma hareketinde maksimum değerinin 25 N.mm olduğu, kürek çekme hareketinde maksimum değerinin 37 N.mm olduğu ve şınav çekme hareketinde 0.sn ile 12.sn'de 103 N.mm ile maksimum değerini aldığı görülmüştür. Bu değerler incelendiğinde dirsek kısmında meydana gelen tork değişimleri kıyaslandığında en fazla 186 N.mm ile barfiks çekme hareketi, 103 N.mm ile şınav çekme hareketi, 37 N.mm ile kürek çekme hareketi ve 25 N.mm ile dambıl kaldırma hareketi olduğu görülmüştür.

Dirsek kısmının zamana bağlı kuvvet değişimi, barfiks çekme hareketinde maksimum değeri 0.7 N, dambıl kaldırma hareketinde maksimum değeri 0.22 N, kürek çekme hareketinde maksimum değeri 0.28 N ve şınav çekme hareketinde ise maksimum

değerinin 0.9 N olduğu görülmüştür. Bu değerler incelendiğinde maksimum kuvvet değerlerini sıraladığımızda 0.9 N ile şınav çekme, 0.7 N ile barfiks çekme, 0.28 N ile kürek çekme ve 0.22 N ile dambıl kaldırma hareketinin olduğu görülmüştür.

Dirsek kısmının zamana bağlı tepki moment değişimi, barfiks çekme hareketinde maksimum değeri 70 N.mm, dambıl kaldırma hareketinde maksimum değeri 1.1 N.mm, kürek çekme hareketinde maksimum değer, 2.4 N.mm, şınav çekme hareketinde maksimum değeri 70 N.mm olduğu görülmüştür. Bu değerler incelendiğinde zamana bağlı tepki moment değişimleri kıyaslandığında maksimum değerle çoktan aza doğru kıyaslandığında, barfiks çekme ile şınav çekme hareketlerinde 70 N.mm ile maksimum değerlerinin aynı olduğu görülmüş, 2.4 N.mm ile kürek çekme hareketinin geldiği ve en son 1.1 N.mm ile dambıl kaldırma hareketinin geldiği görülmüştür.

Dirsek kısmının zamana bağlı ötelenme moment değişimi, barfiks çekme hareketinde maksimum değerinin 109036 N.sn, dambıl kaldırma hareketinde maksimum değerinin 34839 N.sn, kürek çekme hareketinde maksimum değerinin 83151 N.sn ve şınav çekme hareketinde maksimum değerinin 611 N.sn olduğu görülmüştür. Bu değerler incelendiğinde zamana bağlı ötelenme moment değişimlerinin maksimum değerleri çoktan aza doğru sıralandığında, barfiks çekme hareketi 109036 N.sn, kürek çekme hareketi 83151 N.sn, dambıl kaldırma hareketi 34839 N.sn ve şınav çekme hareketi 611 N.sn olduğu görülmüştür.

Dirsek kısmının zamana bağlı açılma moment değişimi, barfiks çekme hareketinde maksimum değerinin 4045072 N.mm.sn olduğu, dambıl kaldırma hareketinde maksimum değerinin 1312336 N.mm.sn olduğu, kürek çekme hareketinde 5670098 N.mm.sn olduğu, şınav çekme hareketinde 87 N.mm.sn olduğu görülmüştür. Bu değerler incelendiğinde zamana bağlı açılma moment değişimlerinin maksimum değerleri çoktan aza doğru sıralandığında en fazla 5670098 N.mm.sn ile kürek çekme, 4045072 N.mm.sn barfiks çekme, 1312336 N.mm.sn dambıl kaldırma ve 87 N.mm.sn ile şınav çekme hareketinin olduğu görülmüştür.

Dirsek kısmının zamana bağlı ötelenme kinetik enerji değişimi, barfiks hareketinde maksimum değerinin 0.0042 j olduğu, dambıl kaldırma hareketinde maksimum değerinin 0.0010 j olduğu, kürek çekme hareketinde maksimum değerinin 0.008 j olduğu ve şınav çekme hareketinde ise maksimum değerinin 0.00003 j olduğu görülmüştür. Bu değerler incelendiğinde zamana bağlı ötelenme kinetik enerji değişiminin maksimum değerinin çoktan aza doğru sıralandığında kürek çekme hareketinin 0.008 j, barfiks çekme

hareketinin 0.0042 j, dambıl kaldırma hareketinin 0.0010 j olduğu ve 0.00003 j ile şınav çekme hareketi olarak sıralandığı görülmüştür.

Dirsek kısmının zamana bağlı açısal kinetik enerji değişimi, barfiks çekme hareketinde maksimum değerinin 0.0008 j olduğu, dambıl kaldırma hareketinde maksimum değerinin yaklaşık olarak 0.00025 j olduğu, kürek çekme hareketinde maksimum değerinin yaklaşık olarak 0.0004 j olduğu ve şınav çekme hareketinde ise açısal kinetik enerji değişiminin hareket boyunca 0 j olduğu görülmüştür. Bu değerler incelendiğinde maksimum değerler çoktan aza doğru sıralayacak olursak, barfiks çekme hareketi 0.0008 j, kürek çekme hareketi 0.0004 j, dambıl kaldırma hareketinde 0.00025 j ve şınav çekme hareketinde ise 0 j ile hareket boyunca bir değişimin olmadığını görebiliriz.

Dirsek kısmının zamana bağlı toplam kinetik enerji değişimi, barfiks çekme hareketinde maksimum değerinin 0.0042 j, dambıl kaldırma hareketinde maksimum değerinin yaklaşık olarak 0.0012 j, kürek çekme hareketinde maksimum değerinin yaklaşık olarak 0.0080 j, şınav çekme hareketinde ise maksimum değerinin yaklaşık olarak 0.00003 j olduğu görülmüştür. Bu değerler incelendiğinde zamana bağlı toplam kinetik enerji değişimlerinin maksimum değerlerini çoktan aza doğru kıyasladığımızda en fazla, kürek çekme hareketinin 0.0080 j, barfiks çekme hareketinin 0.0042 j, dambıl kaldırma hareketinin 0.0012 ve şınav çekme hareketinin ise 0.00003 j olduğu görülmüştür.

Dirsek kısmının zamana bağlı güç değişimi, barfiks çekme hareketinde maksimum değerinin 0.03 watt, dambıl kaldırma hareketinde maksimum değerinin 0.004 watt, kürek çekme hareketinde maksimum değerinin 0.009 watt, şınav çekme hareketinde ise maksimum değrinin 0.02 watt olduğu görülmüştür. Bu değerler incelendiğinde güç değişimlerinin maksimum değerlerinin çoktan aza doğru sıralanması, 0.03 watt barfiks çekme, 0.02 watt şınav çekme, 0.009 watt kürek çekme ve 0.004 watt dambıl kaldırma hareketi olarak görülmüştür.

### **5.3. Bilek**

Solidworks Motion yardımıyla yapılan el-kol mekanizmasının barfiks çekme, dambıl kaldırma, kürek çekme ve şınav çekme hareketleri sırasında bilek kısmının kinematik ve kinetik analizlerin sonuçları;

Bilek kısmının zamana bağlı konum değişimleri, barfiks çekme hareketinde konum değişiminin maksimum değeri 6°, dambıl kaldırma hareketinde 65°, kürek çekme hareketinde 6°, şınav çekme hareketinde ise 90° olduğu görülmüştür. Bu konum değerleri

incelendiğinde bileğin açısal konumunun en fazla olduğu hareket çoktan aza doğru, 90° sınav çekme, dambıl kaldırma hareketi 65° iken, barfiks çekme ile kürek çekme hareketleri sırasında 6° ile aynı konum değişimine uğradığı görülmüştür.

Bilek kısmının zamana bağlı hız değişimleri, barfiks çekme hareketinde maksimum hızın 2 derece/sn, dambıl kaldırma hareketinde maksimum hız değişimi 20 derece/sn, kürek çekme hareketinde maksimum hız değişimi 1.5 derece/sn, sınav çekme hareketinde maksimum hız değişiminin 20 derece/sn olduğu görülmüştür. Bu değerler incelendiğinde maksimum hız değerleri çoktan aza doğru sıralandığında, dambıl kaldırma hareketi ile sınav çekme hareketinin 20 derece/sn ile aynı değerde olduğu görülürken barfiks çekme hareketinin 2 derece/sn ile daha yavaş olduğu, en yavaş hareketin ise 1.5 derece/sn ile kürek çekme hareketinin olduğu görülmüştür.

Bilek kısmının zamana bağlı ivme değişimi, barfiks çekme hareketinde maksimum ivme değeri 1 derece/sn<sup>2</sup>, dambıl kaldırma hareketinde maksimum ivme değeri yaklaşık olarak 10 derece/sn<sup>2</sup>, kürek çekme hareketinde maksimum ivme değerinin 1 derece/sn<sup>2</sup> ve sınav çekme hareketinde maksimum ivme değeri 20 derece/sn<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. Bu değerler incelendiğinde bilekteki maksimum ivme değerlerinin çoktan aza doğru sıralandığında, 20 derece/sn<sup>2</sup> sınav çekme hareketi, 10 derece/sn<sup>2</sup> dambıl kaldırma hareketi iken barfiks çekme hareketi ile kürek çekme hareketinin 1 derece/sn<sup>2</sup> ile aynı değeri aldığı görülmüştür.

Bilek kısmının zamana bağlı sarsılma değişimi, barfiks çekme hareketinde maksimum değeri 5 derece/sn<sup>3</sup>, dambıl kaldırma hareketinde maksimum değerin 50 derece/sn<sup>3</sup>, kürek çekme hareketinde maksimum değeri yaklaşık olarak 4.5 derece/sn<sup>3</sup> ve sınav çekme hareketinde maksimum değer yaklaşık olarak 70 derece/sn<sup>3</sup> olduğu görülmektedir. Bu değerler incelendiğinde maksimum sarsılma değerleri çoktan aza doğru sıralandığında 70 derece/sn<sup>3</sup> ile sınav çekme hareketi, 50 derece/sn<sup>3</sup> ile dambıl kaldırma hareketi, 5 derece/sn<sup>3</sup> ile barfiks çekme hareketi ve 4.5 derece/sn<sup>3</sup> ile kürek çekme hareketi olarak sıralanabilir.

Bilek kısmının zamana bağlı tork değişimi, barfiks çekme hareketinde maksimum değeri 204 N.mm, dambıl kaldırma hareketinde 1.2 N.mm, kürek çekme hareketinde 1.6 N.mm, sınav çekme hareketinde 262 N.mm olduğu görülmüştür. Bu değerler incelendiğinde bilekteki maksimum tork değişimi büyükten küçüğe doğru sıralandığında 262 N.mm ile sınav çekme hareketi, 204 N.mm ile barfiks çekme hareketi, 1.6 N.mm ile kürek çekme ve 1.2 N.mm ile dambıl kaldırma hareketi olduğu görülmüştür.

Bilek kısmının zamana bağlı kuvvet değişimi, barfiks çekme hareketinde maksimum degerinin 0.7 N olduğu, dambıl kaldırma hareketinde maksimum degerinin 0.04 N olduğu, kürek çekme hareketinde maksimum degerinin 0.047 N olduğu ve şınav çekme hareketinde maksimum degerinin 0.9 N olduğu görülmüştür. Bu degerler incelendiğinde bilekteki maksimum kuvvet degerlerinin kıyaslanıp büyükten küçüğe sıralandığında 0.9 N ile şınav çekme hareketi, 0.7 N ile barfiks çekme hareketi 0.047 N ile kürek çekme hareketi ve 0.04 N ile dambıl kaldırma hareketi olarak sıralanabilir.

Bilek kısmının zamana bağlı tepki moment değişimi, barfiks çekme hareketinde maksimum degerinin 68 N.mm, dambıl kaldırma hareketinde maksimum degerinin 0.5 N.mm, kürek çekme hareketinde maksimum degerinin 0.6 N.mm ve şınav çekme hareketinde maksimum degerinin 75 N.mm olduğu görülmüştür. Bu degerler incelendiğinde bilekteki maksimum tepki moment degerlerini kıyaslar ve büyükten küçüğe doğru sıralarsak 75 N.mm ile şınav çekme, 68 N.mm ile barfiks çekme 0.6 N.mm ile kürek çekme ve 0.5 N.mm ile dambıl kaldırma hareketi olduğu görülmüştür.

Bilek kısmının zamana bağlı ötelenme moment değişimi, barfiks çekme hareketi boyunca 0 N.sn degerini alarak değişmemiştir. Bilegin zamana bağlı ötelenme moment değişimi dambıl kaldırma hareketinde maksimum degerinin 16469 N.sn olduğu, kürek çekme hareketinde maksimum degerinin 23453 N.sn olduğu ve şınav çekme hareketinde degerin hareket boyunca 0 N.sn olduğu görülmüştür. Bu degerler incelenip kıyaslandığında zamana bağlı ötelenme moment değişiminin maksimum degerleri büyükten küçüğe sıralandığında 23453 N.sn ile kürek çekme hareketi, 16469 N.sn ile dambıl kaldırma hareketi ve 0 N.sn ile barfiks çekme ve şınav çekme hareketlerinin aynı degerlerde olduğu görülmüştür.

Bilek kısmının zamana bağlı açısal moment değişimi, barfiks çekme hareketinde degerin 0 N.mm.sn olarak hareket boyunca deger almadığını görülmüş, dambıl kaldırma hareketinde açısal moment maksimum degerinin 44497 N.mm.sn olduğu, kürek çekme hareketinin 1713 N.mm.sn olduğu ve şınav çekme hareketinde ise hareket boyunca 0 N.mm.sn degerinde kaldığı görülmüştür. Bu degerler incelenip kıyaslandığında en büyük açısal moment değişiminin dambıl kaldırma hareketinde 44497 N.mm.sn, daha sonra 1713 N.mm.sn ile kürek çekme hareketinde olduğu ve barfiks çekme ile şınav çekme hareketlerinde ise hareketler boyunca 0 N.mm.sn degerinde kaldığı görülmüştür.

Bilek kısmının zamana bağlı ötelenme kinetik enerji değişimi, barfiks çekme hareketinde hareket boyunca 0 j olduğu, dambıl kaldırma hareketinde maksimum degerinin

yaklaşık olarak 0.0012 j olduğu, kürek çekme hareketinde maksimum degerinin 0.0025 j olduğu ve şınav çekme hareketinde hareket boyunca 0 j olduğu görülmüştür. Bu degerler incelenip kıyaslandığında kürek çekme hareketinde 0.0025 j ile en büyük maksimum degere ulaştığını ve daha sonra 0.0012 j ile dambıl kaldırma hareketinin geldiğini, barfiks çekme ile şınav çekme hareketlerinin 0 j degerinde kaldığı görülmüştür.

Bilek kısmının zamana bağlı açısal kinetik enerji değişimi, barfiks çekme hareketinde hareket boyunca 0 j olduğu, dambıl kaldırma hareketinde maksimum degerinin yaklaşık olarak 0.000014 j olduğu, kürek çekme hareketinde maksimum degerinin yaklaşık olarak 0.0004 j olduğu ve şınav çekme hareketinde hareket boyunca 0 j olduğu görülmüştür. Bu degerler kıyaslandığında en fazla açısal kinetik enerji değişiminin 0.0004 j ile kürek çekme hareketinde olduğu daha sonra 0.000014 j ile dambıl kaldırma hareketinin geldiğini ve barfiks çekme ile şınav çekme hareketlerinin 0 j degerinde kaldığı görülmüştür.

Bilek kısmının zamana bağlı toplam kinetik enerji değişimi, barfiks çekme hareketinde hareket boyunca 0 j olduğu, dambıl kaldırma hareketinde maksimum degerinin yaklaşık olarak 0.0012 j olduğu, kürek çekme hareketinde maksimum degerinin yaklaşık olarak 0.0024 j olduğu ve şınav çekme hareketinde ise hareket boyunca 0 j olduğu görülmüştür. Bu degerler incelenip kıyaslandığında maksimum toplam kinetik enerji değişimlerini büyükten küçüğe doğru sıralandığında 0.0024 j ile kürek çekme hareketi, 0.0012 j ile dambıl kaldırma hareketi ve barfiks çekme ile şınav çekme hareketlerinin 0 j'da kaldığı görülmüştür.

Bilek kısmının zamana bağlı güç değişimi, barfiks çekme hareketinde maksimum degerinin 0.002 watt, dambıl kaldırma hareketinde maksimum degerinin 0.00035 watt, kürek çekme hareketinde maksimum degerinin 0.00004 watt ve şınav çekme hareketinde ise maksimum degerinin 0.04 watt olduğu görülmüştür. Bu degerler incelenip kıyaslandığında maksimum güç değişimleri büyükten küçüğe doğru sıralandığında 0.04 watt ile şınav çekme hareketi, 0.002 watt ile barfiks çekme hareketi, 0.00035 watt ile dambıl kaldırma ve 0.00004 watt ile kürek çekme hareketinde olduğu görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- [1] **Mason M. T. and Salisbury J. K.** 1986. Robot Hands and the Mechanics of Manipulation. The MIT Press, Cambridge, MA, 2 edition.
- [2] **Butterfass, J.; Grebenstein, M.; Liu, H. & Hirzinger, G.** (2001). DLR-Hand II: Next Generation of a Dextrous Robot Hand, *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 109-114.
- [3] **Richard F. ff. Weir, Phil R. Troyk, Glen A. DeMichele, Douglas A. Kerns, Jack F. Schorsch, Glen A. DeMichele, Huub Maas,** (Jan. 2009). "Implantable Myoelectric Sensors (IMESs) for Intramuscular Electromyogram Recording" *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 56, no. 1, pp.159-171
- [4] **Pons J. L. , Ceres R. , Rocon E. , Reynaerts D. , Saro Levin B. , Moorlegghem W.** (2005). "Objectives and technological approach to the development of the multifunctional MANUS upper limb prosthesis" *Robotica*, vol.23, pp.301-310
- [5] URL-1, <http://www.touchbionics.com/professionals.php?section=4>
- [6] **Kalınkara S. ve Yılmaz M.**, 2009. Protez Kol Mekanik Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri
- [7] **Cebe O. ve Ertugrul Ç.**, 2017. İnsansı Bir Robot Kolunun Ters Dinamik Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, I.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [8] **Mert B. ve Taşcıoğlu Y.**, 2016. Bir Endüstriyel Robotun İnsan Kolu Hareketlerinin Derinlik Haritası İle Algılanmasıyla Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [9] **Arslan Y. Z.; Yagız N.; Adlı M. A.**, 2005. İnsanın İki Kolunun Ortak Hareketi Esnasında Oluşan Eklem Momentleri Elektromyografi Sinyalleri Yardımıyla Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [10] **Süyür Ö. ve Kurtaran H.**, 2007. İnsan Kolunun Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze
- [11] **Adewusi S., Thomas M, Vu V.H. and Li W.**, Modal Parameters of the Human Hand-Arm Using Finite Element and Operational Modal Analysis, Research Laboratory in Machinery, Process and Structural Dynamics (DYNAMO) Mechanical Engineering Department, Ecole de Technologie Supérieure, Canada

- [12] **Meşeli I. ve Ertugrul Ç.**, 2013. İnsansı Robot Kolu Ön Tasarımı ve Analizi Yüksek Lisans Tezi, I.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [13] **Tongaoglu M. ve Kaplanoglu E.**, 2014. Mekatronik Anabilim Dalı EMG Kontrollü Pnömatik Eyleyicili İnsansı Endüstriyel Kol Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [14] **Kılıç O.; Tönük E.; Tümer T.**, 2007. İnsan Elinin Biyomekanik Olarak Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Orta Dogu Teknik Üniversitesi, Ankara
- [15] **Gezgin E.**, 2006. Biokinematik Analysis of Human Arm, Degree of Master, Graduate School of Engineering and Sciences of Izmir Institute of Technology, Izmir
- [16] **Adewusi S., Thomas M, Vu V.H. and Li W.** Research Laboratory in Machinery, Process and Structural Dynamics (DYNAMO) Mechanical Engineering Department, Ecole de Technologie Superieure 1100 Notre-Dame Street West, Montreal, Quebec, Canada, H3C 1K3 [surajudeen-adedotun.adewusi.1@ens.etsmtl.ca](mailto:surajudeen-adedotun.adewusi.1@ens.etsmtl.ca),
- [17] **Bovenzi M.**, 1998. Exposure-response relationship in the hand–arm vibration syndrome: an overview of current epidemiology research. Int Arch Occu Enviro Health, 71(8), 509–519. 17
- [18] **Aldien Y., Marcotte P., Rakheja S. and Boileau P.-É.**, 2006. Influence of hand–arm posture on biodynamic response of the hand–arm exposed to zh-axis vibration, IJIE, 36, 45 – 59.18.
- [19] **Nilsson T., Burström L. and Hagberg M.**, 1989. Risk assessment of vibration exposure and white fingers among platers, Int Arch Occup Environ Health 61, 473 - 481.19,
- [20] ISO 5349-1, 2001. Mechanical vibration and shock – Measurement and evaluation of human exposure to mechanical vibration. International Organization for Standardization. 20
- [21] **Thomas M. and Beauchamp Y.** (1997), Development of a new frequency weighting filter for the assessment of grinder exposure to wrist-transmitted vibration. 22nd ICC&IE, Cairo, Egypt, Dec 20-22, 4p.,
- [22] **Rakheja S., Wu J. Z., Dong R. G. and Schopper A. W.**, 2002. A comparison of biodynamic models of the human hand-arm for applications to hand-held power tools, Journal of Sound and Vibration, 249 (1), 55 – 82.

- [23] **Adewusi S. A., Rakheja S., and Marcotte P.**, 2012. Biomechanical Models of the Human Hand-arm to Simulate Distributed Biodynamic Responses for Different Postures, *International Journal of Industrial Ergonomics* 42, 249-260.
- [24] **Adewusi S., Thomas M., and Vu H.**, 2012. Natural frequencies of the hand-arm system using finite element method, *Proceedings of the 4th American Conference on Human Vibration* Hartford, Connecticut, USA, June 13 – 14, 2012, 17-18.
- [25] Human Arm Inverse Kinematic Solution Based Geometric Relations and Optimization Algorithm- **Mohammed Z. Al-Faiz, Abduladhem A.Ali & Abbas H.Miry** [2011]
- [26] **V. Grecu, N. Dumitru, and L. Grecu**, “Analysis of Human Arm Joints and Extension of the Study to Robot Manipulator”, *Proceedings of the international Multi Conference of Engineers and Computer Scientists*, Vol 2, March 18 - 20, 2009 pp:1348-1351
- [27] **De Xu, and A. Acosta**, “An Analysis of the Inverse Kinematics for a 5-DOF Manipulator”, *International Journal of Automation and Computing* vol. 2, 2005 pp: 114-124
- [28] **T. Sugihara**,” Solvability-unconcerned Inverse Kinematics based on Levenberg-Marquardt Method”, 2009 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, Paris, Dec, 2009 ,pp:555-560
- [29] **Do, M.; Azad, P.; Asfour, T.**, “Imitation of human motion on a humanoid robot using non-linear optimization”, *Humanoid Robots*, 2008. 8th IEEE-RAS International Conference pp: 545 – 552
- [30] **Manipulator Control Using Human Arm Imitation Ayush Varshney**, Bakul Agarwal & L. Behera {vayush, bakul, lbehera} @iitk.ac.in Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur, Kanpur, India
- [31] Development of a new EDRNN procedure in control of human arm trajectories Shan Liua,, YongjiWanga, Quanmin Zhub a Department of Control Science and Engineering, Key Laboratory of Image Processing and Intelligent Control, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China bFaculty of Computing, Engineering and Mathematical Sciences (CEMS), University of the West of England(UWE), Frenchay Campus, Cold harbour Lane, Bristol BS161QY, UK Received 8 March 2007; received in revised form 29 November 2007; accepted 5 December 2007 Communicated by S.Fiori Available online 31 December 2007

- [32] **A.H. Fagg, N. Sitkoff, J.C. Houk, A.G. Barto**, Cerebellar learning for control of a two-link arm in muscle space, in: ICRA '97, vol. 3, IEEE, New Jersey, 1997, pp. 2638–2644.
- [33] **D.W. Franklin, T.E. Milner**, Adaptive control of stiffness to stabilize hand position with large loads, *Exp. Brain Res.* 152 (2003) 211–220.
- [34] **N. Lan**, Analysis of an optimal control model of multi-joint arm movements, *Biol. Cybern.* 76 (1997) 207–217.
- [35] **W. Li, E. Todorov**, Iterative linear-quadratic regulator design for nonlinear biological movement system, in: Proceedings of the 1st International Conference on Informatica in Control, Automation and Robotics, vol. 1, INSTICC Press, Netherlands, 2004, pp. 222–229.
- [36] [13] **W. Li, E. Todorov, X. Pan**, Hierarchical optimal control of redundant biomechanical systems, in: Proceedings of the 26th IEEE EMBS, vol. 26, IEEE, New Jersey, 2004, pp. 4618–4621.
- [37] **S. Liu, Y. Wang, J. Huang**, Neural network based posture control of a human arm model in the sagittal plane, in: Proceedings of the ISNN '06, Lecture Notes in Computer Science, vol. 3973, Springer, Berlin, 2006, pp. 792–798.
- [38] **R.M. Sanner, M. Koshi**, A mathematical model of the adaptive control of human arm motions, *Biol. Cybern.* 80 (1999) 369–382.
- [39] **A.C. Schouten, E. de Vlugt, F.C.T. van der Helm, G.G. Brouwn**, Optimal posture control of a Musculo-Skeletal arm model, *Biol. Cybern.* 84 (2001) 143–152.
- [40] **S.H. Stroeve**, Impedance characteristics of a neuromusculoskeletal model of the human arm. I. Posture control, *Biol. Cybern.* 81 (1999) 475–494.
- [41] **E. Todorov, W. Li**, A generalized iterative LQG method for locally-optimal feedback control of constrained nonlinear stochastic systems, in: Proceedings of the ACC '05, vol. 1, IEEE, New Jersey, 2005, pp. 300–306.
- [42] **DavoudabadiFarahani,S.,Bertucci,W.,Andersen,M.S.,deZee,M.,Rasmussen,J.,** 2015.Prediction of crank torque and pedal angle profiles during pedaling movements by biomechanical optimization.*Struct.Multidiscip.Optim.*51(1), 251–266.
- [43] **Wagner,D.W.,Divringi,K.,Ozcan,C.,Grujicic,M.,Pandurangan,B.,Grujicic,A.,** 2010.Combined musculo skeletal dynamics/structural finite element analysis of femur physiological loads during walking.*Multidiscip.Model.Mater.Struct.*6 (4), 417–437.

- [44] **Mellon, S.J., Grammatopoulos, G., Andersen, M.S., Pegg, E.C., Pandit, H.G., Murray, D. W., Gill, H.S., 2013.** Individual motion patterns during gait and sit-to-stand contribute to edge-loading risk in metal-on-metal hip resurfacing. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part H: J. Eng. Med.* 227, 799–810.
- [45] **Ali, N., Andersen, M.S., Rasmussen, J., Robertson, D.G.E., Rouhi, G., 2013.** The application of musculo skeletal modeling to investigate gender bias in noncontact ACL injury rate during single-leg landings. *Comput. Methods Biomech. Biomed. Eng.* 17, 1602–1616.
- [46] **Rasmussen, J., Christensen, S.T., 2005a.** Musculo skeletal modeling of gress with the AnyBody modeling system. *Trans. J. Passeng. Cars: Electron. Electr. Syst.*, 822–828.
- [47] **Nakashima, M., Komura, T., 2010.** An analysis of muscle load on the erector spinae of a pregnant woman. *J. Biomech. Sci. Eng.* 5(4), 357–367.
- [48] **Pontonnier, C., de Zee, M., Samani, A., Dumont, G., Madeleine, P., 2014.** Strengths and limitations of a musculo skeletal model for analysis of simulated meat cutting tasks. *Appl. Ergon.* 45(3), 592–600.
- [49] **Rasmussen, J., Christensen, S.T., Gföhler, M., Damsgaard, M., Angeli, T., 2004.** Design optimization of a pedaling mechanism for paraplegics. *Struct. Multidiscip. Optim.* 26(1–2), 132–138.
- [50] **Rasmussen, J., Damsgaard, M., Christensen, S.T., 2000.** Inverse–inverse dynamics simulation of musculo-skeletal systems. In: *Proceedings of the 12th Conference of the European Society of Biomechanics*. Royal Academy of Medicine in Ireland. ISBN: 0-9538809-0-7.
- [51] **Holmberg, J., Wagenius, P., 2003.** A biomechanical model of a double-poling skier. In: P. Milburn (Ed.), *Proceeding of the XIXth Congress International Society of Biomechanics on the Human Body in Motion*. University of Otago Dunedin, New Zealand.
- [52] **Maseleno, A., Hasan, M.M., 2012.** Move prediction in start kicking of sepak takraw game using Dempster-Shafer theory. In: *Proceeding of the IEEE International Conference on Advanced Computer Science Applications and Technologies (ACSAT)*, 376–381.
- [53] **Abdel-Malek, K., Arora, J.S., 2013.** *Human Motion Simulation: Predictive Dynamics*. Elsevier, USA.

- [54] **Rosheim M.**, 2006. Leonardo's Lost Robot, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- [55] **Iwata, H., Sugano, S.**, 2009. "Design of Human Symbiotic Robot TWENDY-ONE," Proc.of IEEE Int. Conf. On Robotics and Automation (ICRA), pp. 580 – 586.
- [56] **Asfour, T., Bern, K., Dillman, R.**, 2000. "The Humanoid Robot ARMAR III: Design and Control," The First IEEE-RAS Int. Conf. on Humanoid Robots (HUMANOIDS 2000). MIT, USA.
- [57] **Stuckler, J., Schreiber, M., Behnke, S.**, 2009. "Dynamaid, an Anthropomorphic Robot for Research on Domestic Service Application," 4th European Conference on Mobile Robot (ECMR '09). Mlini/Dubrovnik, Croatia.
- [58] **Lee, M.K., Forlizzi, J., Rybski, P.E., Crabbe, F., Chung, W., Finkle, J., Glaser, E., Kiesler, S.**, 2009. "The Snakbot: Documenting the Design of a Robot for Long-Term Human Robot Interaction," Proc. of Human Robot Interaction, pp. 7-14.
- [59] Development of a New Mobile Humanoid Robot for Assisting Elderly People Zulkifli Mohameda,b,\*, Genci Capia aIntelligent Robotic Lab, Dept. of Electrical & Electronic System Eng., Faculty of Engineering, University of Toyama 3190 Gofuku, 930-8555, Japan by Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknologi MARA, 40450, Shah Alam Selangor, Malaysia
- [60] **Lacey, G., Kenneth, M., Howe, D.**, 1998. The Application of Robotics to a Mobility Aid for the Elderly Blind, Journal of Robotics and Autonomous Systems 23, p. 245-252.
- [61] **Hoyer, H.**,1995. The OMNI wheelchair, Service Robot: An International Journal 1, pp. 26-29
- [62] **Lehrbaum, R.**, 1992. "PC/104 standard: A Modular Approach to Embedded System Design," Wescon Conf. Record, pp. 494-500.
- [63] **Braüne W, Fischer O. The Human Gait.** (Çeviri: Maquet P, Furlong R). Heidelberg, Almanya: Springer-Verlag; 1987.
- [64] **Aritan S, Çilli M, Amca AM. HUBAG: Üç boyutlu hareket analizi yazılımı.** Hacettepe J. of Sport Sciences 2010;21(1):30–6.
- [65] **Inal, HS.** Spor biyomekanigi temel prensipler 1. Basım. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım; 2004.
- [66] **Knudson D. Fundamentals of Biomechanics.** New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers; 2003. p.5.

- [67] **Ak E, Göktepe A, Çiçek S, Karabörk H, Korkusuz F.** Photogrammetric analysis of penalty kick in soccer. *Journal of Sports Science and Medicine* 2007;Suppl 10:96–8.
- [68] **Leser R, Baca A, Ogris G.** Local positioning systems in (game) sports. *Sensors* /Basel) 2011;11:9778–97. **CrossRef**
- [69] **Erdmann WS.** Gathering of kinematic data of sport event by televising the whole pitch and track. In: Rodano R, ed. *ISBS '92 Proceedings of the 10th Symposium of the International Society of Biomechanics in Sports*. Milano, Italy: Edi-Ermes; 1992. p.159–62.
- [70] **Pers J, Bon M, Kovacic S, Sibila M, Dezman B.** Observation and analysis of large-scale human motion. *Hum Mov Sci* 2002;21(2):295–311.
- [71] **8. Roberts SP, Trewartha G, Higgitt RJ, El-Abd J, Stokes KA.** The physical demands of elite English rugby union. *J Sports Sci* 2008;26(8):825–33. **CrossRef**
- [72] **Ödek U, Ak E, Korkusuz F.** Sporda Hareket Analizi. III. Egzersiz Fizyolojisi Sempozyumu, 2011. p.28–29.
- [73] **Bendijaballah MZ, Shirazi-Adl A, Zukor DJ.** Finite element analysis of human knee joint in varus-valgus. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 1997;12(3):139–48.
- [74] **Brandsson S, Karlsson J, Swärd L, Kartus J, Eriksson BI, Kärrholm J.** **Kinematics** and laxity of the knee joint after anterior cruciate ligament reconstruction: pre- and postoperative radiostereometric studies. *Am J Sports Med* 2002;30(3):361–7.
- [75] **Malinzak RA, Colby SM, Kirkendal DT, Yu B, Garrett WE.** A comparison of knee joint motion patterns between men and women in selected athletic tasks. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2001;16(5):438–45.
- [76] **Ramsey DK, Wretenberg PF.** Biomechanics of the knee: methodological considerations in the in vivo kinematic analysis of the tibiofemoral and patellofemoral joint. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 1999;14(9):595–611.
- [77] **Hatze H. Letter:** The meaning of the term “biomechanics”. *J Biomech* 1974;7(2):189–90.
- [78] URL-2, <http://www.kol.gen.tr/kol-kemikleri.html> Kol Kemikleri. (21 Temmuz 2017).
- [79] **Drake, R., L., Vogl, W., and Mitchell, A., W., M., (2004).** *Gray's Anatomy for Students*, Churchill Livingstone Elsevier, Canada.

- [80] National Aeronautics and Space Administration. (2013). MAN-SYSTEMS INTEGRATION STANDARDS, Tarih:01.02.2013, Adres: <http://msis.jsc.nasa.gov/sections/section03.htm>
- [81] **KAPTI, A., O.**, (2001). İnsan alt ekstremitesinin incelenmesi ve aktif diz üstü protezi tasarımı, Doktora tezi, U.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü,
- [82] **CHANDLER, R., F., CLAUSER, C., E., MCCONVILLE, J., T., REYNOLDS, H., M., YOUNG, J., W.**, (1975). Investigation of inertial properties of the human body, Aerospace Medical Research Laboratory, DOT-HS-017-2-315-1A, 1-162, Washington D.C..
- [83] **GORDON, D., ROBERTSON, E., CALDWELL, G., E., HAMILL, J., KAMEN, G., WHITTLESEY, S., N.**, (2004).Research methods in biomechanics, Human Kinetics, USA,

## ÖZGEÇMİÇ

Yıldırım KARAYEL 02.02.1990 tarihinde Diyarbakır'ın Hani ilçesinde doğdu. 1996-2007 yılları arasında ilk ve ortaöğrenimini Diyarbakır'da tamamladı. 2009-2010 öğrenim yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünü kazandı ve 05.02.2015 tarihinde üniversite eğitimini tamamladı. Üniversite eğitimi boyunca 2010 yılında Mercedes-Benz'te gönüllü stajyerlik, 2011 yılında ATECO firmasında, 2012 TEMSAN'da resmi stajlarını yapmıştır. Üniversite hayatından sonra çeşitli eğitimlere katıldı ve 04.2015'te KARAYEL MÜHENDİSLİK Ltd. Şti. kurdu ve 10.2015 yılında bu görevine son verdi. 04.02.2016 yılında Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Konstrüksiyon ve İmalat alanında yüksek lisansa başladı ve 15.09.2017-07.01.2018 tarihleri arasında Erasmus + staj etkinliği dahilinde Polonya'nın Czystochowa University of Technology' de "gözenekli ortamlarda akış hidrodinamisinin ve 2-fazlı bir gaz-sıvı sisteminin ısı transferinin araştırılması" konulu projede çalışmıştır. Halen Biyomekanik konulu yüksek lisansına devam etmektedir.