

Araştırma Makalesi / Research Article

Göçük Altında Kalanların Tespiti için Biyonik Yılan Robot Tasarımı

Gökhan ÇETİN¹, Esra AKSAKAL², Sezai TAŞKIN^{3*}

¹ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye,
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7514-4349>, gokhancetin35@live.com

² Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye,
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2093-2089>, esraaksakaal@gmail.com

³ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye,
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2763-1625>, sezai.taskin@cbu.edu.tr

Geliş/ Received: 27.02.2022;

Kabul / Accepted: 01.04.2022

ÖZET: Bu çalışma, depremde çöken bir bina veya yanan bir bina gibi bir afet bölgesinde ulaşılması zor alanlara erişmek ve enkaz altında hayatta kalanları aramak için bir biyonik yılan robot tasarımı geliştirilmesi ve uygulama sonuçlarının analizi üzerinedir. Arama-kurtarma ekipleri, enkaz olaylarında yaygın olarak ortam dinleme ile birlikte eğitilmiş köpeklerle ses ve koku gibi ikazların tespitinde bulunarak enkaz altındaki canlıların konumlarını tespit etmeyi amaçlamaktadır. Ancak, çöken yapıların karmaşıklığı, molozda dar boşlukların bulunması, enkazda yeni çökmelerin meydana gelme olasılığı ve arama-kurtarma personelinin bu esnada maruz kaldığı stres vb. durumlar operasyonların başarılı şekilde gerçekleştirilmesini kısıtlayan önemli faktörler arasındadır. Kurtarma çalışmaları sırasında insan gücüne her daim ihtiyaç olmasına karşın enkazdaki canlıları tespit etmede canlıların duyuları algı duyarlılığı açısından yetersiz kalabilmekte ve dar alanlarda hareket kabiliyeti de sınırlı olmaktadır. İnsanlar tarafından girilmesi teknik olarak pek mümkün olmayan ya da daha tehlikeli olan enkazlar da otonom veya manuel olarak kontrol edilebilen sinüsoidal manevra kabiliyetine sahip, termal görüntü işleme ve gaz algılama özellikleriyle donatılmış 70 x 1170 x 80 mm boyutlarında bir biyonik yılan robot tasarımı ve prototip imalatı bu çalışmada sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Enkaz, Göçük, Arama-kurtarma, Biyonik yılan robot, Görüntü işleme.

*Sorumlu yazar / Corresponding author: sezai.taskin@cbu.edu.tr

Bu makaleye atıf yapmak için / To cite this article

Çetin, G., Aksakal, E., Taşkın, S. (2022). Göçük Altında Kalanların Tespiti için Biyonik Yılan Robot Tasarımı. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 3(1), 63-78.

Bionic Snake Robot Design for Detection of Survivors under the Debris

ABSTRACT: This study presents design and analysis of a bionic snake robot to access difficult-to-reach spaces in a disaster site, like a collapsed building in an earthquake or a building on fire, and search for survivors under the debris. Commonly, search and rescue teams try to detect the locations of survivors under the debris by detecting some signs of life such as smelling with trained dogs and environment listening with some technical devices. However, the complexity of the collapsed structures, the presence of new collapses possibility in the debris, and the stress to which the search and rescue personnel are exposed during this time are among the important factors that limit the successful execution of the operations. Although there is always a need for human support during rescue operations, it is seen that technological system support is required because human detection sensitivity is insufficient in detecting the survivors in the debris. In this study, the design and fabrication of a bionic snake robot, which is equipped with thermal image processing and gas detection, autonomous or manually controlled, and sized as 70 x 1170 x 80 is presented.

Keywords: Earthquake, Debris, Dent, Search and rescue, Bionic robot, Image processing.

1. GİRİŞ

Biyomimetik bilimi, insanların doğadaki çeşitli varlıkları taklit ederek bu varlıkların kendine has özelliklerini modellemesini sağlamasının yanı sıra mekanizmaya dönüştürmesine de aracılık eder. İnsanoğlu doğadaki canlıları fiziki, işlevsel ve davranışsal yönden inceleyerek ve onların problem çözme yeteneklerine odaklanarak bunları taklit etmek ve elde edilen çıktıları teknolojiye ve mühendislik problemlerine uyarlamakla yeni bilgiler elde etmekte ve farklı teknolojiler geliştirmektedir. Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere biyomimetik bilimi yalnızca nihai ürüne ulaşma noktasına değil, nihai ürüne ulaşana kadar geçen sürece de odaklanır (Bar-Cohen, 2006). Günümüzde kullanılan pek çok mekanik araç biyomimetik bilimi sayesinde ortaya çıkmıştır. Örneğin, kırsal ve sıcak bölgelerde yaşamını sürdüren yusufluk böceğinin helikopterlerin tasarlanmasında büyük bir rol oynadığı bilinmektedir. Örümcekler, kuşlar, balinalar, çeşitli balıklar ile yüksek manevra kabiliyetiyle ön plana çıkan yılanlar biyomimetik biliminin çatısı altında incelenen varlıklardır. Günümüzde biyomimetik bilimi çerçevesinde yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkan nihai ürünler savunma, güvenlik ve endüstri sektörlerinde henüz yeterli yaygınlık derecesine ulaşılmış olmasa da kısmen kullanılmaktadır. Ancak, afetlerde canlı varlıkları tespit ve kurtarma operasyonlarında halen çok önemli bir rol oynamasına rağmen biyomimetik tasarımlı ekipmanların kullanımı henüz oldukça sınırlı kalmaktadır.

Deprem, heyelan gibi yıkım kaynaklı afetlerde genellikle göçük altında kalanların tespiti için SearchCam® olarak adlandırılan enkaz altı görüntüleme ekipmanları kullanılmaktadır. Kullanılan diğer bir ekipman ise Delsar® olarak adlandırılan göçük altındaki düşük genlikli seslerin genliklerini yükselterek göçük üstündeki arama-kurtarma ekibine kolayca iletilebilmesine olanak tanımaktadır. Multiwarn II® adı verilen gaz ölçüm cihazı ise karbondioksit, metan, hidrojen sülfür ve oksijen gibi gazların ölçülmesini kızılötesi ışınlar ile sağlamaktadır (Anonim, 2022a). Ancak bu cihaz pek çok hidrokarbonun tespit edilmesine olanak sağlarken, canlıların stres anında salgılamış olduğu aseton gazının tespitine olanak sağlamamaktadır (Huo ve ark., 2011). Göçük altındaki canlıların tespiti için kullanılan en gelişmiş cihazlar ise tıbbi amaçlarla da kullanılan endoskopik görüntüleme cihazlarıdır. Bunlar, tıbbi amaçlarla kullanılanlar gibi esnek değil, genellikle sert yapıdadır. Bahsedilen tüm bu ticari ekipmanlar biyomimetik biliminin bir ürünü olmadığı gibi, ortamdaki dezavantajlardan

etkilenmeleriyle de bilinmektedir. Örneğin, görüntüleme araçları kendi kendine hareket etme ve yönelim hareketi yapma yeteneğine sahip değildir. Sağlıklı ve doğru bir veri aktarımı sağlayabilmek için göçük altında olan canlı varlığın da iş birliğine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, ilgili araçları kullanan pek çok kişi göçük üzerinde çalışmaktadır. Bu durum, göçük altında yer alan afetzedeleri istenmeyen durumlara maruz bırakabilmektedir.

