



ULUBORLU MESLEKİ BİLİMLER DERGİSİ (UMBD)

Uluborlu Journal of Vocational Sciences

<http://dergipark.gov.tr/umbd>

ARAZİ UYGULAMALARI İÇİN İNSANSIZ YER ARACI GELİŞTİRİLMESİ

Salih VARDİN¹, Pınar DEMİRCİOĞLU^{1*}, İsmail BÖĞREKÇİ¹

¹*Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Aydın, Türkiye.

* Sorumlu Yazar: pinar.demircioglu@adu.edu.tr

(Geliş/Received: 25.04.2021; Kabul/Accepted: 23.12.2021)

ÖZET: Bilim ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte, hiper-yüksek hassasiyetli sensörlerin ve sağlam, yüksek potansiyelli kontrol sistemlerinin geliştirilmesiyle insansız kara araçları önemli hale gelmiştir. Ayrıca insansız kara aracının çeşitli alanlarda uygulamaları bulunmaktadır. Sivil kullanım için, karmaşık yol durumlarının ve sürücülerin dikkatsizliklerinin neden olduğu kazaları ortadan kaldırarak büyük kayıplardan kurtulmayı bu tarz araçlar mümkün kılabilir. Ek olarak, yine insansız kara aracının kullanımı askeri uygulamalarda askerlerin tehlike altında kalmasını engellemekte potansiyel katkılarda bulunmaktadır.

Bu çalışmada, kompakt şasisli ve dört tekerden tahrikli bir insansız kara aracı geliştirilmiştir. İnsansız kara aracı, düşük hız (< 1 m/s) uygulamaları için geliştirilmiştir. Üretilen prototip 5 kg taşıma kapasitesine sahiptir ve bir verici yardımıyla uzaktan kontrol edilebilmektedir. Araç dizaynı sonlu elemanlar metoduyla incelenmiş ve yapısal dayanımı uygun bulunmuştur. Yapılan arazi testlerinde de prototipin gerçek performansı incelenerek yapısal dayanımı doğrulanmıştır. Ortaya çıkarılan prototip düz bir çizgide 6 km/h azami hıza ulaşabilmekte, tam taşıma kapasitesi yüklü iken 28 dakika aktif olabilmekte ve sıfır derece dönme yarıçapı ile dönebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sonlu Elemanlar Metodu, Robot Sistemleri, İnsansız Kara Aracı (İKA).

DEVELOPMENT OF AN UNMANNED GROUND VEHICLE FOR OFF-ROAD APPLICATIONS

ABSTRACT: With the development of science and technology, unmanned ground vehicles (UGVs) have become important with the development of hyper-high-precision sensors and robust, high-potential control systems. In addition, the unmanned ground vehicle has applications in various fields. For civilian use, such vehicles make it possible to avoid major losses by eliminating accidents caused by complex road situations and driver inattention. In addition, the use of UGVs potentially contributes to preventing endangerment of soldiers in military applications.

In this study, an unmanned ground vehicle (UGV) with a compact chassis and four-wheel drive was developed for low speed (<1 m/s) applications. The prototype produced has a carrying capacity of 5 kg and can be controlled remotely with the help of a transmitter. The vehicle design was examined by FEM (Finite Element Method) methods and its structural strength was found to be suitable. In the field tests, the actual performance of the prototype was examined and its structural strength was verified. The prototype that has been uncovered can reach a maximum speed of 6 km/h in a straight line, can be active for 28 minutes with full load capacity and can turn with a zero degree turning radius.

Keywords: FEM Analyses, Robotic Systems, Unmanned Ground Vehicles (UGVs).

1. GİRİŞ

Robotik Teknolojinin ve robotik sistemlerin önümüzdeki on yılda baskın olacağı beklenmektedir. Yapılan araştırmalarla ve ilerlemelerle birlikte iş hayatını ve ev hayatını her yönde etkileyecek ve değiştirecektir. Robotik, üretim süreçlerinde rekabet gücünün ve esnekliğin çok önemli bir bileşeni olarak kabul edilmektedir. Özel görev yeteneklerine sahip farklı tasarımlar, robotlar ve alt sistemlerde üretim dışı alanlarda kullanılabilir. Tarımsal uygulamalar, ulaşım, sağlık hizmetleri, güvenlik (askeri veya kamu) ve daha fazla hizmet, güçlü bir şekilde gelecekteki kullanımlar olarak adlandırılır, bu nedenle küresel robot satışları doğal olarak oldukça artacaktır [1-3]. Tarım, ulaştırma, sağlık, güvenlik ve kamu hizmetleri gibi üretim dışı alanlarda kullanılan ve sanayide küçük paya sahip olan hizmet robotlarının, küresel robot satışlarının en büyük alanı olması beklenmektedir.

Bir robot olarak nitelendirebilmek için bir makine şunları yapabilmelidir:

- Algı: çevreden bilgi almak
- Farklı görevleri yerine getirme: Hareket etme, manipülasyon veya nesnelere kullanma gibi fiziksel bir şey yapmak
- Yeniden programlanabilmek: Farklı şeyler yapabilir
- Otonom ve / veya insanlarla etkileşime girmek

Bir robot, çevresi hakkında bilgi toplayan (algılayan) ve bu bilgileri kullanan (düşünen) işleri yapmak için talimatları takip eden (hareket eden) bir makinedir. Robotlar, belirli işlevleri için özellikle tercih edilebilirler çünkü insanlardan farklı olarak, asla yorulmazlar; rahatsız edici hatta tehlikeli olan fiziksel koşullara katlanabilirler; havasız koşullarda çalışabilirler; tekrardan sıkılmazlar; ve görevleri boyunca dikkatleri dağılmaz. Robotların sınıflandırılması hareketin türüne göre yapılır. Robotlar, tekerlekler, bacaklar, kanatlar, pervaneler ve diğer araçlar gibi çeşitli hareket sistemlerine sahip olabilir. Bu tanıma göre, insansız kara araçları tekerlekli mobil robot sistemlerine karşılık gelmektedir [4].

Papadakis, bilgisayarla görme, makine öğrenimi, robot algısı ve yapay zeka gibi farklı disiplinlerin insansız kara aracı hareket planlaması için bir alan oluşturduğuna değindi. İlgili tüm metodolojiler arasında, 3B arazi bilgileri kullanılmış ve bu bilgiler LIDAR, renk, stereo menzil verileri veya çeşitli diğer sensörler aracılığıyla elde edilmiştir. Verilerin toplanması genellikle bu verilerin ve potansiyel olarak dinamik veya statik araç modellerinin bir kombinasyonunu içeriyordu ve arazi ile aracın kendisi arasındaki etkileşimi ifade ediyordu. Papadakis'in araştırması, gelecekteki gelişmelere ilham vermek için alanda kullanılan disiplinler arasındaki kritik benzerlikleri ve farklılıkları ifade ederek, çeşitli disiplinlerin peyzajın algılanmasına ve analizine katkılarının altını çizmiştir [5].

Zhang vd. koordinatları olmayan kablosuz sensör ve aktüatör ağlarını kullanan insansız kara aracı için bir navigasyon algoritması önerdi. Algoritma, biri hedef noktadan atlama seviyesi adı verilen bir miktarda hesaplanan iki adımdan oluşuyordu. İkinci adımda, insansız kara aracını hedef noktaya yönlendirmek için potansiyel seçimler elde etmek için düğüm kümeleri değerlendirildi. Aracın ana yönü hedef düğümler tarafından belirlenirken, alternatif sürüş yolları kontrol edilmiş ve araç üzerine monte edilen dinleyiciler tarafından insansız kara araçlarının hareketi kontrol edilmiştir [6].

Vandapel vd. insansız bir kara aracının performansını özellikle bitki örtüsüyle kaplı ortamlarda iyileştirmek için 3B verilerin kullanımını inceledi. Havadan 3B verilerle birlikte 3B yerel yer merdiven verilerinin kaydı, mutlak yerelleştirmeyi mümkün kıldı ve veriler

ayrıca planlamacı tarafından ihtiyaç duyulan gezilebilirlik haritalarını hesaplamak için kullanıldı. Yük taşıma yüzeyinin geri kazanımı, bitki örtüsünün hem yer hem de hava verilerinin kullanımıyla filtrelenmesiyle elde edilmiştir [7].

Chengalva, sensör sistemi ve bilgisayar sistemi olan insansız bir kara aracından bahsetmiştir. Yazarın patentinde belirtilen araç, uzak bir konumla haberleşebiliyordu ve sensör sisteminin verileri, operatörlerin uzaktan kumanda sistemi aracılığıyla gönderdiği bir dizi işlemi çalıştırmak için bilgisayar sistemi tarafından değerlendirilmiştir [8].

Günümüzdeki araştırmaların etkin noktası, modellenmesi ve kontrolü için uygun bir sistem olan sürü oluşumuna odaklanılmıştır. Robot sistemler için en fazla tercih edilen kontrol yöntemleri, yapay potansiyel enerji alanı yöntemi [9] ve davranışa dayalı yöntemdir [10].

Yörünge planlaması açısından; sürüş süreci UGV, pürüzsüzlük, konfor gereksinimlerini karşılamalı ve çarpışmadan kaçınılmalıdır [11]. Yörünge planlama algoritmaları harita tabanlı yapım yöntemlerine göre geleneksel planlama yöntemleri ve akıllı planlama yöntemleri olarak gruplandırılabilir.

Harita tabanlı yapım yöntemleri; görünürlük grafik metodu [12], Voronoi diyagramı [13], hücre ayrışımı [14] ve ızgara yöntemidir [15]. Harita tabanlı yapım yöntemleri ile, sürüş ortamı görsel olarak görüntülenebilir, takip planlaması kolaylıkla tamamlanabilir ve engellerden kaçınılabilir.

Geleneksel planlama yöntemlerinden en fazla tercih edilenleri ise; yapay potansiyel alan yöntemi ve hızla rastgele ağaç keşfi [16] yöntemleridir. Bu tür yöntemler, yüksek doğrulukla yörünge planlaması için uygun olabilir; ancak gerçek zamanlı sistemlere uygulanamazlar. Akıllı planlama yöntemleri arasında genetik algoritma [17], sinir ağı algoritması ve karınca kolonisi algoritması [18] bulunmaktadır. Bu tür yöntemler en iyi yörüngeyi elde edebilirler ancak belirli koşullar altında, karmaşık algoritma yapısı gibi bazı sorunlar oluşturabilir.

İlerleyen bölümlerde çalışmada kullanılan yöntemler açıklanmış ve ardından uygulanan deneysel çalışma ile sonuçlar ve ilerisi için planlanan çalışmalar sunulmuştur.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmanın konusunu belirleyen ihtiyaçlar:

- 1- Arazi şartlarında görev yapabilecek araçlara tarımsal, endüstriyel, askeri uygulamalar gibi alanlarda ihtiyaç duyulması,
- 2- Askeri, tarımsal, endüstriyel vb. birçok alanda otonom ve yarı otonom sistemlerin revaçta olması,
- 3- Robotik sistemlerin önümüzdeki yıllarda tüm alanlarda önemli rol oynayacak olması,
- 4- Bu tarz sistemlerin incelenerek ve bu sistemler geliştirilerek mevcut teknolojik alanda ülkemizin de katkı sağlamasını sağlamak ve teknolojinin bu alanda yakından takip edilmesinin önemli olması.
- 5- İnsansız Kara Aracı ile insanlar için tehlikeli olabilecek ya da insanlar tarafından gerçekleştirilmesi mümkün olmayan uygulamaların gerçekleştirilebilir olmasıdır.

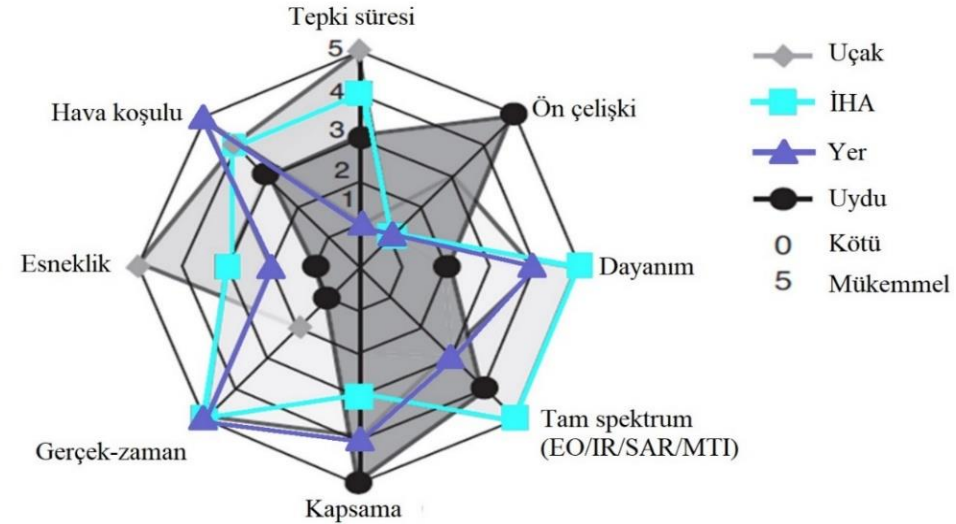
Bu çalışmada, İnsansız Kara Araçları (İKA) olarak sınıflandırılan insansız robot geliştirilmiştir. Güvenli seyir için bir batarya seviye sensörü entegre edilmiştir. Fırçalı DC

motorlar İKA için aktüatör üniteleri olarak kullanılmıştır. Kara robotları, navigasyon sensörleri olan IMU ünitelerini içermektedir ve İKA otonom olarak yol bulma, spreyleme veya farklı görev uygulamaları için ek bileşenleri ve/veya elektronik birimleri destekleyebilmektedir. Otonom seyir için İKA'daki ana kontrol üniteleri ile bir ivme sensörü, bir yükseklik sensörü, bir GPS ve bir pusula kullanılmıştır. Güvenlik nedenleriyle, robot uzaktan çalıştırılmış ve acil durumlarda durdurulabilmiştir.

İnsansız kara aracı (İKA) yerde çalışan ve üzerinde yerleşik insan operatörü olmayan bir araçtır. Bu insansız araçların çevreyi gözlemlemek ve hareketleri hakkında karar verebilmek için sensörleri bulunmaktadır. İnsansız kara aracını kontrol etmek için kullanılan teknikler;

- Komut kontrol modu: Bu mod, İKA'na monte edilen kameradan alınan canlı video sinyaline dayalı olarak, karar verme ve navigasyon komutları sağlamayı dikkate alır.
- Hareket kontrol modu: Bu mod el hareketlerini dikkate alır. El hareketleri IMU birimi tarafından eşleştirilir ve haritalanır, daha sonra aracı yönlendirmek için komutlar İKA'na gönderilir.
- Raptor kontrol modu: Bu mod, görüntü işleme sistemi aracılığıyla uygulanan hareket izleme sistemini dikkate alır.

Hava ve kara taşıtlarının güçlü ve zayıf yönleri karşılaştırmalı olarak Şekil 1'de belirtilmiştir. Şekil 1, kara araçlarının zorlu hava koşulları altında gerçek zamanlı olarak olağanüstü operasyonel yeteneklere sahip olduğunu ancak sınırlı esneklikle daha yavaş tepki sürelerine eğilimli olduklarını göstermektedir. Ek olarak, kara araçları, dayanıklılık düşünüldüğünde insansız hava araçlarından sadece ikincidir ve kamufaj olanakları geniştir ve çevre koşullarına uyacak şekilde kolayca uygulanabilmektedir.



Şekil 1. İnsansız Kara Araçlarının (İKA'nın) diğer insansız sistemlerle çeşitli özelliklerinin karşılaştırılması.

İKA için, fırçalı DC motor aracı hareket ettirmek amacıyla, elektrikli hidrolik direksiyon aracı yönlendirmek amacıyla, diğer bileşenlerin de montaj yapılacağı şasi ile kullanılması planlanmış ve ön testler yapılmıştır. Öngörülen tasarım parametreleri Tablo 1'de listelenmiştir. Tablo 2'de insansız kara aracı için hesaplanan değerler gösterilmiştir.

Tablo 1. İnsansız Kara Aracı için Öngörülen Değişkenler.

| Motor Özellikleri | | |
|--------------------------|------|----------|
| Voltaj | 24 | Volt |
| Akım | 62,5 | Amper |
| Adet | 2 | |
| Batarya | | |
| Voltaj | 22,2 | Volt |
| Seri | 1 | |
| Akım-Saat | 10 | Ah |
| Paralel | 8 | |
| Taşıma Kapasitesi | | |
| Azami kapasite | 100 | Kilogram |
| Tekerler | | |
| Çap | 32 | cm |
| Motor Hızı | 5400 | rpm |
| Redüksiyon | 20 | |
| Çıkış Şaft Hızı | 270 | rpm |

Tablo 2: İnsansız Kara Aracı için Hesaplanan Değerler

| Operasyon Süresi | |
|-------------------------|-------------------|
| Azami | |
| Minimum | 35,52 |
| Sağlanacak Maksimum Güç | Elde Edilecek Güç |
| 1776 W | 3000 W |
| Açısal Hız | |
| 565,2 | rad/s |
| Tork | |
| 5,31 | Nm |
| Araç Hızı | |
| 1,44 | m/s |
| 5,184 | km/h |








Şekil 2’de güç elemanı olarak seçilen fırçalı DC motor ve Şekil 3’te de İnsansız Kara Aracı için elektronik destekli yönlendirme sistemi gösterilmiştir. Tablo 3’te ise İKA’nda ek olarak kullanılacak elemanlar verilmiştir.

**Şekil 2.** İnsansız Kara Aracı (İKA) için seçilen fırçalı DC motorlar.

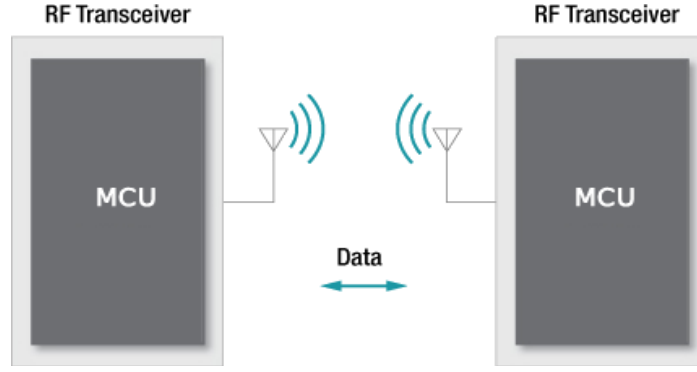


Şekil 3. İnsansız Kara Aracı (İKA) için elektronik destekli yönlendirme sistemi.

Tablo 3. İnsansız Kara Aracıyla (İKA) Kullanılabilecek Diğer Bileşenler.

| | | |
|--|---|---|
|  <p>Akım Sensörü</p> |  <p>Pusula</p> |  <p>Suya Dayanıklı SONAR Sensorü</p> |
|  <p>Voltaj Sensorü</p> |  <p>Dokunmatik Ekran Tft LCD</p> |  <p>Slip Ring</p> |
|  <p>NEO-7 Serisi u-blox 7 GNSS modülü</p> | | |

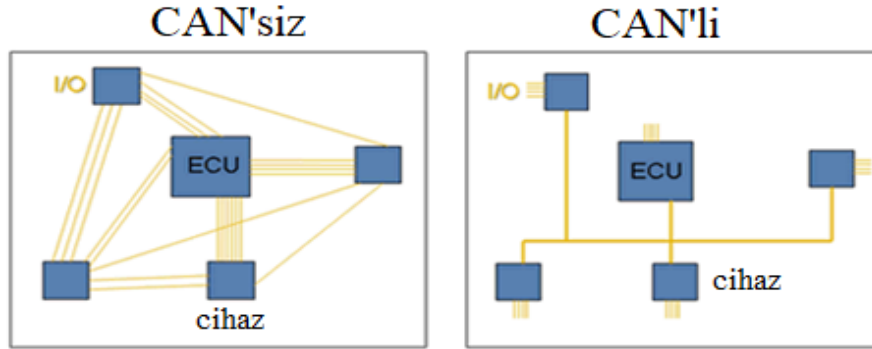
Robotlar ve iç üniteler arasında iletişim kurmak için bir iletişim sistemi geliştirilecektir. İletişim sistemi, iç ve dış iletişim olarak ikiye bölünecektir. ECU'lar (Elektronik Kontrol Üniteleri) arasında iletişim kurmak için iç iletişim kullanılacaktır. Burada iç modüller arası haberleşme için SPI (Seri Periferik Arabirim) teknikleri kullanılacak, I²C (Inter Entegre Devre) ve CAN veri yolu (Kontrol Alanı Ağ veri yolu), MCU'lar (Mikro Kontrol Üniteleri) arasında veri aktarımı için kullanılacaktır. RF sinyalleri (Şekil 4) kullanılarak robotlar arasındaki harici iletişim sağlanacaktır. Robotlar ve kontrol istasyonları arasında veri aktarımı için uzun menzilli kablosuz modüller kullanılacaktır. Güç düzenleme birimleri, pil seviye tespit üniteleriyle birlikte İKA'nda yer alacaktır.



Şekil 4. RF yoluyla iletişim.

Kara araçları ve diğer araçlar daha çevre dostu ve teknolojik açıdan daha gelişmiş hale geldikçe, merkezi bir ağ sistemine olan ihtiyaç giderek daha önemli hale gelmiştir. Bu merkezi ağ sistemi, araç boyunca çalışan tüm modülleri birleştirerek etkin ve verimli bir şekilde çalışabilmelerini sağlamaktadır; örneğin, motordan alınan araç hızı şanzımana bildirilir, bu da gerekli durumda vites değiştirmek için diğer modüllere yönlendirilir. Tüm bu bireysel modüllerin birbirine bağlanması çok karmaşık olabileceğinden, aracı verimli bir şekilde çalıştırmak için merkezi bir ağ sistemi tercih edilmiştir. Denetleyici Alanı Ağı veya CAN veriyolu, ana bilgisayar olmayan araçlarda kullanılan bu merkezi ağ protokollerinden biridir [19].

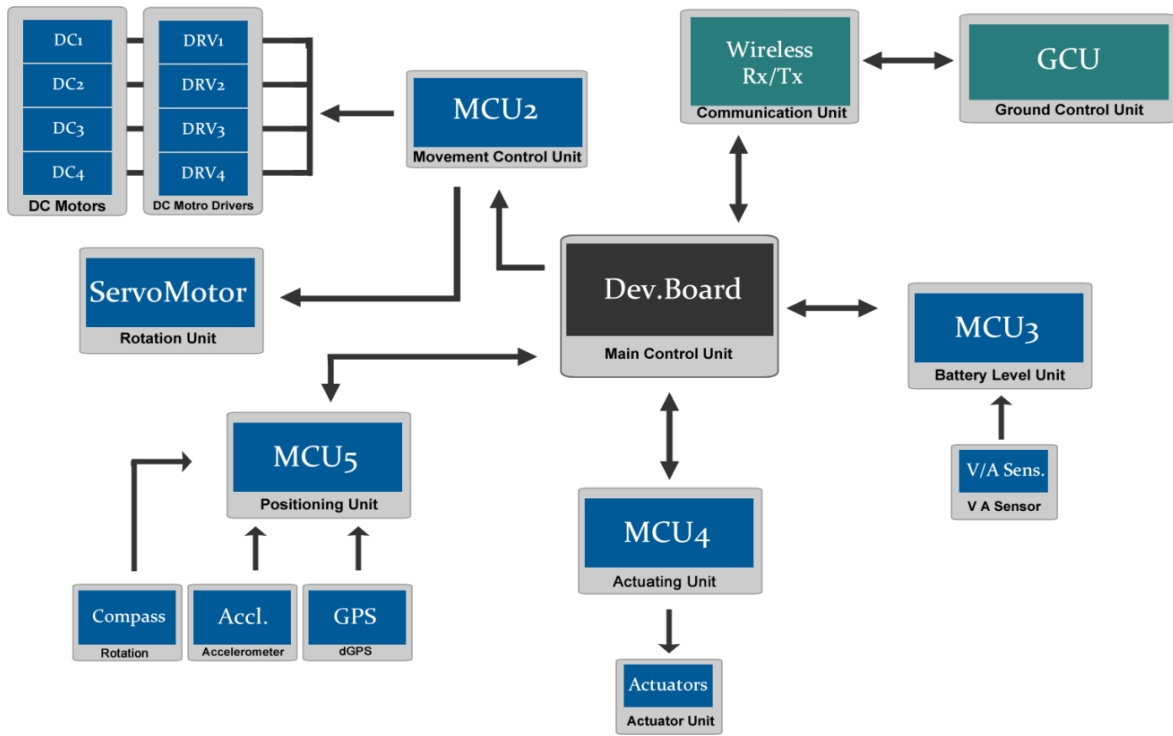
CAN ilk olarak otomotiv sektörü için oluşturulmuştur, bu yüzden en yaygın uygulama araç içi elektronik ağı uygulamasıdır. Ancak, diğer endüstriler son 20 yılda CAN'ın güvenilirliğini ve avantajlarını fark ettikleri için, çok çeşitli uygulamalar için CAN veriyolunu benimsemiş ve kullanmışlardır. CAN ayrıca, uçuş sensörleri, navigasyon sistemleri ve kokpitte araştırma PC'leri olan uçaklarda da uygulamalara sahiptir. Uçak içi veri analizinden yakıt sistemleri, pompalar ve doğrusal aktüatörler gibi uçak motoru kontrol sistemlerine kadar pek çok havacılık alanında CAN veriyolu kullanılmaktadır [20].



Şekil 5. CAN veriyolunun önemli ölçüde kablolamayı azaltması.

- CAN veriyolu, 5000 m'ye kadar ağ mesafeleri için hat tipi bir topolojiye sahiptir. CAN 2-telli bir veriyolu olup, arabirim tekrarlayıcılarla ağ mesafeleri sınırsız olarak genişletilebilmektedir.
- CAN, seri haberleşmeye iyi bir alternatif olarak gösterilmektedir.
- Farklı bileşenleri (ışık şalterleri, lambalar, panjurlar ve camlar gibi) bireysel bir sisteme bağlamak için kullanılabilir, ki bu da değişkenlerin serbestçe ayarlanabilmesini sağlamaktadır.
- Dağıtılmış bir kontrol olduğu için Şekil 5'te gösterildiği gibi kablolamayı azaltır ve bu da sistem performansının artırılmasını sağlar.
- Farklı elektrik ortamlarında çalışma yeteneği sağlamaktadır.

Dünya çapında UGV pazarı hızla genişlemektedir. Araştırmalarda insansız araçlara (UGV'ler ve UAV'ler) olan ilgi, düşmanca ortamların denetlenmesi, altyapı bakımı ve hassas tarım gibi sivil ve askeri uygulamalarda önemli ölçüde artmıştır. Bu gibi durumlarda, insansız bir kara aracı (UGV) veya bir UGV takımı, alanların denetimi, kara mayınlarının konumu ve silahsızlanma, arama ve kurtarma misyonları, tuzak / eskortluk görevleri vb. uygulamalarda etkin şekilde rol alabilmektedir. UAV-UGV işbirliğinin özel durumu düşünüldüğünde, bir UAV ufkun büyük bir görünümünü veya altındaki alanı görmek için dikey yer değiştirmesini kullanabilirken, UGV olay yerindeki belirli bir nesneyi yaklaşma suretiyle ayrıntılarla gözlemleyebilir. Tüm UGV üniteleri modüler üniteler olarak geliştirilecektir. Şekil 6, sürücü kontrolü, konumlandırma, iletişim, sensörler, uzaktan kumanda ve ana kontrol ünitesi için modülleri göstermektedir. Bu şekilde yeşil renk, yer kontrol ünitelerini, mavi renk UGV'leri ve ünitelerini ve koyu gri ise UGV'ler üzerinde ana kontrol ünitesini belirtmek için kullanılmıştır. UGV ana çerçevesinin prototiplenmesi sırasında, bu üniteler UGV'ler üzerindeki ana kontrol ünitesine modüller olarak entegre edilecektir.



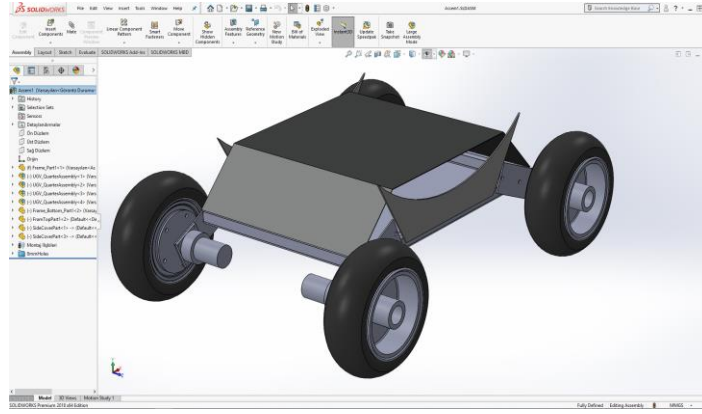
Şekil 6. UGV blok diyagramı.

Çalışmada katı modelleme ile tasarımlar oluşturulmuştur. Her bir parça ayrı ayrı tasarlandıktan sonra 3 boyutlu şekilde modellenmiştir. Katı modelleri oluşturulan parçalar montajlanmıştır. Sonlu elemanlar analizi yöntemleri ile Şasi üzerinde mukavemet hesapları kontrol edilmiştir. Analizler sonucunda uygun bulunan boyutlarda imalatlar gerçekleştirilmiştir. Elektronik kartların ve elemanlarının entegrasyonu yapılarak, tüm sistem oluşturulmuştur.

3. DENEYSEL BULGULAR

Tasarım ve malzeme seçimi sırasında maliyet ve verimlilik dikkate alınmıştır. Aracın ağırlığı, aktif çalışma süresi, çevresel koşullar (eğim ve sürtünme katsayısı gibi) ve yuvarlanma direnci ile birlikte faydalı yük kapasitesi olarak önemli parametreler seçilmiştir. Aracın geliştirilmesi için aşırı tasarım koşulları, düşük hızlı ($\sim <1$ m/s) operasyonlar için kumlu yüzeyde 10° eğim

olarak alınmıştır. Bileşenleri çizmek için CAD yazılımı kullanılmıştır, daha sonra oluşturulan bileşenler bilgisayar ortamında tam modelin elde edilmesi için bir araya getirilmiştir. Motor tutucu plakalar ile birlikte şase profili için malzemeler alüminyum 6063 T6 olarak seçilmiştir. Jantlar ve tekerlek-motor mili bağlantı diski için düz karbon çeliği seçilmiştir. Üst kapak ile alt plaka arasındaki iç boşluk, UGV hareketi için gerekli olan elektrikli bileşenlerin ve diğer bileşenlerin yerini belirlemek için kullanılmıştır. Tam montaj Şekil 7'de gösterilmektedir. Pillerle birlikte elektronik bileşenleri ve kabloları içerecek şekilde planlanmıştır. Üst kapak, bu hassas bileşenleri dış tehlikelerden, tozdan vb korması için eklenmiştir [4].



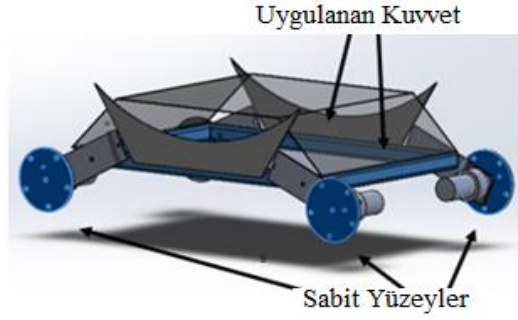
Şekil 7. CAD modelinin üst kapaklı tam montajı [4].

Fırçalı doğru akım (BDC) elektrik motorları, tasarlanan aracı hareket ettirmek için ana aktüatör olarak seçilmiştir. Röleler aracın yönünü değiştirmenin yanı sıra aracın her iki tarafında tekerlek dönüş yönünü kontrol ederek ileri ve geri hareketi de sağlar. Montajı yapılan prototip, iç mekan deneyleri sırasında birçok farklı kontrol algoritmasına tabi tutulur, uzaktan kumanda ile verimlilik ve kontrol edilebilirlik de değerlendirilir. Yapısal stabilite, düz çizgi hareketi ile birlikte dönme özellikleri araştırılır ve ayrıca iç mekan deney aşamalarında tork hesaplamaları ve güç üniteleri doğrulanır. Şekil 8, iç mekan test aşamalarını göstermektedir [4].



Şekil 8. UGV iç mekan test aşaması.

İnsansız kara aracı şasesi, CAD yazılım simülasyonları ile incelenir. Yapısal analiz için, tekerlek montaj diskleri, şasi 400N'luk bir kuvvete maruz bırakılırken sabit olarak alınır. Bu yukarıda bahsedilen kuvvet miktarı, araç şasisine dik olarak zemine doğru yönlendirilir. Şekil 9, UGV şasisinin sonlu elemanlar analizi için uygulanması gereken yüzeyler ve kuvvetler göstermektedir.



Şekil 9. UGV şasisinin sonlu elemanlar analizi için uygulanması gereken yüzeyler ve kuvvetler [4].

Off-road uygulamaları çoğunlukla önemli derecede sertliğe sahip sağlam bir gövde gerektirir ve zaman zaman manevra kabiliyeti ve sağlam hareket sağlamak için kavrama çok önemlidir. Bu engellerin üstesinden gelmek için bir araç geliştiren İKA, kızaklı direksiyon ve kabul edilebilir stabiliteye sahip kompakt bir şasi tasarımına sahiptir.

Dört tekerlekten hareket, önden çekişli veya arkadan çekişli muadilleriyle karşılaştırıldığında karmaşık arazi yüzeylerinde daha iyi güç dağıtımını sağlar. Tekerlek-şasi tertibatı, İKA'nı verimli bir şekilde ilerletmek için yeterli tutuş sağlamak için bir dönme bağlantısına ve yaylara sahiptir ve ayrıca araca daha zorlu ortamlarda ekstra uyarlanabilirlik sağlarlar.

Uygulanan prototip 0,1 - 1 m/s arasında değişen düşük hızlarda hareket edebilmekte ve sıfır yarıçaplı dönüş hareketi aracın kabiliyetleri dahilinde düşmektedir. Küçük genişliğe (385 mm) sahip kompakt şasi, ekin hatları arasında bitki örtüsüne zarar vermeden kara araçlarının hareket etmesini gerektiren dar alan uygulamaları veya tarımsal alan uygulamaları için uygundur.

İnsansız kara aracının birçok potansiyel faydasına bir örnek olarak, Şekil 10'da Gimbal denilen 'dengeleme halkası' ya da 'Yalpa' tertibatından oluşan bir sensör tutucu gösterilmektedir. Gimbal üzerine monte edilen herhangi bir sensör, engebeli arazi işlemlerinden kaynaklanan düzensiz hareketlerden ve titreşimlerden daha az etkilenecektir. Uygulanan İKA modelinin son hali Şekil 11'de gösterilmektedir.

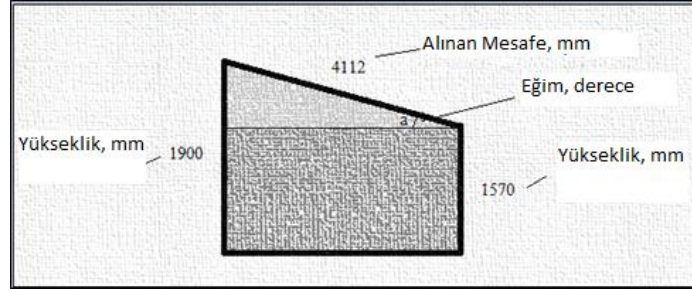


Şekil 10. İKA prototipinin son aşaması ve sensör tutucu [4].



Şekil 11. İKA prototipinin son aşaması [4].

Prototip maksimum 10 derecelik bir eğimde çalışacak şekilde tasarlanmış olup, eğimli yüzeylere tırmanırken tüketim oranındaki değişimi değerlendirmek için arazi deneyleri bir eğim üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerdeki eğim miktarı Şekil 12'de gösterilen ilişkiler kullanılarak elde edilmiştir. Deney ortamının gerçek eğimini belirlemek için 1 ve 2 numaralı denklemler kullanılarak eğimin yaklaşık 4.6 derece olduğu bulunmuştur.



Şekil 12. Eğim hesaplama çerçevesi [4]

$$\sin(a) = \frac{(1900 - 1570)}{4112} \quad (1)$$

$$a = \arcsin \left[\frac{(1900 - 1570)}{4112} \right] \quad (2)$$

Gaz kelebeği konum sensörü seviyeleri arttıkça tüketim oranı da artar ancak %55 görev döngüsünün üzerinde tüketim oranı dik bir eğimle artmaz. Prototip, kendini %55 gazın üzerinde rahatça ilerletebilmektedir. Öte yandan minimum %16'lık bir gaz kelebeği miktarı aracın hareket etmesi için yeterli olmaktadır, %55'e kadar gereken gaz kelebeği gücü istikrarlı bir şekilde yükselirken, %55 ile %100 arasındaki gaz kelebeği seviyeleri arasındaki tüketim oranlarında aşırı bir değişiklik gözlenmemektedir. Ancak dinlenme hızından uygulama hızlarına kadar bu değerler arasında ilk üç saniyede boşaltılan akım miktarının önemli ölçüde değiştiği gözlenmektedir. Üç saniye sonra, yuvarlanma direncini aşmak veya daha fazla hızlanmak için daha fazla güç gerekmediğinden, tüketim oranı %50 gaz kelebeği ile neredeyse aynıdır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada imal edilen İnsansız Kara Aracı düz bir yolda maksimum 6 km/s hızla hareket edebilmekte, araç skid direksiyonlu olduğu için minimum dönüş yarıçapı sıfıra ulaşabilmektedir. 5 kg'lık maksimum yük, hafif pürüzlü arazi yüzeylerinde güvenle taşınabilmektedir.

Bu çalışmada tasarlanan kompakt insansız kara aracı prototipi, düşük hız (< 1 m/s) arazi uygulamaları için analiz edilmiş ve imal edilmiştir. Gerçekleştirilen prototip, arazi deneyleri ile birlikte, asfalt yol yüzeylerine göre daha düşük sürtünme katsayısına sahip kumlu arazi koşullarında maksimum 5 kg taşıma yükünü güvenle taşıyabilmektedir. Potansiyel insansız kara aracı uygulamaları için hedef ortam olan engebeli arazilerde tutuşu artırmak için ilkel bir yay sistemi kullanılmaktadır. Şasi ağırlığının artırılmasının tekerleklerin tutuşunu iyileştirdiği ve böylece dönüşleri daha keskin hale getirdiği gözlemlenmiştir, ancak bu tür bir değişiklik, daha fazla güç tüketimi ile aktüatörlerin tepkisi daha yavaş olacağından aracın çevikliğini engelleyecektir.

İnsansız kara araçları (İKA) için birçok potansiyel uygulama bulunmaktadır. İKA'lar kara uygulamalarının güvenlik ve verimlilik seviyelerini arttırmaktadır. Bu uygulamalar arasında gözlem, keşif, hedef takibi, yol ve havaalanı güvenliği, mayın tarama, patlayıcı imha gibi uygulamalar sayılabilmektedir. Bunların yanı sıra, İKA'lar tehlikeli ve kirletilmiş ortamlarda da kullanılabilir. Yapılan çalışmalar öncelikli olarak kontrollü laboratuvar ortamlarında gerçekleştirildiğinden robotlara karşı olası çalışma ortamındaki insanların tutumu yeterince incelenmemiştir, insan ortamındaki İKA'ların insan tepkilerini inceleyen sınırlı sayıda araştırma bulunduğu görülmüştür. Son on yılda, hem sivil hem de askeri kullanım için İKA'lara yönelik bir ilgi patlamasına şahit olunmuştur. Özellikle, Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS), Işık Algılama (Lidar) ve yüksek çözünürlüklü (HD) stereo kameralarla güçlendirilmiş İKA'nın geliştirilmesine yönelik yoğun araştırma alanları gözlemlenebilmektedir. Simgesel belirleme ve tanıma konusuna dayanan eski nesil İKA'ların tam aksine, en yeni İKA'ları, GPS, görüntü işleme ve Lidar teknolojilerindeki son teknolojik atılımları kullanarak optimize edilmiş yol planlaması, gelişmiş engellerden kaçınma ve sağlam yol izlemesi gerçekleştirebilir duruma gelmiştir.

Çok amaçlı kompakt insansız kara araçları için gelecekteki çalışmalar, istenen dönüş hareketi özelliklerini kontrol etmek ve doğrulamak için geri bildirim mekanizması veya sensör sistemleri içerebilir. Öte yandan, özel amaçlı kontrol kartları ile otonom veya yarı otonom kontrol mümkündür. Bu tür gelişmiş bileşenlerin kullanımı, araç kontrolünü iyileştirebilir ve aracı akıllı yerleştirme sistemlerinden çok amaçlı kombine sistemlere kadar çeşitli senaryolara uyarlamayı mümkün kılar.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, MF-19001 proje numarası ile Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Haas, G. (2009). Modeling and Calibrating a 4-wheel Skid-Steer Research Robot. Army Research Laboratory, ARL-TN-0370; Army Research Laboratory-Technical Note-0370.
- [2] Cosenzo, K., Chen, J., Reinerman-Jones, L., Barnes, M., Nicholson, D. (2010). Adaptive automation effects on operator performance during a reconnaissance mission with an unmanned ground vehicle. In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 2135-2139.
- [3] Chen, J.Y.C. (2010). UAV-guided navigation for ground robot tele-operation in a military reconnaissance environment. Ergonomics, 53: 940-950.

- [4] Vardin, S. (2019). Development of an Unmanned Ground Vehicle for Off-Road Applications, Unpublished M.Sc. Thesis (2019-M.Sc.-061), Aydın Adnan Menderes University, Turkey.
- [5] Papadakis, P. (2013). Terrain traversability analysis methods for unmanned ground vehicles: A survey. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26: 1373–1385.
- [6] Zhang, G., Duncan, C.A., Kanno, J., Selmic, R.R. (2014). Unmanned ground vehicle navigation in coordinate-free and localization-free wireless sensor and actuator networks. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 74: 869–891.
- [7] Vandapel, N., Donamukkala, R.R., Hebert, M. (2006). Unmanned ground vehicle navigation using aerial lidar data. *International Journal of Robotics Research*, 25: 31–51
- [8] Chengalva, M. K. (2015). U.S. Patent No. 9,163,909. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [9] Yamaguchi, H. (1997). Adaptive formation control for distributed autonomous mobile robot group. In *Proc. IEEE Int. Conf. Rob. Autom.*, Albuquerque, NM, pp. 2300–2305, USA.
- [10] Lawton, J.R., Beard, R.W. (2002). Synchronized multiple spacecraft rotations. *Automatica* 38(8), 1359–1364.
- [11] Jiang, H.B., et al. (2018). Trajectory planning and optimisation method for intelligent vehicle lane changing emergently. *IET Intell. Transp. