

# ROBOTÜRK SA-2 SEKİZ BACAĞLI ÖRÜMCEK ROBOTUN TASARIMI VE DENETİMİ

Servet SOYGÜDER Hasan ALLİ

Makine Mühendisliği Bölümü  
Mühendislik Fakültesi  
Fırat Üniversitesi, 23279, Elazığ

e-posta: [ssoyguder@firat.edu.tr](mailto:ssoyguder@firat.edu.tr)

e-posta: [halli@firat.edu.edu.tr](mailto:halli@firat.edu.edu.tr)

Anahtar sözcükler: Örümcek robot, Mobil robot, PLC

## ABSTRACT

*This study describes a eight-legged walking ROBOTÜRK SA-2 spider robot based on the features of a creatural spider. The walking robot is designed with spider-like leg structure. Since a creatural spider walks in a style of 4 legged support (L1 and L3 of the left side and R2 and R4 of the other side) and the others moves forward, ROBOTÜRK SA-2 eight-legged walking robot has been developed by designing a novel motion mechanism to realize this walking motion only using one actuator. In the second step, the roles of legs change vice versa.*

*First, the eight-legged walking spider robot was modeled on Solid Works and then the animation of the model was realized to ensure the accurate walking patterns and more stable walking. Based on this model, the novel prototype of the eight-legged walking spider robot was constructed. In order to give more flexibility to the legs and mimic muscles, two springs were mounted to each leg. The control of the system was realized by using PLC(Programmable Logic Controller). To verify to walking performance, the experimental results were obtained. Consequently, the eight-legged walking spider robot proposed in this paper is believed to be the first design specifically for having novel motion mechanism and minimum number of actuators.*

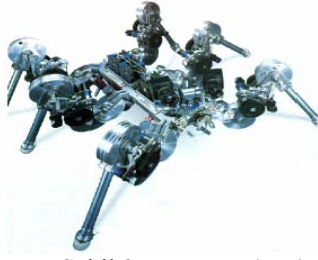
## 1. GİRİŞ

Çok bacaklı robotlara örnek olarak en tanınmış altı bacaklı robot RHEX robotudur [1]. RHEX robotu çok basit bir mekanizmaya sahip olmasına rağmen çok amaçlı hareket kabiliyeti olan yüksek performanslı 6 bacaklı bir robottur (Şekil 1.). Ayrıca 6 bacaklı robotlara FZI (Forschungszentrum Informatik) gurubunun gerçekleştirdiği Lauron II [2], MIT(Massachusetts Institute of Technology) üniversitesinin gerçekleştirdiği Genghis robotlarını (Şekil 2-3.) örnek olarak verilebilir. Lauron II

robotunun her bir bacağı 2 serbestlik dereceli bir mekanizmadan oluşmaktadır. Robot toplam olarak 12 adet tahrik elemanı ile denetlenmiştir. Genghis robotunun her bir bacağı 1 serbestlik dereceli bir mekanizma olup sistem toplam olarak 6 adet motor ile denetimi gerçekleştirilmiştir. Sekiz bacaklı örümcek robot olarak Robug-III (Şekil 4.) en tanınmış robotlardan birisidir [3]. Robug-III robotu her bir bacağına 2 adet motor olmak üzere toplam 16 adet motor ile tahrik edilmiştir. Mobil robotlar, üzerinde taşıdıkları güç kaynaklarını minimum oranda harcamak ve yüksek bir performans ile çalışmak zorundadır. Bu da minimum sayıda tahrik elemanı kullanımı ve uygun mekanizma tasarımı ile gerçekleştirilebilir. Bu amaçla bu çalışmada, savunma sanayi ve doğal afet esnasında kullanılmak amacı ile sekiz bacaklı ROBOTÜRK-SA2 örümcek robot gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. (Şekil 5.). Yeni bir tasarım olarak gerçekleştirilen bu robotta amaç, yukarıda anlatılan, robotik çalışmalarını daha esnek hale getirerek hem enerji maliyetini minimuma indirmek hem de robotun tahrik eleman sayısını azaltarak kontrolünü çok daha da kolaylaştırmaktır. ROBOTÜRK-SA2 örümcek robotun en önemli özelliği tüm ayaklarının ve eklemlerinin sadece bir adet tahrik elemanı (motor) kullanarak, doğadaki örümceklerin karakterinde yürüyebilen bir serbestlik dereceli bir mekanizmadan oluşmasıdır.



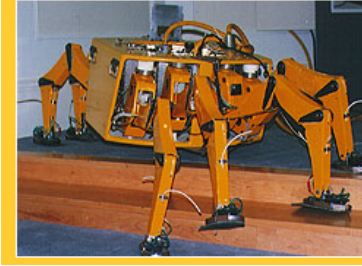
Şekil 1. Rhex



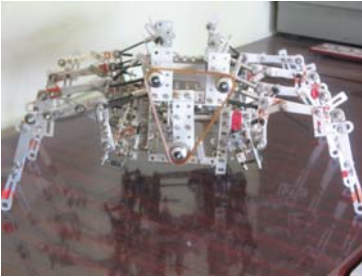
Şekil 2. LauronII (FZI)



Şekil 3. Genghis (MIT)



Şekil 4. Robug III



Şekil 5. ROBOTÜRK SA-2

## 2. ROBOTÜRK SA-2 ÖRÜMCEK ROBOTUN TASARIMI

ROBOTÜRK-SA2 MIT(Massachusetts Institute of Technology) ve NASA(National Aeronautics and Space Administration) vb- yerlerde tasarlanan çok ayaklı örümcek robot çalışmalarına daha fazla yenilikler eklenerek gerçekleştirilen çok ayaklı örümcek robota verilen isimdir (Şekil 6-7.). ROBOTÜRK-SA2 örümcek robotta gerçekleştirilen yenilikçi mekanizmalar şunlardır;

\*Tahrik eleman (motor) sayısı

\*Örümceğin sırt kısmına yerleştirilen kam mekanizması

\*Bacak eklemlerine kas görevi yapan yay elemanlarının yerleştirilmesi

\*Bacakların adım atma karakterlerinin doğadakilere benzer olması



Şekil 6. ROBOTÜRK SA-2

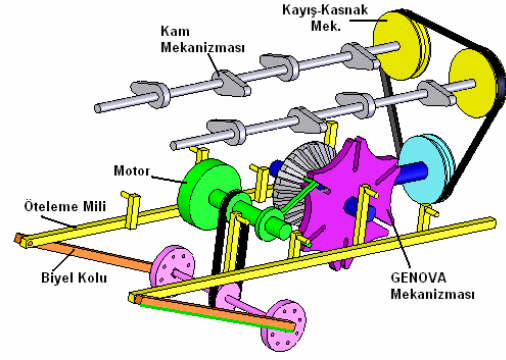


Şekil 7. ROBOTÜRK SA-2

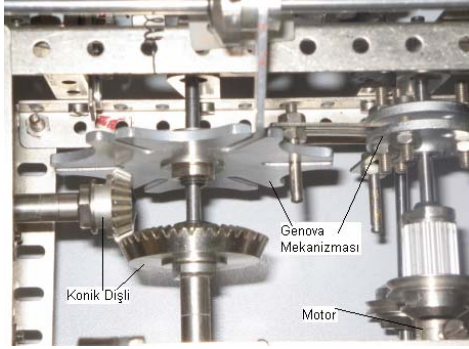
### 2.1. TAHRİK MEKANİZMASI TASARIMI

Örümcek robotun en önemli özelliği sekiz adet bacağı ve 16 adet eklemin sadece bir adet tahrik motoru kullanarak, doğadaki örümcekler gibi yürüme karakterine sahip olan (Şekil 13.), tek serbestlik dereceli bir mekanizmadan oluşmasıdır. Tüm bacaklara ve eklemlere hareket, tek bir motorun tahriki ile genova, kam mekanizmaları ve yay elemanları ile verilmiştir. Sekiz bacaklı örümcek robotun Şekil 13' de de verilen karakterlere bağlı olarak doğadakilere gibi sadece bir adet redüktörlü DC motor ile yürütülmüştür. Şekil 13' de ki işaretli bacakların yer ile temasının sağlanması ve diğer bacakların yerden yukarı doğru kaldırılması bir DC motorun kam mekanizmasını, genova mekanizması ile tahrik etmesi sonucu gerçekleşmektedir. Şekil 8a ve 8b' de de görüldüğü gibi bir tek DC motoru ile tahrik edilen kam mekanizmasının üzerine yerleştirilen her bir kam elemanı, bir motor işlevi yaparak bacakların yer ile temasını sağlamaktadır. Ayrıca aynı şekillerde

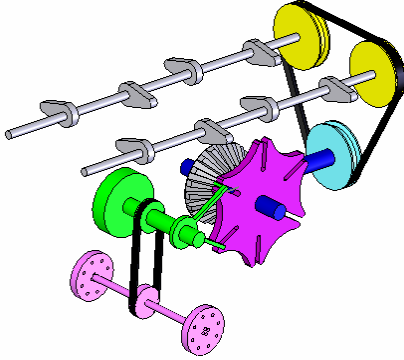
DC motorun her bir 360° lik devrinin sadece 120° lik kısmında genova mekanizmasına hareket iletmekte olup kam mekanizmaları da genova dan aldığı hareket ile bacakların bir eşgüdüm şeklinde yer ile teması sağladığı görülmektedir. Aynı zamanda aynı motor bir kayış-kasnak mekanizması ile sürekli olarak her bir devrinde, yer ile teması kesilen bacaklara biyel kolu (Şekil 9a-9b) vasıtası ile öteleme hareketi vererek örümcek robotun yürüme işlemi sadece tek bir DC motorla gerçekleştirilmiştir.



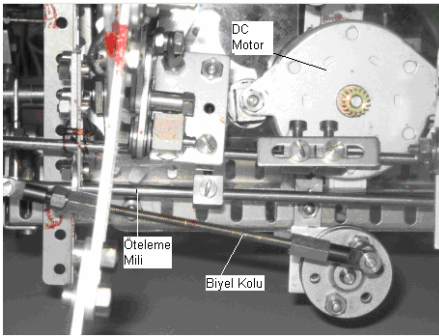
Şekil 9b. Biyel Kolumun SolidWorks ile Modellenmesi



Şekil 8a. Genova Mekanizması



Şekil 8b. Genova Mekanizmasının SolidWorks ile Modellenmesi



Şekil 9a. Biyel Kolu

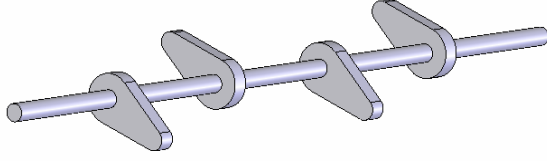
Motor sayısının minimize edilmesi ile elde edilen sonuçlar;

- Motor sayısının azaltılması ile enerji ihtiyacı minimize edilmiştir.(Literatürde (Tablo 2.) verilen çalışmalarda 6 ve 8 ayaklılarda minimum 6 yada 8 motor kullanılmış iken, bu çalışmada aynı karakterde ki robotun tasarımı 1 adet motor ile gerçekleştirilmiştir.)
- Eğer her bacak ve eklemleri için ayrı birer motor kullanılmış olması durumunda, minimum 16 adet tahrik elemanı (motor) gerekecekti. Bu da hem robotun kontrolünü zorlaştıracak hem de enerji tüketimini arttıracaktı.
- Sistemin daha esnek olarak yapılmasını sağlamıştır.
- Robotun denetimi çok daha kolaylaştırmış olup sisteme tek giriş ile kontrol sağlanmıştır.
- Maliyet minimize edilmiştir.

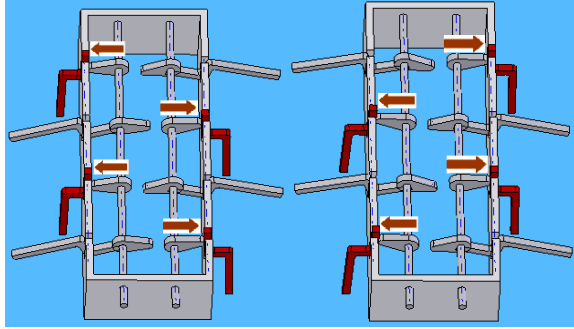
## 2.2.SIRT BÖLGESİNE YERLEŞTİRİLEN MEKANİZMASI KAM

Kam mekanizması robotun yürüyüş döngüsünü oluşturan bacakların yer ile temasını sağlar(Şekil 10). Robotun her adım döngüsünde yürüme karakterine (Şekil 13.) bağlı olarak bazı bacakların yer ile temasını sağlarken bazı bacaklarında yer ile temasını keser(Şekil 11). Kam mekanizmasının kullanılması ile elde edilen yenilikçi buluşlar;

- Her bir bacağın yer ile temasının sağlanması kam elemanları ile gerçekleştirildiğinden, her bir bacak için ayrı ayrı motor kullanılmaya ihtiyaç kalmamıştır.
- Bacaklardaki motorların oluşturacağı teknik arızalara karşın tüm bacaklar sadece bir adet motorun kam mekanizmasına verdiği hareket ile, örümceklerin yürüme karakterine bağlı olarak bacakların eşgüdümlü adım atma hareketlerini sağlamıştır.



