

TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

İNSANLIK YARARINA TEKNOLOJİ YARIŞMASI

PROJE DETAY RAPORU

PROJE KATEGORİSİ: Afet Yönetimi

PROJE ADI: Dört Bacaklı Robot Tasarımı ve Geliştirilmesi

TAKIM ADI: RoboDog

Başvuru ID: 79420

TAKIM SEVİYESİ: Üniversite ve Üzeri Seviye

İçindekiler

1. Proje Özeti (Proje Tanımı)	2
2. Problem/Sorun:	2
3. Çözüm	3
4. Yöntem	3
5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü	6
6. Uygulanabilirlik	6
7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması	6
8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar):	8
9. Riskler	8
10. Kaynaklar	9
Şekil 1: Tekerlekli ve dört bacaklı robotun aynı arazi koşulları altındaki hareketinin karşılaştırılması	3
Şekil 2: a) Robotun bacak yapısı b) Robotun tasarımının tamamı c) Robotun kinematik düzeni d) Robotun mekanik yapısının patlatılmış görünümü	3
Şekil 3: Ayak uç noktası yörüngesi	5
Şekil 4: a) Ekleme açıları b) Simülasyon modeli	5
Tablo 1: Quadruped robota ait D-H parametreleri	4
Tablo 2: Quadruped robota ait maliyet	6
Tablo 3: Quadruped robota ait iş paketleri	7
Tablo 4: Quadruped robota ait risk tablosu	8
Tablo 5: Quadruped robota ait olasılık etki matrisi	9

1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Günümüzde birçok kişi tehlikeli ortamlarda çalışmaktadırlar. İnsanlar kimyasal, radyolojik/nükleer tehlikelerin, şuan içerisinde bulunduğumuz koronavirüs salgını gibi bulaşıcı hastalıkların olduğu, arama - kurtarma ya da araştırma, keşif, gözlem amacıyla mağara, kanal, çukur gibi içerisinde nasıl bir ortamla karşı karşıya gelineceği bilinmeyen ortamlarda bulunmak durumunda kalabiliyorlar. Bu gibi ortamlarda oluşabilecek kazalar ya da bu ortamlarda insanların bulunması insan sağlığı açısından son derece tehlikeli olabilmektedir. Sorunun aşılabilmesi için gelişen teknoloji ile birlikte robotların kullanılması fikri ortaya atılmış ve bu robotlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu robotlar tasarımlarının, maliyetlerinin, kontrollerinin kolay olması nedeniyle paletli veya tekerlekli olacak şekilde yapılmışlardır. Bu amaçla kullanılacak bacaklı robotlar üzerine çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bazıları az da olsa kullanılmaktadır. Bu projede bu amaçla kullanılacak dört bacaklı bir robot üretilmesi amaçlanmıştır [1-5].

2. Problem/Sorun:

Tehlikeli ortamlarda insanlar için çalışması planlanan geleneksel tekerlekli ve paletli robotların yol koşulları için katı talepleri vardır. Zorlu arazi koşullarında örneğin çamurlu, taşlı, kumlu, fazla eğimli ya da endüstriyel tesis gibi ortamlarda merdiven çıkılmasını gerektiren arazilerde zorlanmakta veya kullanılamamaktadırlar. Örneğin tekerlekli robotlar tekerlek yarıçapından büyük engelleri aşamazlar ancak çok güçlü motorlara sahiplerse bu engelleri aşabilirler. Aynı zamanda tekerlekli ve paletli robotların hareket edeceği yüzeylerin sürekli olması gerekmektedir. Yurtdışında farklı üniversite ve kurumlarda dört bacaklı robot çalışmaları yapılmaktadır. Bunlardan bazıları geliştirme aşamasında, çok az bir kısmı ise ticari olarak satılmaktadır. Satışta olan bu robotların fiyatları yüksektir. Bu çalışmada uygun fiyata sahip bir robot geliştirilmesi

amaçlanmıştır. Bu sayede bu robotların satın alınması için yurtdışına döviz çıkışının önüne geçilmesi ve bir miktarda döviz girdisi olması hedeflenmiştir.