G. Miller ve ark. 1998 ile 1999 yılları arasında esnek, dar yerlerden geçme kabiliyetine sahip, S5© adında bir yılan benzeri robot üretimi gerçekleştirmiştir (Bar-Cohen, 2006). Bu çalışmanın ortaya çıkışı, ilk yılan benzeri robotu tasarlayan ve üreten S. Hirose'nin 1971 yılında yaptığı çalışmalardan ilham alınmasıyla gerçekleştirilmiştir. S. Hirose'nin üretimini gerçekleştirdiği bu yılan benzeri biyomimetik robot 20 eklemden oluşmaktaydı ve ACM III (Active Cord Mechanism) adını taşımaktaydı (Kılıçaslan, 2005). S. Hirose ve H. Yamada, yılan benzeri bir robotun dört farklı hareket türü ile hareket edebileceğini savunmuş ve bu hareket türlerine göre biyonomik yılan robotun basit kinematik hareket denklemlerini kurgulamışlardır (Hirose ve Yamada, 2009). Bu dört farklı hareket türü; (i) sürünme hareketi, (ii) doğrusal hareket, (iii) akordiyon hareket ve (iv) yanal harekettir. Ayrıca, biyonomik yılan robotların birçok eklem birbiriyle seri olarak bağlanmasıyla meydana geldiği, bunun sonucunda da eklem türlerine bağlı olarak beş ayrı robot türünün elde edilebildiği belirtilmiştir. Bunlar; aktif bükümlü eklemli, aktif bükümlü ve uzayan eklemli, aktif bükümlü ve aktif tekerlekli, pasif bükümlü ve aktif tekerlekli, aktif bükümlü ve aktif paletli robot türleridir. ACM III robotu, sinüsoidal hareket eden aktif bükümlü eklemli türünde bir biyonomik yılan olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tokyo Teknoloji Enstitüsü ve Hibot tarafından geliştirilen ACM-R5H, bir yılan robot olup tehlikeli ortamlarda sualtı denetimleri ve arama-kurtarma görevleri gerçekleştirmek için tasarlanmıştır (Guizzo, 2013). Özellikle dar alan aramaları için tasarlanmış bir kurtarma robotu (Wang ve ark., 2019) tarafından önerilmiştir. Bu robot, son derece entegre bir tasarıma sahip olup kısmen sert yapıya sahip iki dairesel kavrayıcıdan, bir yumuşak eyleyiciden ve bir yumuşak eklemden oluşmaktadır. Kurtarma robotu pnömatik olarak tahrik edilmektedir. Ayrıca, 25°'lik eğimli bir boruya tırmanabilmektedir. Arama kurtarma robotunun deprem kalıntılarının çevresini gözlemlemesi ve hayatta kalanları bulması için kullanılan teleskopik üniversal mafsalı içeren bir iletim sistemi ise (Zhao ve ark., 2016) tarafından yapılan çalışmada sunulmaktadır. İsrail'deki Ben-Gurion Üniversitesi'nde, bağırsak yolunda emekleme yeteneğine sahip tırtıl böceğinin hareketlerinden esinlenilerek tasarlanan minyatür robot, tıpta kolonoskopi ve endoskopide anestezi ihtiyacını ortadan kaldırarak kanser taramasını kolaylaştırması amacıyla geliştirilmektedir (Firger, 2021). Case Western'de tasarlanan solucan robot ise esnek bir ağ kullanarak peristaltik hareket yoluyla hareket etmek için eklemli segmentlerden oluşan bir ağdan yapılmıştır (Anonim, 2022b). İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü'ndeki bilim insanları solucan şeklinde ve yüzeylere yapışmak için vakum gücü kullanan bir robot tasarımını sunmuşlardır (Wiltz, 2021). Emami Design tarafından tasarlanan Robo Worm isimli robot ise esnek bir tüp içine gömülü metal halkaların miknatıslanması şeklinde hareketini gerçekleştirmektedir (Anonim, 2022c). WormBot isimli robot ise solucan hareketini taklit etmektedir. Bir WormBot robotu, hayatta kalanları bulmanın yanı sıra bir iletişim kablosu, bir hava veya içme suyu tedarik hattı veya ağır kurtarma ekipmanına bağlı bir çekme halatı da sağlayabilmektedir (Firester, 2019). 2017 Meksika depreminde arama çalışmalarında robotik yılanlar kullanılmıştır (Hutson, 2021). Çalışkan ve Türkoğlu, 2013 tarafından yapılan çalışmada görüntü üzerinde yapılan diferansiyel hesaplamalar ile görüntünün içerdiği termal nesnelerin belirginleştirilmesi ve elde edilen yeni görüntü ile görüntüdeki gürültünün giderilmesi ve termal nesnenin vurgulanması gerçekleştirilmiştir.

Tüm bu bilgiler ışığında, arama-kurtarma etkinliklerinde aktif rol oynayabilecek ve yüksek manevra kabiliyetinin yanı sıra gaz, ses, görüntü algılama ve işleme olanaklarına sahip bir biyomimetik ürününün geliştirilme ihtiyacı olduğu görülmüştür. Biyomimetik robot deprem özelinde geliştirilmiş ise de yangın, heyelan, deprem dışı bina çökmeleri, doğalgaz ve LPG gibi gaz kaçağlarının bulunduğu bölgeler için de kullanılabilir özelliklere sahiptir. Afetzedelerin göçük altında bulunduğu bölgelere daha kısa sürede güvenli bir şekilde ulaşabilmek için insanların, diğer canlıların girmekte zorlanabileceği ve/veya girmesinin tehlikeli olabileceği alanlarda biyonomik yılan robotların kullanılması hem zaman kazanma hem de güvenlik açısından önemli avantajlar sağlayabilecektir. Biyonomik yılan robot kullanımının bir diğer avantajı ise, çökme riski bulunan bina kat blokları arasındaki tespit çalışmalarında göçük altında kalan canlıyı hafifliği sayesinde tehlikeye neden olmayacak olmasıdır. Biyonomik yılan robot, servo motorlara iletilen PWM sinyalleri ile sinüsoidal olarak sürüklenme hareketini gerçekleştirebilirken aynı zamanda gaz ve termal görüntüleyici modüllerinden gelen analog çıkış sinyallerini geliştirilen algoritmalar aracılığıyla durum izleme arayüzüne anlık olarak aktarmaktadır.

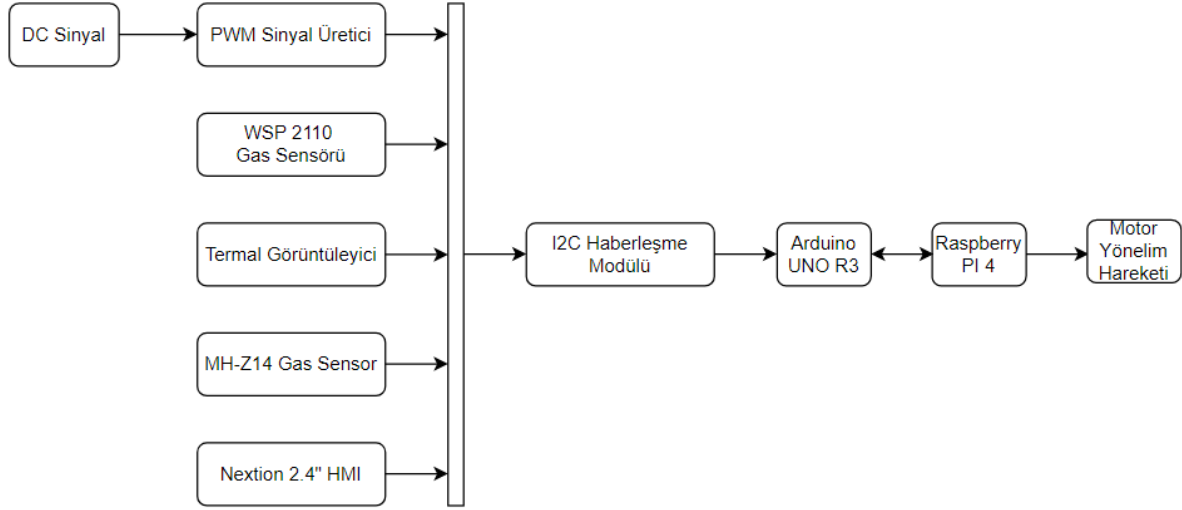
2. MATERYAL VE YÖNTEM

Prototip tasarımıda, Panasonic AMG8833 Grid-EYE® termal görüntüleyicisi kullanılmıştır. Algılama çözünürlüğü 8X8 piksel olup endüstriyel bir üründür. Algılama hızının oldukça yüksek olması ve yüksek kazançlı olması sebebiyle tercih edilmiştir. 3.3V DC gerilimle çalışan termal görüntüleyici 0-80 °C arasında sıcaklık değerlerini ölçebilmektedir. Bu sayede ortamdaki nesnelere, sıcaklık farklarını yakalayarak tespit etmektedir (Anonim, 2022d). Ayrıca hidrokarbon kökenli alkol, tolüen, benzen ve aseton gibi gazları tespit etmek için 5V gerilimle çalışan WSP2110 gaz algılayıcısı kullanılmıştır. WSP2110, 1-50 ppm aralığında gaz tespiti yapabilmektedir. Bu algılayıcı sayesinde stres anında canlıların salgıladığı aseton gazının tespiti mümkün olmaktadır (Anonim, 2022e). Biyonomik yılan robotun 120° açıyla hareketini gerçekleştiren ve 1.0787 Nm kavrama torku değerine sahip MG996R dijital metal dişli servo motor kullanılmıştır. Güç tüketimini azaltmak, yüksek tork elde etmek ve mikro denetleyicilerden gelen sinyallere karşı hızlı tepki süresi özellikleri bakımından dijital servo motor seçilmiştir (Anonim, 2022f). Bu motoru sürülebilmek için NXP Semiconductors N.V. şirketinin üretimi PCA9685 devresi ile tasarlanmış 16 servo kanalına ve 12 bit PWM çıkışı bulunan bir sürücü kullanılmıştır. Bu sürücü esasında PC tabanlı bir LED sürücü olarak tasarlanmasına karşın PWM çıkışları ile servo motorları da sürülebilmektedir (Anonim, 2022g). Tüm I/O sinyal bilgilerinin görüntülenmesi için Nextion HMI ekran kullanılmıştır.

Prototipte iki farklı mikro denetleyici türü kullanılmıştır. Ana kontrolör olarak Raspberry Pi 4 kullanılmış olup yardımcı kontrolör olarak Arduino UNO R3 kullanılmıştır. Termal görüntüleyici Raspberry Pi 4 ile kontrol edilirken, diğer tüm algılayıcılar Arduino UNO R3 ile kontrol edilmektedir. Raspberry Pi 4 ile Arduino UNO R3 mikro denetleyicileri USB arayüzü üzerinden seri port haberleşmesi aracılığıyla birbirleriyle iletişim kurmaktadır.

Servo motorların yönelim hareketini sağlıklı bir şekilde gerçekleştirebilmesi için termal görüntüleyici ve gaz algılayıcıların birlikte çalışmasının gerekliliği öngörülmüştür. Canlılar tarafından doğal yollarla üretilen aseton gazı ve yine canlıların yaşamsal etkinliklerini sürdürdükleri sürece açığa çıkan sıcaklık bu iki algılayıcı tarafından algılanabilmektedir. Termal görüntüleyici ile algılanan sıcaklık verileri frekans filtrelemeye dayalı görüntü işleme yöntemleri ile işlenerek 33.2-38.2° C sıcaklıkları görüldüğünde Raspberry Pi 4 üzerinde seçilen çıkışı aktif etmektedir. Bu çıkış, Arduino UNO R3 üzerinde bulunan motorun yönelim hareketini kontrol eden girişe bağlıdır. Bu

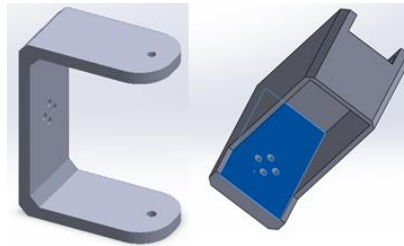
yüzden motor, kendisine bağlı olan servo eksenini belirtilen aralıklardaki sıcaklık değerleri görülen alana doğru yönelimini gerçekleştirdiğinde hareketini durdurmaktadır. Benzer şekilde, WSP2110 algılayıcısının algıladığı belirli bir miktar aseton gazıyla birlikte Arduino UNO R3 üzerinde bulunan motor yönelim hareketini durduran giriş lojik 1 olarak motor hareketini durdurmaktadır. Aseton gazı miktarı, seri port üzerinde okunan değerlerle kontrol edilmektedir. Otonom sistemin blok diyagramı Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Otonom sistemin blok diyagramı

Şekil 1’de görüldüğü üzere, sisteme MH-Z14 gibi karbondioksit gazının algılanması için gerekli algılayıcı da eklenebilmektedir. Yine Şekil 1’de görüldüğü gibi, sistem PWM anahtarlaması, analog ve dijital sinyallerin bir arada çalışabilmesi üzerine kurgulanmıştır. Bu prototipte gaz ve termal görüntü kontrolleri yapılırken, servo motor 30° açı hassasiyeti ile yönelim hareketinde bulunmaktadır. Başka bir deyişle, 30° bir alan taraması gerçekleştirilirken istenen gaz yoğunluk değeri ve/veya termal sıcaklık değeri elde edilirse motor yönelim hareketini durdurmaktadır.

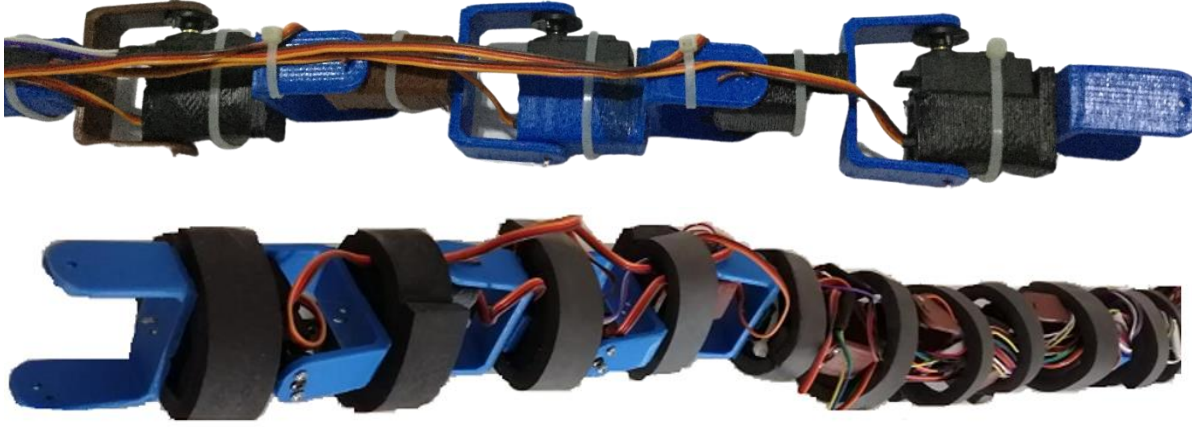
MG996R tek eksenli bir servo motor olarak tasarlanmıştır. Literatürde yer alan biyonik yılan robot tasarımları incelendiğinde çoğunluğunun 2 eksenli motorlarla tasarlandığı görülmektedir. Prototip tasarlanırken maliyeti düşürmek için bu konuda bir yenilik geliştirilmiştir. MG996R tek eksenli olmasına rağmen yapılan uç işlevci tasarımıyla birlikte motorun iki eksenliymiş gibi davranması sağlanmıştır. Biyonik yılan robotun eksenlerinin birbirine montajlanabilmesi için motor sabitleme bloğu tasarlanmıştır. Motor eksenini uç işlevci ve motor sabitleme bloğunun katı cisim görünümü Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Katı nesne görünümleri, motor uç işlevci ve motor sabitleme bloğu

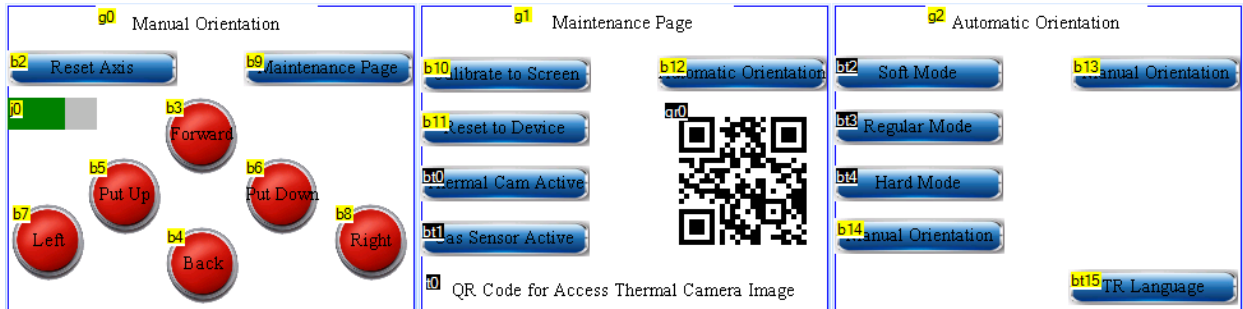
Mekanik tasarım yapılırken, motor gücü kayıplarını minimum yapmak için uzuvların et kalınlığının optimum seviyede olmasına özen gösterilmiştir. Mekanik tasarımlar, 3B yazıcı

aracılığıyla Poliaktik Asit (PLA) malzeme ile basılmıştır. Modüler yapıda bulunan uzuvlar vidalanarak birbirlerine montajlanmıştır. Montaj tamamlandıktan sonra, biyonom yılan robotun hareket düzlemini daha iyi kavrayabilmesi için tüm motor sabitleme blokları etilen propilen dien monomer (EPDM) adı verilen sıcaklık, toz ve tahrip edici pek çok kimyasala dayanıklı materyalden yapılmış kauçukla kaplanmıştır.



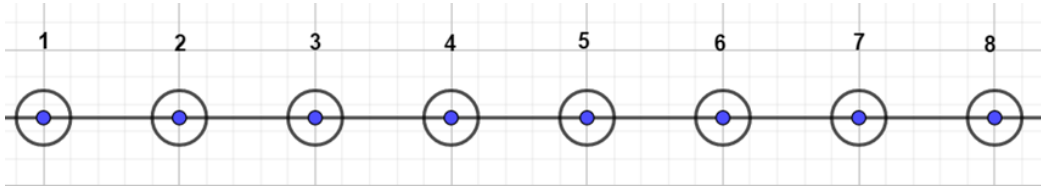
Şekil 3. Biyonom yılan robot prototipinin görünümü

Prototipte, otonom veya manuel kontrol seçimi için Nextion HMI ekran kullanılmıştır. Ekran editörü aracılığı ile sayfa tasarımları oluşturulmuştur. Sayfalara dair görüntüler Şekil 4’te verilmiştir.



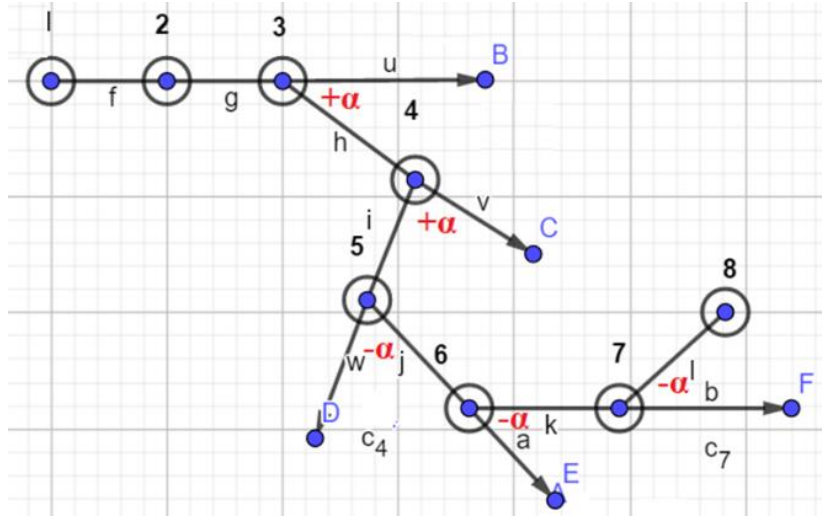
Şekil 4. HMI ekranı sayfa görüntüleri

Robotun kinematik yapısının modellenmesi ve simülasyonları için Matlab®/Simulink® kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda, yapılan hesaplamaların ve benzetimlerin gerçek sisteme yansıtılması yöntemi benimsenmiştir. Canlı bir yılanın mekanik hareket özellikleri incelendiğinde, hareketlerinin arazi koşullarına göre değişiklik göstermemesi için statik ve kararlı bir yapıda olduğu görülmektedir. 2B hareketlerde sürtünme kuvveti, 3B hareketlerde ise kütle merkezi yılan için büyük önem arz etmektedir. Hareket algoritması oluşturulurken öncelikle yanıl hareket tarzı baz alınmıştır. Çünkü bu hareket tarzı, yılanların en çok tercih ettiği hareket tarzıdır. Biyonom yılan robotta bulunan eklemlerin hareket algoritması için gerekli açılar, kinematik hesaplamalar yapılarak elde edilmiştir. Yılanların gerçekleştirdiği yanıl hareket sinüsoidal bir hareket olduğundan kinematik sinüs konfigürasyonu adı verilen yöntem kullanılmıştır. İlgili hesaplamalar ilk etapta 8 adet servo motorlu bir sistem için gerçekleştirilmiştir. Sistemin sayfa düzleminde görünümü Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 5. Sistemin sayfa düzleminde görünümü

Şekil 5’te, eğer tüm servo motor pozisyonları 90° ise, dönme eksenini kâğıda diktir. Buna göre oluşturulmuş sistemin kinematik diyagramı Şekil 6’da gösterilmiştir.



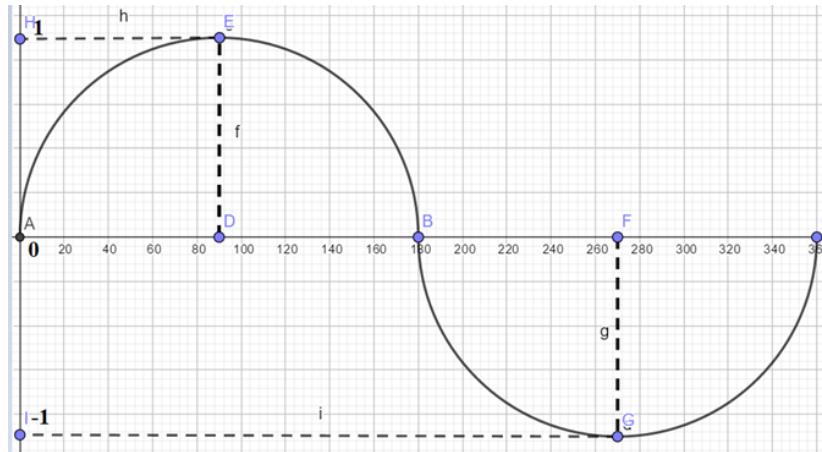
Şekil 6. Sistemin kinematik diyagramı

Kinematik diyagramdaki konfigürasyon için Şekil 6’da numaralandırılmış açı değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Kinematik diyagramda numaralandırılmış açı değerleri

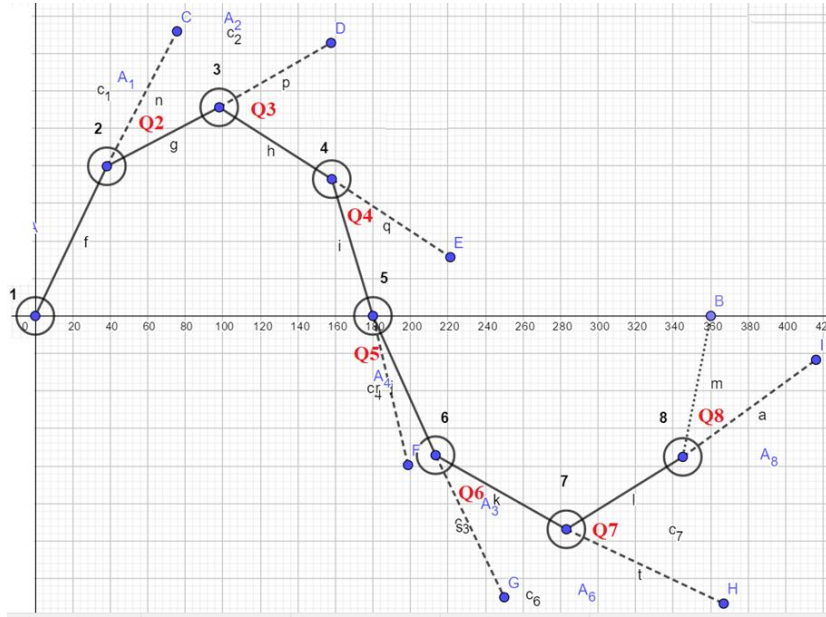
1	2	3	4	5	6
90°	90°	$90 + \alpha^\circ$	$90 + \alpha^\circ$	$90 - \alpha^\circ$	$90 - \alpha^\circ$

İdeal sinüs eğrisi, Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. İdeal sinüs eğrisi

Biyonik yılan robotun Şekil 7’de yer alan ideal sinüs eğrisi üzerine yerleştirilmiş hali Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Biyonik yılan robotun ideal sinüs eğrisi üzerine yerleştirilmesi

Şekil 8’de, biyonik yılan robot ideal sinüs eğrisine yerleştirildiği takdirde sinüs eğrisi ideal olarak ele alınamaz. Sinüs konfigürasyonuna ulaşabilmek için Q_{1-8} servo motor açısı değerleri bulunmalıdır. Q_2 açısının bulunma yöntemi Şekil 9’da gösterilmiştir.

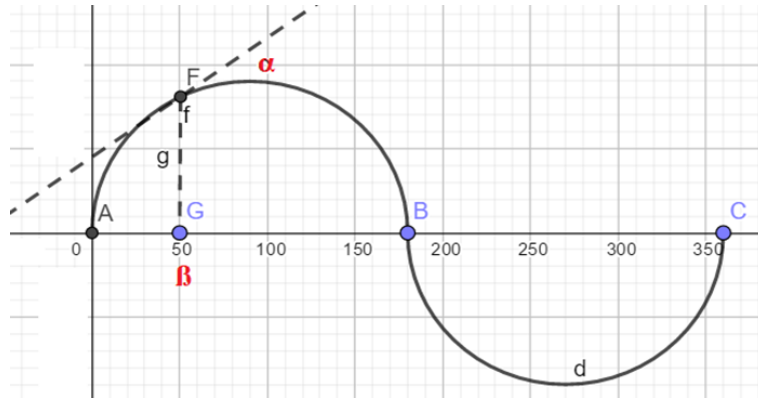
Şekil 9’da verilen açısı değerinden aşağıdaki gibi bulunur.

$$m = \frac{d}{d\beta} (\sin\beta) \quad (1)$$

$$m = \cos\beta \quad (2)$$

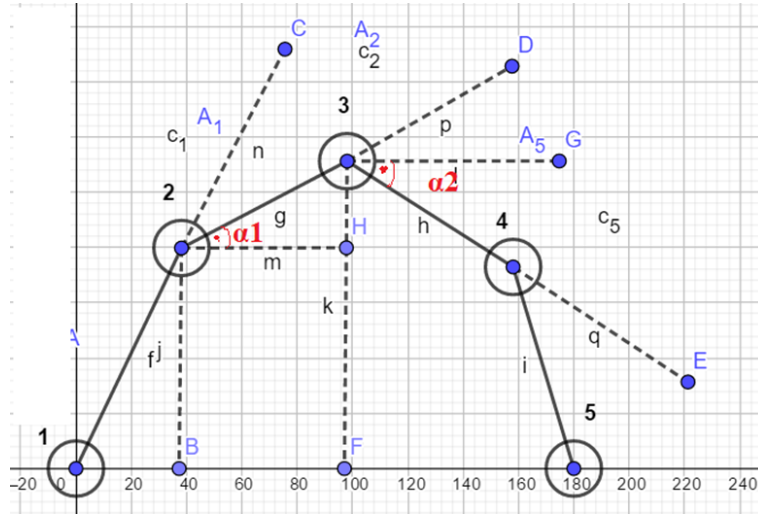
$$\tan\alpha = \cos\beta \quad (3)$$

$$\alpha = \tan^{-1} (\cos\beta) \quad (4)$$



Şekil 9. Q_2 açısının bulunması

Biyonik yılan robot konfigürasyonunun tepe değeri Şekil 10’da gösterilmiştir.



Şekil 10. Biyonik yılan robot konfigürasyonunun tepe değeri

Şekil 10’da görülen α_1 ve α_2 açıları ve iki açı değerine bağlı olarak θ açısı;

$$\alpha_1 = \tan^{-1}(\cos\beta_1) \quad (5)$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1}(\cos\beta_2) \quad (6)$$

$$\theta = \alpha_1 - \alpha_2 \quad (7)$$

($\beta_2 \cong 90^\circ \rightarrow \alpha_2 = 0$ olacaktır)

Verilen tüm bilgilere göre genel denklemler şu şekilde yazılabilir:

$$\theta = \tan^{-1}(\cos\beta_1) - \tan^{-1}(\cos\beta_2) \quad (8)$$

$$\beta_2 = \beta_1 + \left(\frac{360}{n}\right) \quad (9)$$

$$\beta_{i+1} = \beta_i + \left(\frac{360}{n}\right) \quad (10)$$

$$y = A * \sin(k * \beta) \quad (11)$$

Eşitlik 11’de verilen denklem, biyonik yılan robotun hareket denklemdir. Eşitlikte yer alan diğer değişkenler;

A = Genlik, k = Frekans, n = Servo motor sayısı.

Buna göre eğim hesaplanırsa;

$$m = \frac{dy}{d\beta} = A * k * \cos(k * \beta) \quad (12)$$

Eğim, Eşitlik 8.’de yerine konulursa servo açılarını elde etmek için gereken genel denklem bulunur.

$$Q_{i+1} = \tan^{-1}(A * k * \cos(k * \beta_i)) - \tan^{-1}(A * k * \cos(k * \beta_{i+1})) \quad (13)$$

Eşitlik 9’da, servo motor sayısı 8 olduğundan, $n = 8$ olarak yerine konursa:

$$\beta_{i+1} = \beta_i + \left(\frac{360}{8}\right) \quad (14)$$

Eşitlik 14'ten β açı değerlerini elde edebiliriz.

$$\beta_0 = 0^\circ, \beta_1 = 45^\circ, \beta_2 = 90^\circ, \beta_3 = 135^\circ \dots \quad (15)$$

$n = 8, A = 1, k = 1$ değerleri için β ve θ değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Kinematik sinüs konfigürasyonu parametreleri

	Q_0	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7	Q_8
β	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	360°
θ	X	10°	35°	35°	10°	-10°	-35°	-35°	10°

Prototip üzerinde kullanılan AMG8833 termal görüntüleyicinin elde ettiği ham görüntüler işlenerek daha iyi görüntüler elde edilmiştir. Daha iyi görüntüler elde edebilmek için ham görüntüye 2B Hızlı Fourier Dönüşümü ve sonrasında da Gaussian Alçak Geçiren Filtre uygulanmıştır. Gaussian Alçak Geçiren Filtre fonksiyonundan 1 değeri çıkarılarak Gaussian Yüksek Geçiren Filtre fonksiyonu elde edilmiş ve uygulanmıştır. Hemen ardından 2B Ters Hızlı Fourier Dönüşümü uygulandıktan sonra Histogram Eşitlemesi uygulanarak net görüntü eldesi gerçekleştirilmiştir. Görüntüleme sisteminin blok diyagramı Şekil 11'de gösterilmiştir. Frekans düzleminde yapılan bu dönüşümlerin 2B olarak gerçekleştirilme sebebi algılayıcının 2B algılama yapamamasıdır.

Gaussian Alçak Geçiren Filtre Fonksiyonu Eşitlik 16'da verilmiştir.

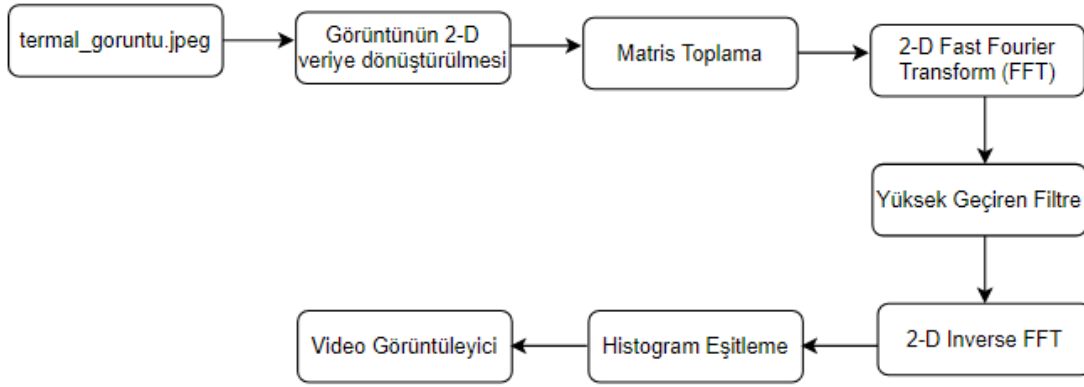
$$H_{lpf}(u, v) = e^{-D^2(u,v)/2D_0} \quad (16)$$

Kesim frekansı D_0 , 60 Hz olarak bilindiğine göre denklemde yerine konulursa:

$$H_{lpf}(u, v) = e^{-D^2(u,v)/2.60} \quad (17)$$

Eşitlik 17'de verilen denkleme göre $D(u, v)$ ifadesi, filtrelenecek görüntünün matris boyutuna göre değişiklik göstermelidir. Görüntünün matris satır ve sütun boyutu filtrenin yarısı kadar olmalıdır. $A \times B$ matrisine sahip filtreye Ayrıklı Fourier Dönüşümü uygulanarak $U \times V$ matrisi edilebilir. $U \times V$ matrisinin uzunluğu $D(u, v)$ matrisine eşittir. Bu ifade Eşitlik 17'de yerine konulursa, Gaussian Alçak Geçiren Filtre fonksiyonu $H(u, v)$ elde edilir. Alçak geçiren filtre uygulandıktan sonra yüksek geçiren filtre ile filtrelenmiş bir görüntü elde etmek için ise Eşitlik 18'den yararlanılır.

$$H_{hpf}(u, v) = 1 - H_{lpf}(u, v) \quad (18)$$



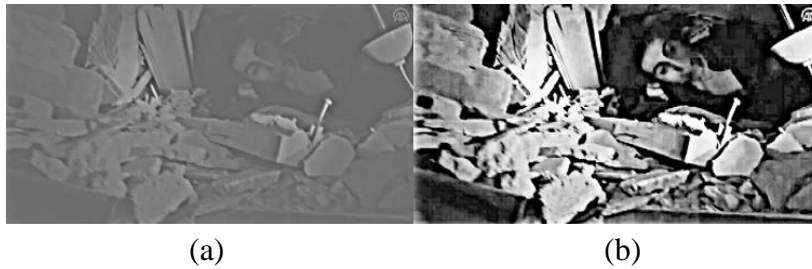
Şekil 11. Frekans düzleminde görüntüleme sisteminin blok diyagramı

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Termal Görme

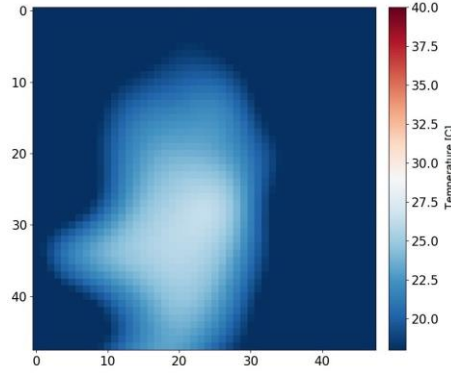
Prototip üzerinde kullanılan Panasonic AMG8833 Grid-EYE® termal algılayıcı endüstriyel alanda ve otomotiv üretiminde kullanılmak üzere geliştirilmiş, çözünürlüğü 8x8 piksel olan pasif termal kızılötesi algılayıcıdır (Anonim, 2022d). Hızlı modda çalışan PC tabanlı haberleşme ağı sayesinde Raspberry Pi üzerinde dijital veya analog çıkış verebilmektedir. Raspberry Pi üzerinde Python 3.x ile yazılmış bir yazılım aracılığıyla algılanan görüntüler bir ekrana yansıtılabilmektedir. Nümerik analiz yöntemleri kullanılarak enterpole edilen 8x8 piksel çözünürlükteki görüntüler, 64x64 piksel çözünürlükteki bir görüntü haline yazılımsal olarak getirilebilmektedir. Yalnızca $3.3V \pm 0.3V$ DC gerilimle çalışabilen bu termal görüntüleyici, endüstriyel amaçla kullanılmak için geliştirilmiş olmasıyla birlikte enkaz gibi zorlu ortam koşullarına dayanıklıdır. SMD kılıfında olup, ilgili algılayıcı başka bir üretici tarafından PCB kart üzerine basılmıştır. Hassasiyeti $+2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ olup maksimum algılama menzili 7 metredir.

Termal algılayıcının yazılımsal olarak geliştirmeye açık bir yapısı bulunmaktadır. Raspberry Pi üzerinde sıklıkla kullanılan *Camera* soketini kullanmayan, SDA ve SCL bağlantı noktaları ile haberleşme sağlayan bir görüntüleyici çeşididir. Termal görüntüleyici, doğal olarak, ortamdaki nesnelerin sıcaklık farkları ile kızılötesi ışınları da kullanarak görüntü algılamayı sağlar. Ancak, bu görüntüleme çeşidi enkaz gibi farklı parlaklık dereceleri bulunması mümkün olan mekanlarda tek başına yeterli olmamaktadır. Bu nedenle, elde edilen gerçek zamanlı termal görüntüler üzerinde dijital görüntü işleme süreçlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Prototipte gerçekleştirilen görüntü işleme süreçlerinde düşük frekanslı görüntüler filtrelenerek yüksek frekanslı görüntü elde edilmesi amaçlanmıştır. Enkaz altında daha önceki afetlerde normal kamera ile çekilmiş bir görüntünün bu çalışmada kullanılan görüntü işleme sonucu elde edilen çıktıları Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. (a) Yüksek geçiren filtre uygulanmış görüntü, (b) Histogram eşitlemesi uygulanmış görüntü

AMG8833 ile elde edilen ham görüntüler anlamlı bir görsel oluşturacak kadar net olmayabilir. Her ne kadar enterpole edilerek 64x64 piksellik bir çözünürlüğe ulaşırsa dahi, sıcaklık farkları ve kızılötesi ışınım ile görüntü tayini yaptığından dolayı çeşitli işlemlerden geçirilmesi elzem görülmektedir. Python 3.x üzerinde AMG8833 aracılığıyla elde edilmiş bir insan elinin ham görüntüsü Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 13. Enterpole edilmiş ve iterasyon uygulanmış kamera görüntüsü-insan eli

Motor yönelim hareketi, enterpole edilmiş görüntü matrisindeki en küçük sıcaklık değeri bulunarak ve bu değerin 26 °C'dan büyük veya küçük olup olmadığı test edilerek sağlanmıştır. İlgili değer 26 °C'dan büyük ise Raspberry Pi 4 üzerinde yer alan bir GPIO pinine lojik 1 sinyali gönderilmektedir. Eğer 26 °C'dan küçük ise aynı pine lojik 0 sinyali gönderilmektedir. Raspberry Pi 4 üzerinde yer alan GPIO pini Arduino UNO R3 üzerinde 2 nolu dijital yuvaya (D2) bağlanmıştır. Lojik sinyaller Arduino UNO R3 üzerinde atanan *termal* değişkeni üzerinden dijital değer olarak okunmaktadır. Bu değişken üzerinden lojik 0 değeri okunursa, motor yönelim hareketine devam etmektedir. Eğer lojik 1 değeri elde edilirse motor yönelim hareketini durdurmaktadır.

3.2 Gaz Algılama

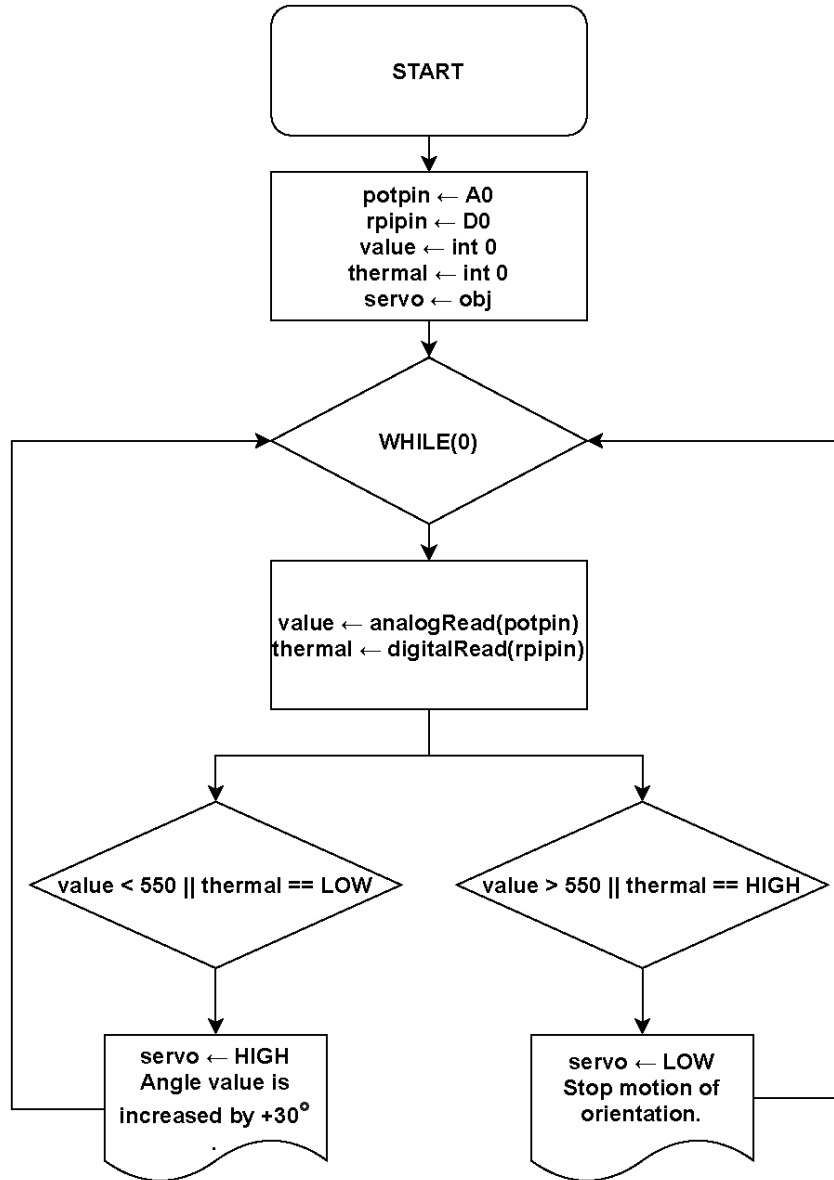
WSP2110 aseton algılayıcısı aslında uçucu organik bileşik adı verilen tüm gazların algılanabilmesi için kullanılan bir algılayıcı türüdür. Bu algılayıcı üzerinde GPIO, I²C protokolüne ait SDA ve SCL, SPI ve analog çıkış yuvaları bulunduğundan dolayı ekstra bir mikro denetleyici gerekmeksizin Arduino UNO R3 ve Raspberry Pi 4 ile de haberleşebilmektedir. Algılayıcı besleme gerilimi 5V olup 1-50 ppm gaz algılama aralığına sahiptir. Cihazın kalibre edilebilmesi için ön ısıtma olarak tabir edilen bir işleme alınması gerekmektedir. Bu işlemin cihaz bir kere çalıştıktan sonra toplam 120 saat boyunca uygulanması gerekmektedir. Ancak algılayıcının çalışması, aseton gazının varlığı ve yoğunluğunun algılanması için bu işleme gereksinim duyulmamaktadır. Cihaz üzerinde yer alan potansiyometre, algılayıcının hassasiyetini ayarlamak için kullanılmaktadır.

WSP2110 algılayıcısı Arduino UNO R3 üzerinden A0 olarak adreslenen analog giriş aracılığıyla kontrol edilmiştir. Cihazın gaz algılama değerleri aseton gazı kullanılarak deneysel olarak elde edilmiştir. Eğer analog girişten okunan değer 550 değerinden düşük ise servo yönelim hareketini devam ettirmektedir. Analog girişten okunan değer 550 değerinden yüksek ise motor yönelim hareketini durdurmaktadır.

3.3 Otonom Hareket

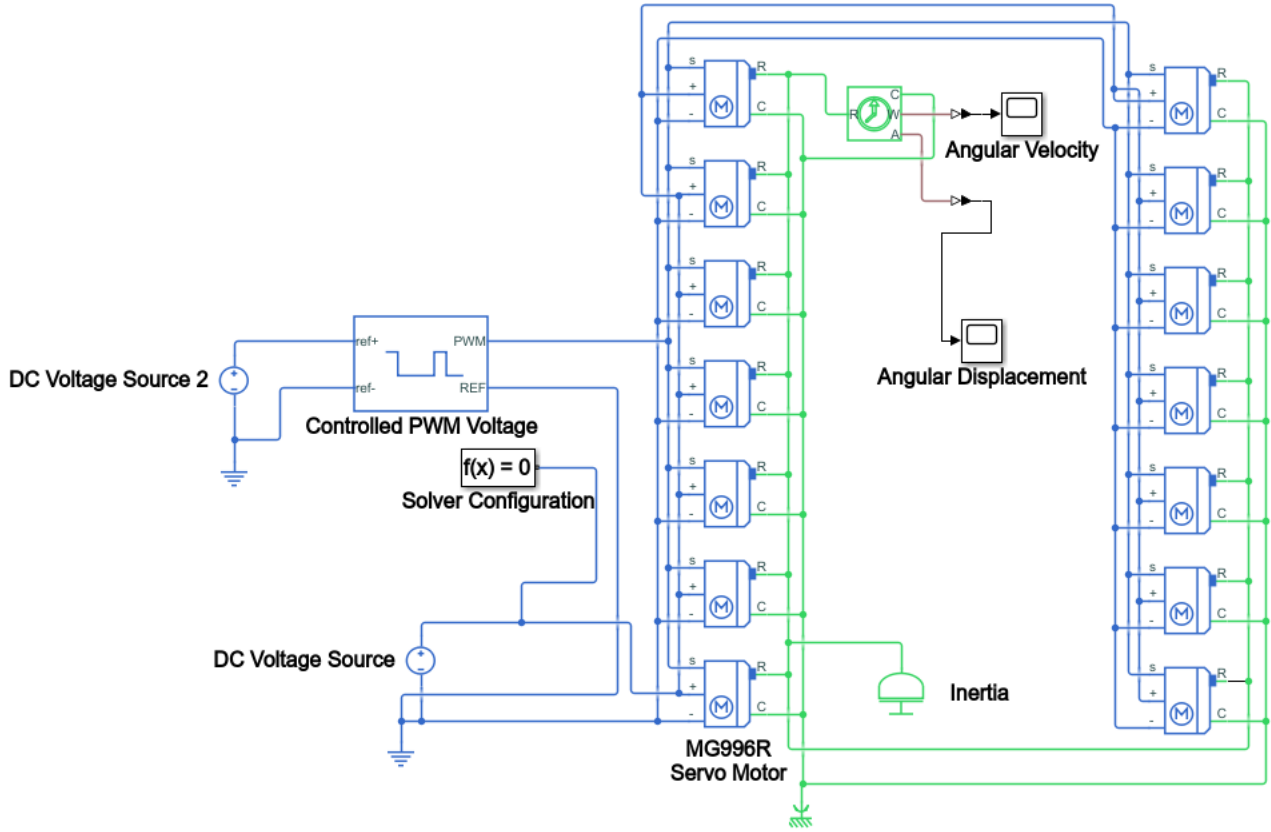
Biyonik yılan robotun otonom olarak hareketini gerçekleştirebilmesi için mevcut algılayıcılardan gelen veriler bir algoritma aracılığıyla birlikte değerlendirilerek daha sağlıklı bir

yönelim hareketi gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Otonom hareketin basitleştirilmiş algoritması Şekil 14’te gösterilmiştir.



Şekil 14. Otonom hareketin basitleştirilmiş algoritması

Prototipin oluşturulma aşamaları yürütülürken 14 motorlu bir sistem de denenmiştir. Bu sistemin Simulink® üzerinde benzetimi yapılmıştır. Benzetim yapılırken servo motorların açısal hız yanıtı ve açısal yer değiştirme yanıtının gözlenebilmesi amaçlanmıştır. Sistemin açısal hız ve açısal yer değiştirme benzetimi Şekil 15’te verilmiştir.



Şekil 15. Tasarlanan Sistemin Simulink® Modeli

4. SONUÇ

Bu çalışmada biyonomik bir yılan robotun matematiksel modellemesi gerçekleştirilmiş olup simülasyon çalışmalarından elde edilen veriler doğrultusunda prototip imalatı gerçekleştirilmiş, robotun sürüklenme hareketi, termal görüntü aktarımı ve asetona gazı algılaması için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Kinematik sinüs konfigürasyonu hesaplamaları baz alındığında deneylerde sinüsoidal dalgalanma hareketlerinin gerçekleştirilebildiği görülmüştür. Biyonomik yılan robot, dalgalanma hareketi sayesinde ileri doğru hareket edebilmektedir. Ancak, ileri doğru salınım hareketi gerçekleştirilememektedir. Motor uç işlevcilerin mekanik dayanımının yüksek olması için 3B basım yapılırken kenar kısımlarına dolgular yerleştirilmesi gerektiği görülmüştür. Dolgusuz baskı yapıldığında malzemenin mekanik koşullara dayanımının zayıf olduğu ve kırıldığı deneysel olarak gözlemlenmiştir. Motor sabitleme bloğunun ise motorlara fazla yüklenme durumunda yaşanacak ısınmalarla bozulmaya uğrayabileceği tespit edilmiştir. Bunu önlemek için motoru komple kaplamayacak şekilde bir tasarım yapılması yüksek verim açısından önemlidir. Servo motorlar, motor sabitleme bloğu ve motor uç işlevcisine monte edilirken maksimum dönme açısının yarısı olan 60° açı ile pozisyonlanmalıdır.

Biyomimetik robot çalışmalarında mekanik sağlamlık ve yüksek tork sağlamak en temel şartlardandır. Ayrıca tüm elektronik ekipmanların birbiriyle anlık ve kesintisiz bir şekilde iletişim kurabilmesi gerekmektedir. Bu haliyle gerçekleştirilen prototip; düşük maliyetli, yüksek manevra kabiliyetine ve yüksek teknolojili algılayıcılara sahip olup afetlerde canlıların hızlıca tespit edilerek kurtarılmasını sağlayabilecek temel niteliklere sahiptir. Çalışmanın devamında robotun amacına uygun gerçek ortam koşullarında test edilmesi sağlanarak hem mekaniksel hem elektronik donanım yapısı bakımından ve yazılımsal olarak geliştirilmesi gereken hususlar üzerine çalışılacaktır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-B Üniversite Öğrencileri Sanayiye Yönelik Araştırma Projeleri Desteği Programı tarafından 2020/1.Döneminde 1139B412000646 başvuru numarası ile desteklenmiştir. Ayrıca fikir, öneri ve tecrübeleri ile katkı sunan Manisa Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığına ve personeline teşekkür ederiz.

6. ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

7. YAZAR KATKISI

Gökhan ÇETİN, Esra AKSAKAL ve Sezai TAŞKIN çalışmanın tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, modelleme ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması, fikrinsel içeriğin eleştirel incelenmesi, son onay ve tam sorumluluk süreçlerine katkı sağlamıştır.

8. KAYNAKLAR

- Anonim, 2022a. Multiwarn II-The Ultimate in Gas Detection, <http://literature.puertoricosupplier.com/075/JN74477.pdf> (Erişim Tarihi: 10.02.2022)
- Anonim, 2022b. Continuous Wave Peristaltic Locomotion, Biologically Inspired Robotics, https://engineering.case.edu/groups/biorobots/continuous_wave_peristaltic_motion (Erişim Tarihi: 01.03.2022)
- Anonim, 2022c. Robo Worm, Emamidesign, <https://www.emamidesign.de/produktdesign-innovationen/roboter- robo-worm.html> (Erişim Tarihi: 01.03.2022)
- Anonim, 2022d. AMG88xx High Precision Infrared Array Sensor based on Advanced MEMS Technology. <https://industrial.panasonic.com/cdbs/www-data/pdf/ADI8000/ADI8000C66.pdf> (Erişim Tarihi: 10.02.2022)
- Anonim, 2022e. Gas Sensor, <https://www.winsen-sensor.com> (Erişim Tarihi: 05.01.2022)
- Anonim, 2022f. MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo. https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf (Erişim Tarihi: 10.02.2022)
- Anonim, 2022g. PCA9685 16-channel, 12-bit PWM Fm+I2C-bus LED controller <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PCA9685.pdf> (Erişim Tarihi: 05.02.2022)
- Bar-Cohen Y., Biomimetics: Biologically Inspired Technologies, CRC Press, Taylor&Francis, California, USA, 2006.
- Çalışan, M. Türkoğlu, I., “Termal Kamera Görüntülerinin İyileştirilmesi”, 7th International Advanced Technologies Symposium (IATS’13), 30 October-1 November 2013, Istanbul, Turkey
- Firester, A., WormBot: Mimicking Earthworm Locomotion, J. Dawn. Res., 2019.
- Firger J., How a Robot Worm Could Make Colonoscopies Fun (Really), Newsweek, (2021, 29 April). [Online]. Available: www.newsweek.com/2017/05/05/robot-worm-make-colonoscopies-fun-588982.html.
- Guizzo E., HiBot Demos New Amphibious Snake Robot, IEEE Spectrum: Technology, Engineering, and Science News, 2013.

- Hirose, S., Yamada H., Snake-like robots, IEEE Robotics & Automation Magazine, 16 (1), 88-98, 2009.
- Huo R., Agapiou A., Bocos-Bintintan V., Brown L. J., Burns C., Creaser C. S., Devenport N. A., Gao-Lau B., Guallar-Hoyas C., Hildebrand L., Malkar A., Martin H. J., Moll V. H., Patel P., Ratiu A., Reynolds J. C., Sielemann S., Slodzynski R, Statheropoulos M., Turner M. A., Vautz W., Wright W. E., Thomas C. L. P., The trapped human experiment, Journal of Breath Research, 5, 2011.
- Hutson M., Searching for Survivors of the Mexico Earthquake-with Snake Robots, www.sciencemag.org/news/2017/10/searching-survivors-mexico-earthquake-snake-robots (Erişim Tarihi: 01.03.2022)
- Kılıçaslan A., Yılan tipi hareket mekanizması ve kontrolü, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, İstanbul, 2005.
- Wang X., Zhang Q., Shen D., Chen J., A Novel Rescue Robot: Hybrid Soft and Rigid Structures for Narrow Space Searching, IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2019.
- Wiltz C., New Soft Actuator Creates Robots that Breathe, Design News, <https://www.designnews.com/automation-motion-control/new-soft-actuator-creates-robots-breathe> (Erişim Tarihi: 01.03.2022)
- Zhao L., Sun G., Li W., Zhang H., The design of telescopic universal joint for earthquake rescue robot, Asia-Pacific Conference on Intelligent Robot Systems (ACIRS), 2016.