Şekil 10. Örümceğin sırt kısmında bulunan kam mekanizması

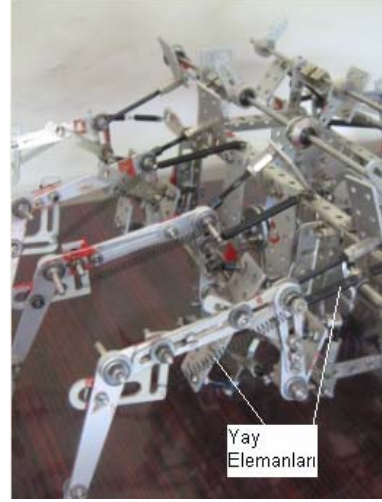


Şekil 11. Robotun her adım döngüsünde kam elemanlarının bacaklarda oluşturdukları itme kuvvetlerinin doğrultu ve yönleri a) Birinci Adım b) İkinci Adım

### 2.3. BACAKLARDA KAS GÖREVİNİ YAPAN YAY ELEMANLARI

Yay elemanları ise bacakların kam mekanizmalarından aldığı hareketi eklemlere iletir (Şekil 12). Kam ve yay elemanlarının oluşturulması sistemde tahrik eleman sayısının azaltılmasına ve robot denetiminin kolaylaştırılmasına sebep olmuştur. Yay elemanının kullanılması ile elde edilen yenilikçi buluşlar;

- Bacak eklemlerinde yay elemanlarının kullanılması ile doğadaki gibi bacaklara kas özelliği verilmiştir.
- Canlılardaki kasların kasılıp ve gevşemesi ile elde edilen enerji gibi robot ağırlığından dolayı yay elemanlarının kısılp ve uzaması ile oluşan potansiyel enerji ile eklemlere hareket aktarılmaktadır.
- Vücut dengesini sağlayan kaslar gibi yay elemanları da bacaklara bir dirençlilik vererek robotun stabilitesini (dengesini) sağlamaktadır.

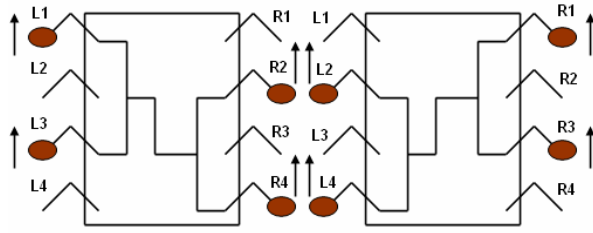


Şekil 12 .Bacak ve eklemlerinde kas görevi yapan yay elemanları

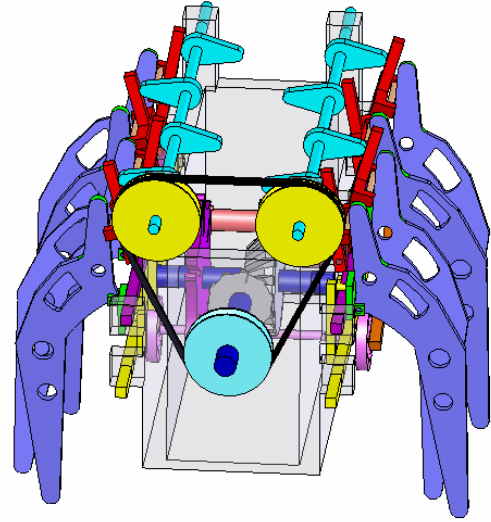
### 2.4. YÜRÜYÜŞ KARAKTERİ

Sekiz bacaklı örümcek robotta her adım döngüsünde dört ayak sürekli yerde kalarak denge sağlanmaktadır. Şekil.13' de de görüldüğü gibi birinci adımda sol tarafta L1 ve L3 nolu bacaklar ve sağ tarafta R2 ve R4 nolu bacaklar yerde iken ikinci adımda sol tarafta L2 ve L4 nolu bacaklar yerde iken sağ tarafta R1 ve R3 nolu bacaklar yere temas halindedir. Bu döngünün sürekli tekrarlanması ile yürüme işlemi gerçekleştirilmektedir. Burada en önemli olay Şekil 14' de de görüldüğü gibi örümcek robotun bacaklarının hareketsiz mil (fixed) üzerindeki bacak tutuculara bağlı olmasıdır. Bacak tutucular bir bağlama çubuğu ile öteleme miline bağlı haldedirler. Öteleme mili hareketini biyel kolundan almaktadır. Biyel kolunun bir tam devri ile öteleme milleri başlangıç referans noktasından 0,02 m ileri hareket ederek, örümceğin yürüme karakterine göre ayaklara x eksenli boyunca  $\pm 15^\circ$  açısız konum sağlayarak örümcek robotun öteleme adımları gerçekleştirilmektedir. Bacakların yerden yukarı doğru hareketleri ise kam mekanizmaları ile gerçekleştirilmiştir. Kam mekanizmasının bir tam tur ( $360^\circ$ ) dönmesi ile o anda yerle temas eden bacaklar  $0^\circ$  ile  $+56^\circ$  arasında yerden yukarı doğru hareket ederek yer ile temaslarını keserler (Şekil 11). Şekil 14' de de görüldüğü gibi, her bacak tutucuya ait bağlama çubukları aynı uzunlukta olmayıp bacak tutuculara farklı noktalardan bağlanmıştır. Bağlama çubuklarının farklı uzunlukta olmaları ve belirli bir yürüme karakterini oluşturacak şekilde bacak tutucunun farklı noktalarına bağlanmaları, bacaklara farklı yönde dönme hareketi sağlayarak doğadaki gerçek örümcek yürüyüş karakterini oluşturmaktadır. Bacakların her bir adım döngüsünde ki dönme doğrultuları Şekil 14' de oklarla gösterilmiştir.

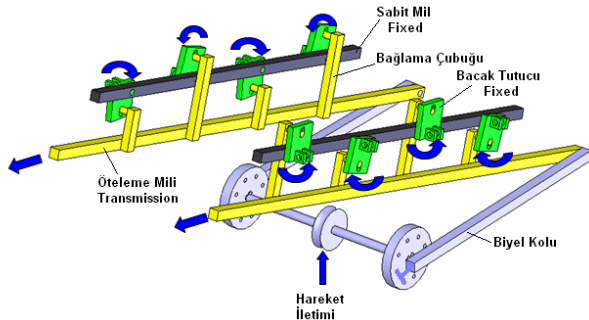




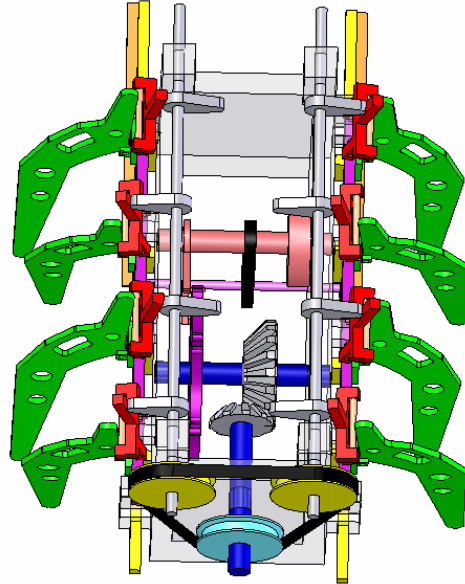
Ayak No	Sol				Sağ			
	L1	L2	L3	L4	R1	R2	R3	R4
Adım-1	●	○	●	○	○	●	○	●
Adım-2	○	●	○	●	●	○	●	○



Şekil.13. Sekiz Ayaklı Örümcek robotun, doğadakiler gibi her adım döngüsündeki yürüyüş mekanizması



Şekil 14. Sekiz Ayaklı Örümcek robotun, doğadakiler gibi her adım döngüsündeki yürüyüş mekanizması



Şekil 15. ROBOTÜRK-SA2 örümcek robotunun SolidWorks ile modellenmesi

### 3. ROBOTÜRK SA-2 ROBOTUNUN PROTOTİPİ

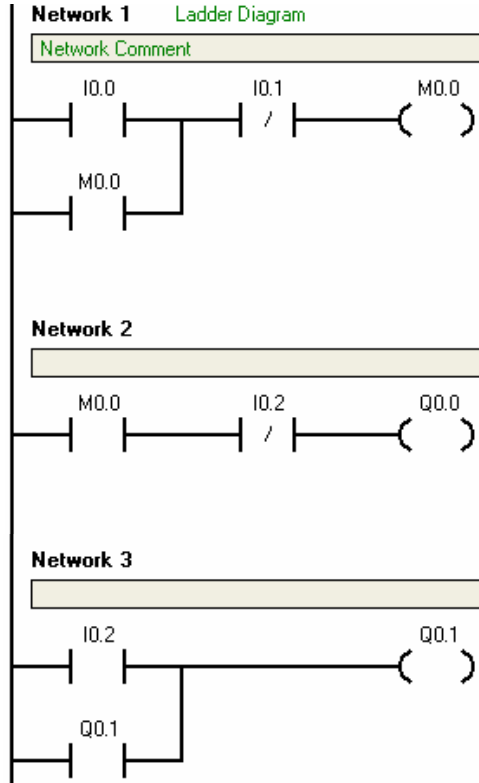
Robotun tasarımına geçmeden önce bilgisayar ortamında üç boyutlu (3D) model analizi gerçekleştirilerek boyutlandırılması yapılmıştır (Şekil 15). Robotun animasyonları SolidWorks-COSMOSMotion programı ile gerçekleştirilerek tasarımda oluşabilecek hatalar önceden belirlenmiştir.

#### 4. ROBOTÜRK SA-2 ROBOTUNUN PLC İLE DENETİMİ

Robotun yürüme işlevinde hareket etmesi ve durması için mekanik anahtarlar(swiches) ve sensör kullanıldı. Robot bacaklarının ileri-geri adım atma hareketleri, tek bir DC motoruna, start/stop anahtarlarından ve cisim algılayıcı sensörden(fotocell) gelen sinyaller ile gerçekleştirilmiştir. Robotun denetimi S7-200 Siemens Micro PLC Set ile yapılmıştır. Denetimde yazılım olarak Ladder Diagram (Şekil 16) programı PC ortamında oluşturularak PLC setine yüklenmiştir. Bu program start/stop anahtarlarının ve sensörün oluşturduğu giriş sinyalleri vasıtası ile redüktörlü DC motorunun denetimi içindir.

Tablo 1. Ladder Diagram Programında Girişler-Çıkışlar

Girişler		Çıkışlar	
10.0	Start Buton (Mekanik Switch)	M0.0	Dahili Röle
10.1	Stop Buton (Mekanik Switch)	Q0.0	İleri hareket (DC Motor)
10.2	Cisim algılayıcı sensör (Fotocell)	Q0.1	Geri hareket (DC Motor)



Şekil 16. Ladder Diyagramı

#### 5. DENEYSEL SONUÇLAR

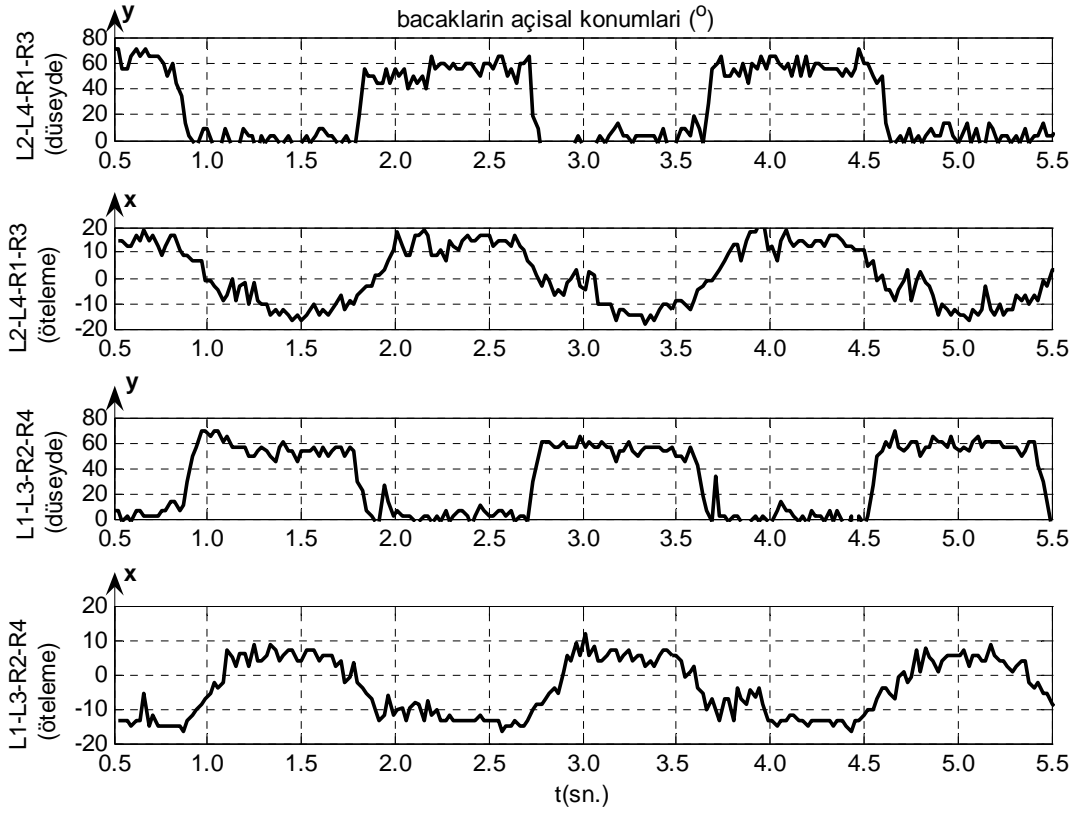
DeneySEL çalışmada, örümcek robotun fiziksel olarak sayısız yürüme işlemi gerçekleştirilmiştir. Örümcek robotun her bir bacağına x-y eksenlerine göre açılabilir konumları elde edilmiştir. Bu değerler sensör olarak kullandığımız potansiyometreler ile gerçekleştirilmiştir. Bu açılabilir dotaların alımında analog/dijital dönüştürücü kart (NEMA4X-SCADA) ve dijital osilaskop (FLUKE43B) kullanılmıştır. Robotun performansı Şekil.17’ de gösterilmiştir. Örümcek robotun her bir bacağı yürüme esnasında iki farklı konumda hareket etmektedir. İlk hareket y eksenini boyunca 0° ile +56° arasında yerden yukarı doğru hareket etmektedir. Daha sonra ikinci hareket ise x eksenini boyunca ± 15° öteleme hareketi yaparak bir adım atma olayı gerçekleştirilmektedir.

#### 6. SONUÇLAR

Bu çalışma doğadaki sekiz bacaklı örümceklerden esinlenerek ROBOTÜRK SA-2 adlı sekiz bacaklı bir örümcek robot yapılmıştır. Bilindiği gibi literatürde bu alanda birçok çalışma mevcuttur. Artık robotlar günümüz teknolojisinin stratejik bir ürünü haline gelmiştir. Bu amaçla algılayabilen, akıl yürütebilen, karar veren ve bu karar yönünde hareket eden çok ayaklı robotlar ve mekanizmalar uzaysal çalışmalarda, deprem gibi felaketler sonucunda canlıların yaşamsal bilgilerinin tespitinde, savunma sanayisinde, mayın ve bomba gibi patlayıcı maddelerin tespit ve imhasında, terörle mücadelede, madencilikte, tıpta ve daha birçok alanda kullanılan çağdaş otomasyon teknolojisinin temel aygıtlarıdır. En önemlisi de, bu gibi robotların bu belirtilen işlevleri başarı ile yerine getirmesidir. Bu başarıda, robotun çok daha kolay bir şekilde kontrolünün yapılmasını sağlayacak mekanizma tasarımının gerçekleştirilmesine ve tükettiği enerji miktarının minimize edilerek kendi kendini denetleyebilecek bir model oluşturmaya bağlıdır. Sekiz bacaklı ROBOTÜRK SA-2 robotu sadece bir adet DC motor ile tahrik edilecek şekilde bir mekanizma geliştirilmiştir. Bu hem enerji tüketiminin azalmasına hem de robotun denetiminin çok daha basitleştirilmesine sebep olmuştur. Ayrıca Tablo 2’ de hem ROBOTÜRK SA-2 robotunun hem de diğer robotların teknik özellik farkları gösterilmiştir.

#### 7. TEŞEKKÜR

Bu proje III. Uluslararası Buluş Yarışması’ ında Mansiyon ödülüne değer görülmüştür.



Şekil 17. Örümcek robotun her bir bacağına göre x-y eksenlerine göre açısal konumları(Sırasıyla, L2-L4-R1-R3 nolu bacakların y eksenine göre  $0^\circ$  ile  $+56^\circ$  arasında yerden yukarı doğru hareketindeki açısal konumu. Sonra x eksenini boyunca  $\pm 15^\circ$  öteleme hareketi. Daha sonra L1-L3-R2-R4 nolu bacakların x-y eksenlerine göre açısal konumları. )

Tablo 2. Motor sayısı, bacak sayısı and robotların hızları(Angle[4], 1989; Bares[5], 1999; Barfoot[6], 2006; Huang[7], 2003; Lin[8], 2006; Lin[9], 2005;Luk[3], 2005; )

Robotlar	Motor Sayısı	Bacak Sayısı	Hız(cm/s)
ROBOTÜRK SA-2	1	8	5.40
Rhex	6	6	45
Robug III	16	8	10.0
Dante II	6	6	1.70
Genghis	6	6	3.80
Commet	6	6	5.00

## KAYNAKLAR

1. Saranlı, U. and Buehler, M. and Koditschek, D.E. "Rhex-A simple and highly mobile hexapod robot", Int. J. Robot. Res., 20, pp. 616-631,2001.
2. Berns, K. Kepplin, V. Ilg, W. and Dillmann, R. Experiments with a stereo camera head for the local navigation of LAURON II, Forschungszentrum Informatik Karlsruhe, Germany,1993.
3. Luk, B.L. and Cooke, D.S. and Galt, S. and Collie, A.A. and Chen, S. (2005) "Intelligent legged climbing service robot for remote maintenance applications in hazardous environments" Robotics and Autonomous Systems, Vol. 53, pp. 142-152.
4. Angle, C. (1989) "A six-legged autonomous walking robot", Ph.D. thesis, Massachusetts Institute of Technology.
5. Bares, J.E. and Wettergreen, D.S. (1999) "Dante II: Technical description, results and lessons learned", International Journal of Robotics Research, Vol. 18, pp. 1-29.
6. Barfoot, T.D. and Earon, E.J.P. and Eleuterio, G.M.T.D. (2006) "Experiment in learning distributed control for a hexapod robot" Robotics and Autonomous Systems, Vol. 54, pp. 864-872.
7. Huang, Q.J. and Nonami, K. (2003) "Humanitarian mine dedecting six-legged walking robot and hybrid neuronal walking control with position/force control", Mechatronics,13, pp. 773-790.
8. Lin, P.C. and Komşuoğlu, H. and Koditschek, D.E. (2006) "Sensor Data Fusion for Body State Estimation in a Hexapod Robot with Dynamical Gaits" , IEEE Transaction on Robotics, Vol.22, No.5, October.
9. Lin, P.C. and Komşuoğlu, H. and Koditschek, D.E. (2005) "Sensor Data Fusion for Body State Estimation in a Hexapod Robot with Dynamical Gaits", Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, April 2005, Barcelona, Spain.

## ÖZ GEÇMİŞ

### Servet SOYGÜDER

23.01.1977 Van doğumlu. Van, Serhat Fen Lisesinden mezun oldu. 2001 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine

Mühendisliği Bölümünden Lisans Eğitimini birincilik ile bitirdi. 2004 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Makine Teorisi Ve Dinamiği Ana Bilim Dalı Bölümünden Yüksek Lisans Eğitimini bitirdi. Şu anda Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Makine Teorisi Ve Dinamiği ABD Bölümünde doktora eğitimini sürdürmekte ve aynı zamanda araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.

## ÖZ GEÇMİŞ

### Hasan ALLİ

16.03.1963 Elazığ doğumlu. 1984 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden Lisans Eğitimini birincilik ile bitirdi. 1992 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans Eğitimini tamamladı. 1997 yılında Doktora eğitimini ABD' de SUNY at Buffalo üniversitesinde tamamladı. Şu anda Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Makine Teorisi Ve Dinamiği Ana Bilim Dalı Bölümü Başkanı olup, 2003 yılında Doçent olmuştur.