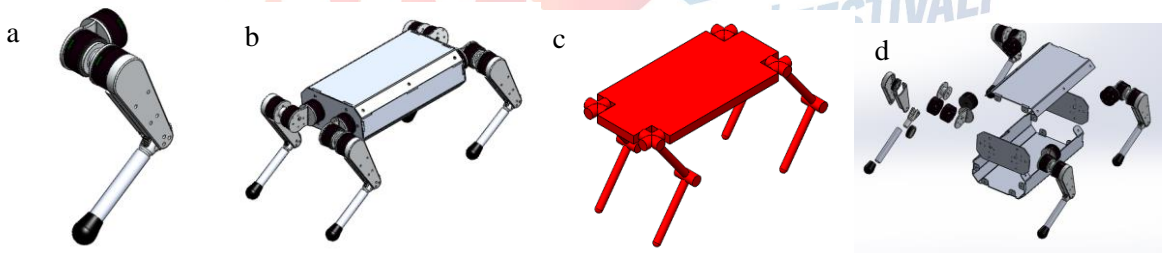
3. Çözüm

Tehlikeli ortamlarda insanlar için çalışması planlanan tekerlekli ve paletli robotlar zorlu arazi koşullarında örneğin çamurlu, taşlı, kumlu, fazla eğimli ya da endüstriyel tesis gibi ortamlarda merdiven çıkılmasını gerektiren arazilerde zorlanmakta veya kullanılamamaktadırlar. Bunun önüne geçmek için bacaklı robot tasarımı yapılması ve kullanılması amaçlanmıştır. Bu sayede zorlu koşullarda hareketin sağlanması ve insanlara gelebilecek zararın önüne geçilebilecektir. Bacaklı robotlar hareket sırasında engellerden kaçmanın yanı sıra engelleri aşma sırasında da diğer tekerlekli ve paletli robotlara göre büyük bir avantaja sahip olmasının yanı sıra mükemmel esnekliğe ve uyarılana bilirlığe sahiptir. Engellerin yüksekliği veya hareket yüzeyindeki boşluk bacak boyundan büyükse hareketleri sınırlanmaktadır. Engelleri yürüyerek aşmakta zorlanmaları durumunda zıplayarak bu engelleri aşmaları sağlanabilmektedir.



4. Yöntem

Dört ayaklı memelilerin uzuv yapısını basitleştirdikten sonra, robotun bacak yapısı dört bacaklı hayvanlar taklit edilerek üç eklemlilikte yapıda, hafif ve düşük atalet için tasarlanmıştır[6]. Robota ait görseller Şekil 1.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2: a) Robotun bacak yapısı b) Robotun tasarımının tamamı c) Robotun kinematik düzeni d) Robotun mekanik yapısının patlatılmış görünümü

Robotun kinematik yapısı ele alınırken her bacak, gövdeye monte edilmiş bir seri manipülatör gibi düşünülebilir, bu nedenle seri manipülatörler için kinematik analiz yöntemleri, bacağın kinematik problemlerini çözmek için kullanılabilir. Dört bacaklı robotun hareketi, her bir bacağın konfigürasyonuna bağlıdır. Çünkü her bacak robotun yürümesinin fiziksel kısıtlamalarını temsil eder. Robot bacağının kinematik zincirinde θ_1 , θ_2 ve θ_3 olmak üzere üç adet döner eklem vardır. İleri kinematik, bacak yapısı tasarımının D-H (Denavit-Hartenberg) parametrelerine bağlıdır; bu parametreler Tablo 1.'de gösterilmektedir.

Tablo 1: Quadruped robota ait D-H parametreleri

Eksen No	D-H Değişkenleri				Eklem değişkeni
	i	α_{i-1}	α_{i-1}	d_i	
1	90	0	0	θ_1	θ_1
2	0	α_1	0	θ_2	θ_2
3	0	α_2	0	θ_3	θ_3

Robota ait D-H parametreleri kullanılarak eklem dönüşüm matrisleri elde edilir. Denklemlerin sırasıyla çarpılmasıyla kalçadan bacak ucuna dönüşümü açıklayan denklem elde edilir. Robotun tamamı tanımlanırken, robotun gövdesinin merkezinden her bir bacağın ilk koordinat sistemine bir ilk dönüşüm olması gerekir. Bu ilk dönüşüm uygulandığında her bacak için ayrı ayrı endişelenmeden vücut konumunun ve yönünün merkezini kontrol etmeye izin verir.

Ters kinematik problemi çözmek, bacaklı robotun hareketinde referans oluşturmak için çok önemli bir konudur. Ayak ucunun konumu, yürüyüşün stabilitesini doğrudan etkiler. Ters kinematik aracılığıyla uygun ayak ucu referanslarından gerekli eklem yörüngeleri bulunur. Her eklem açısının ifadesi Denklem (1)'den türetilir.

$${}^0T^{-1}{}^0T = {}^2T{}^3T \quad (1)$$

$$L_2 \cos(\theta_2 + \theta_3) + L_1 \cos\theta_2 = p_x \sin\theta_1 + p_y \sin\theta_1 \quad (2)$$

$$L_2 \sin(\theta_2 + \theta_3) + L_1 \sin\theta_2 = p_z \quad (3)$$

$$p_x \sin(\theta_1) - p_y \cos\theta_1 = 0 \quad (4)$$

Denklem (2), (3), (4) kullanılarak eklem açıları aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{p_y}{p_x} \quad (5)$$

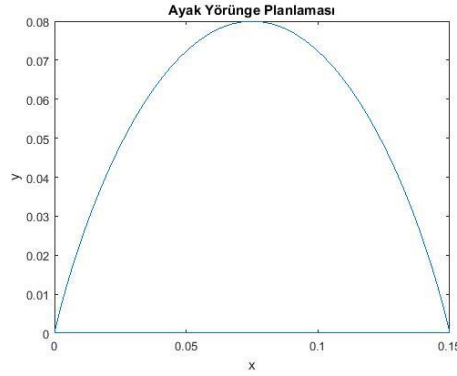
$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{AL_2 \sin\theta_3 - p_z(L_2 \cos\theta_3 + L_1)}{-p_z L_2 \sin\theta_3 - A(L_2 \cos\theta_3 + L_1)} \right) \quad (6)$$

$$\theta_3 = \cos^{-1} \left(\frac{A^2 + p_z^2 - L_2^2 - L_1^2}{2L_1 L_2} \right) \quad (7)$$

$$A = p_x \sin\theta_1 + p_y \sin\theta_1 \quad (8)$$

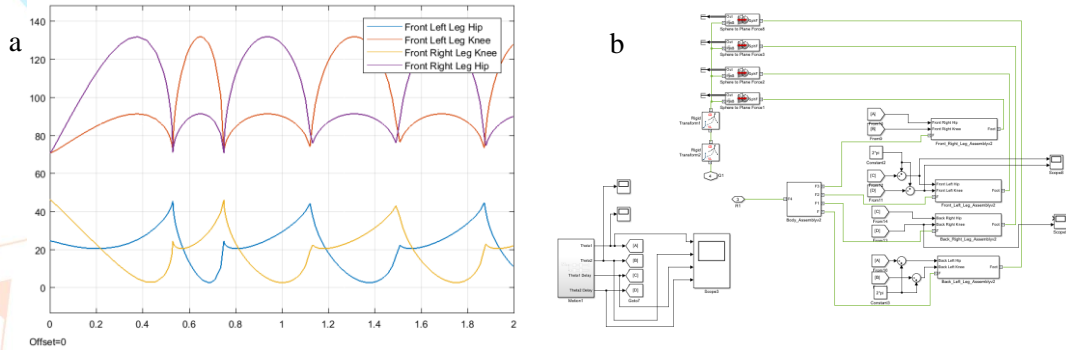
Uzayda tasarlanan ayak uç noktaları yörüngesi belirli gereksinimleri karşılamalıdır. Ayak uç noktasının, engellerle veya yerle çakışmayacağından emin olmak için havalanırken belirli bir arazi açıklığına ulaşması gerekir; ayak uç noktasının iyi başlangıç ve iniş özelliklerine sahip olmasını sağlamak için başlangıç ve iniş noktalarının konumu, hızı ve ivmesinin bilinmesi gerekir ve ayrıca ayak uç noktasının uzayda geçeceği birkaç noktayı da onaylamamız gerekir [7-8]. Bu koşulları sağlayacak denklem altıncı dereceden bir polinom olacaktır. Bu polinoma gerekli başlangıç, iniş ve ayağın maksimum yüksekliğe ulaştığı andaki değerlerin dahil edilmesiyle aşağıdaki ayak uç noktasına ait yörünge bulunur.

$$\begin{cases} x(t) = 4.3732t^3 - 9.3711t^4 + 5.3549t^5 \\ y(t) = 11.953t^3 - 47.98t^4 + 68.5429t^5 - 32.6395t^6 \end{cases} \quad (9)$$



Şekil 3: Ayak uç noktası yörüngesi

Robotun mekanik tasarımını da içeren dinamik davranışlar, cisme etkiyen kuvvetler ve sistemin hareketini gözlemlemek için Solidworks'te tasarlanan model Matlab/Simulink Simscape Multibody kütüphanesi kullanılarak Simulink ortamına aktarılmıştır. Robotun hareketinin öncelikle tek bir yönde olması planlanmıştır. Simülasyon için Şekil 7.'deki gibi bir model oluşturulmuştur. Simülasyon sırasında ayak uç noktasının planlanan yörünge sırasında hareketi sırasında eklem açıları ters kinematik ile bulunmuş, bu değerler robotun hareketi için giriş değerlerini oluşturmaktadır. Hareket sırasında eklem açılarında oluşabilecek hataları en aza indirmek için bir Model Predictive Control(MPC) kullanılmaktadır. Bu kontrolör ile ters kinematik sonucu bulunan açılar ve robotun hareketi sırasında geri besleme için alınan açılar arasındaki farkı minimuma indirmek amaçlanmıştır. Robotun hareketi sırasında kalçada ve dizde oluşan eklem açıları Şekil 3.'deki gibidir. Bu şekilde robotun modellenmesi tamamlanmış olmaktadır.



Şekil 4: a)Eklem açıları b) Simülasyon modeli

Dört bacaklı robotun bacağına bağlantı koordinat sistemi D-H parametre yöntemine göre oluşturulmuş ve kinematik denklemleri bu yöntem sayesinde yazılmıştır. Robotun teorik analizi ile bir kontrol sistemi modeli oluşturulur. Teorinin doğruluğu simülasyonla doğrulanır. Çalışma, dört ayaklı robot yürüyüşü için eksiksiz bir simülasyon sürecini gösteriyor ve dört ayaklı robotların yapımı için teorik bir temel oluşturuyor. Bu temel doğrultusunda modelimizin gerçek dünyada da uygulanabilir olduğunu anlayabiliyoruz.

Robotun motorlarının hareketi, bunların motorların kontrolü için kullanılacak olan Stm32f746 Discovery Kiti ile haberleşmesi, ana kontrolcü ile olması planlanan Raspberry Pi 4 2 GB Model B'nin gömülü yazılımları Matlab/Simulink ortamında yapılacaktır. Raspberry Pi ve Stm kiti için kendi Simulink blok setleri bulunmaktadır. Kontrol için Model Predictive Control(MPC) metodü kullanılacaktır. Böylece sistemin gelecek cevaplarını önceden tahmin etmek için bir model yaratan kontrol algoritması gerçekleştirilmiş olacaktır. Robot karmaşık bir denge gerçekleştirdiğinde sistemin sonraki durumlarının önceden kontrol edilip ortaya konması gerekmektedir.

5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Paletli ve tekerlekli robotlara alternatif olarak bacaklı robotların kullanılması ile ilgili çalışmalar ve hatta deneme aşamasında olan robotlar yurtdışında bulunmaktadır. Ancak ne yazık ki ülkemizde bu durum için ciddi seviyede nitelendirilebilecek araştırma ve ortaya ürün çıkarılmasına yönelik bir çalışma yok. Yurtdışındaki satışı çıkan nihai ürünler ile elektrik motorlarına, her bacakta üç eklemlili yapıya sahip olması gibi benzer özellikler vardır. Ancak bu robotlardan Spot Mini'nin üzerine takılacak eklentiler hariç 75000\$'dır. Bir diğer grupta bulunan HyQ, Bigdog gibi robotlarda ise hareketi sağlamak için hidrolik aktüatörler bulunmaktadır. Bunlar bulunduğu robot büyük ebatlarda olmaktadır. Robotun kontrolü için Model Predictive Control(MPC) yapılması hedeflenmektedir. Böylece diğer çoğu robotta kullanılan kontrol yöntemine göre bu kontrol yöntemi ile robotun gelecekteki adımları tahmin edilerek adımların daha hızlı kontrol edilerek hareketin daha dinamik bir biçimde olması sağlanacaktır. Amacımız bu proje ile düşük bütçeli ancak diğer robotlar kadar hareket kabiliyetine sahip bir robot üretmektir. Bu amaca ulaşırken mümkün olduğunca yerli imkânları kullanmak ve bu çalışma ile ilk sunumu 25 Haziran 2021'de Uluslararası Katılımlı Mekatronik Öğrenci Konferansı(MEKON) gibi akademik ortamlarda yayınlar oluşturmaktır.

6. Uygulanabilirlik

Robotun mekanik kısmının üretimi için kolay ve hızlı olması nedeniyle üç boyutlu yazıcı ve alüminyum profillerden oluşması planlanmıştır. Tasarımın bağlantılarının hızlı ve kolay olarak herkes tarafından yapılabilecek şekilde olması sayesinde ürünün hedef kitesinin genişletilmesi amaçlanmıştır. Tasarımın ticari ürüne dönüşmemesi için önünde hiçbir engel bulunmamaktadır. Her üründe olduğu gibi bu üründe de bazı riskler bulunmaktadır. Elektronik bileşenlerin hemen hemen hepsi yurtdışında üretilmektedir. Bunların tedarikinde zaman zaman sorunlar olabilmektedir. Bu en önemli sorun olarak nitelendirilebilir. Ancak bu riskler göz önünde bulundurularak ticari aşamada farklı elektronik bileşenler için farklı çeşitli tasarımlar yapılabilir. Bir diğer oluşabilecek risk ise çok fazla üretim gerektiği zaman üç boyutlu yazıcı ile üretim yavaş kalabilmektedir. Bunun için ya dış üretim ya da seri üretim için plastik enjeksiyon yöntemi ile üretim yapılabilir. Ayrıca üzerine farklı modül takılabilmesine uygun olarak tasarımı yapılması sayesinde aynı robotun farklı modüllerle çalışabilmesi bir riski ortadan kaldırmaktadır.

7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

Tablo 2: Quadrupe robotu ait maliyet

Malzeme	Fiyat(TL)	Malzeme	Fiyat
Servo aktüatör RMD-L-7015 (12 Adet)	17487	OBD-II DB9 Dönüştürücü Kablo (1 Adet)	123,49
Stm32f746 Discovery Kiti (2Adet)	1533,52	LTC1871 Step Up Ayarlanabilir Voltaj Regulator Kartı - 3,5-30 V 10 A (3 Adet)	243
UM7-LT Yönlendirme Sensörü(1 Adet)	1.701,64	Alüminyum Boru Dış Çap 40 mm, Kalınlık 2.5 mm (2 metre)	189
Raspberry Pi 4 2 GB Model B(1 Adet)	574,61	Shock Absorber (4 Adet)	543,5
Can-Bus Shield (1 Adet)	229,07	Pasif Elektronik devre elemanları (muhtelif direnç, kondansatör. Klemens)	587

uPrind 3D yazıcı flamenti ve supportter	4687	Kayış - Kasnak	283
Rulman	215	Muhtelif Cıvata, Somun	152
25.9 V 7S Lipo Batarya 5000 mAh 60C (1 Adet)	916,08	Toplam	29464,91

Tablo 3: Quadruped robota ait iş paketleri

İş Paketleri	Durum	Süre(Ay)	2021		
			6	7	8
Tasarım	Tamamlandı	3			
İmalat	Devam Ediyor	3			
Gömülü yazılım ve Kontrol Algoritması	Devam Ediyor	3			
Montaj ve Test	Devam Ediyor	2			

Projeye ait tüm iş paketleri danışman hocamın kontrolü altında benim tarafımdan yapılacaktır. Tasarım aşamasında robota ait üç boyutlu tasarım ve robotun kinematik ve dinamik modellenmesi gerçekleştirilmiştir. İmalat aşamasında ise robotun mekaniğinin ve kullanılacak olan motor, kontrol kartları, can bus shield gibi elektronik malzemeler için kompakt bir elektronik kart tasarımı imal edilmesi planlanmaktadır. Gömülü yazılım ve kontrol algoritması iş paketinde robotun hareketini sağlayacak motorların hareketi, bu motorlar ve motorları kontrol etmek için kullanılacak olan Stm32f746 Discovery Kiti arasındaki haberleşmeyi sağlayacak Can-Bus Shield, ana kontrolcü olacak Raspberry Pi 4 2 GB Model B için gömülü yazılım gerçekleştirilmesi, aynı zamanda robotun hareketi sırasında yörüngesini takip edebilmesi için bir kontrol algoritması geliştirilecektir. Montaj ve test iş paketinde robota ait tüm mekanik ve elektronik bileşenlerin montajının yapılması, bunların gömülü yazılım ve kontrol algoritması ile test edilmesi ve gerekli iyileştirmeler yapılacaktır.

Projede kullanılacak olan malzemeler özenle araştırılan ve aynı veya benzer özelliklere sahip malzemelere göre daha uygun fiyatlıdır ve bu malzemeler bu proje için olması gereken şartlardır. Elektronik bileşenler motor, sensör, raspbeery pi, Stm32f746, canbus shield ve kablosu, pasif elektronik devre elemanları gibi bileşenler gömülü yazılım ve test aşaması için ihtiyaçtır. Mekanik elemanlar filament, rulman, cıvata, somun, alüminyum boru, shock absorber gibi bileşenler imalat ve montaj aşamasında kullanılacaktır. Proje için yeterli kaynak bulunamaması durumunda prototip amaçlı robotun tek bir bacağına imalatı gerçekleştirilebilir. Bunun için 3 adet motor, 1 adet Stm32f746 discovery kiti, 1 adet raspberry pi 4 2 GB model B, can-bus shield, tek bacağın imalatı için yeterli miktarda uPrind 3D yazıcı flamenti ve supportter, UM7-LT yönlendirme sensörü, OBD-II DB9 dönüştürücü kablo, alüminyum boru, 1 adet shock absorber, muhtelif elektronik bileşen, cıvata, somun, kayış, kasnak ve rulman kullanılarak tek bir bacak üretilip test gerçekleştirilebilir.

Projenin maliyeti diğer satış fiyatı 75000\$ dolar olan Spot Mini robota göre daha uygundur.

8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar):

Proje sonucu oluşacak nihai ürün her türlü kimyasal, biyolojik, radyolojik/nükleer tehlikelerin olduğu ortamlarda, endüstriyel kazalar gibi durumlarda, araştırma, arama kurtarma faaliyetleri, içerisinde ne olduğu bilinmeyen ortamlarda hatta askeri olarak keşif, gözlem, istihbarat amacıyla kullanılabilir. Bir rutin şeklinde insanların defalarca kez yapması gereken örneğin kimyasal madde üretim tesisinde borulardan akan akışkanların hat boyunca basınçlarının zamanla kontrolü gibi bu benzer durumlarda kullanılabilir. Kedi köpek gibi hayvanlara alerjisi olan ya da bu hayvanların bakım sorumluluğu almak istemeyen insanların kullanabilmesiyle eğlence sektöründe de kendine yer bulabilir.

9. Riskler

- Proje bütçesini aşma riskine karşı harca yaparken daha dikkatli olunmalı yanlış üretim yapılmasının ve test sırasında oluşabilecek kazaların önüne geçilmelidir.
- Hatalı ürün üretimi riskine karşı tasarım dikkatli bir şekilde incelenmeli ve gerekli durumlarda kontrol amaçlı danışman hocadan yardım alınabilir.
- Üretim kısıtları sebebiyle üretimde sorun yaşanması durumunda tasarımda minimal değişiklikler yaparak üretime uygun hale getirilebilir.
- Üretimin istenen kaliteyi karşılayamaması durumunun önüne geçebilmek için öncelikle tek bir bacağı ait üretimin gerçekleştirilmesi ve bu bacağın test edildikten sonra kalan üretim yapılmalıdır.
- Malzeme tedarikinde zamanlama sorununun önüne geçebilmek için tedariki uzun olan malzemeleri siparişi önceden verilebilir.

Tablo 4: Quadroped robota ait risk tablosu

No	Risk	B Planı
1	Proje bütçesi, malzeme alımı için yeterli olmayabilir	Destek için sponsor firmalara başvurulmalı.
2	Test ve analizlerin sonuçları ile yapılan hesapların uyuşmaması	Teorik hesaplamalar ve analizler daha önceden yapıp, deneyin simülasyonlar ile güçlendirilmesi sağlanacaktır
3	Robotun çalışma esnasında sıvı teması olabilecek ortamlarda çalışmaması	Bu sorunun önüne geçebilmek için elektronik malzemelerin sıvıdan zarar görmesini önlemek için yalıtım yapılması
4	Tasarım ve üretim sırasında insandan kaynaklı olabilecek hatalı tasarım veya iş kazaları	Bu durumun önüne geçebilmek için tasarım üretimden önce tekrar detaylı bir şekilde gözden geçirilmeli, kazlar içinse kişisel koruyucu ekipmanlar kullanılmalıdır

Tablo 5: Quadruped robota ait olasılık etki matrisi

O L A S I L I K	ETKİ		
	Az	Çok	Yüksek
Az	Hatalı ürün üretimi	Robotun elektronik bileşenlerine teması	Hatalı tasarım
Çok			
Yüksek			Bütçeni yetersiz kalması

10. Kaynaklar

- [1] Raibert, M., Blankespoor, K., Nelson, G., Playter R., and the BigDog Team. BigDog, the Rough-Terrain Quaduped Robot. Boston Dynamics, Waltham, MA.
- [2] Ma, G. (2001). Progress in biomimetic robots. Robot 9, Vol. 23, No.5, p.463~ 466.
- [3] Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L., and Oriolo, G. (2010). Robotics: Modelling, Planning and Control. Springer-Verlag London Limited, p. 161-189.
- [4] Sun, Y., Ma, S., Yang, Y., and Pu H. (2014). Towards stable and efficient legged race-walking of an ePaddle-based robot. Mechatronic, Vol 23 Issue 1, Elsevier, p. 108 – 201.
- [5] Li, Y., Li, B., Ruan, J., Rong, X. (2011). Research of mammal bionic quaduped robots. Robotics, Automation and Mechatronics (RAM) IEEE Conference, p. 166-171.
- [6] KATO, K., Hirose, S. (2000). Development of Quaduped Walking Robot, TITANIX. Proc. IROS IEEE, p. 40~45
- [7] Jing-tao, L., Feng G., Jing, D. (2007). Dynamic Modeling and Simulation of Quaduped Robot Based on Virtual Prototyping Technology. 19(8), 1731-1735.
- [8] Hirose, S. (1984). A Study of Design and Control of a Quaduped Walking Vehicle. The International Journal of Robotics Research, Vol. 3, No.2, p. 113~133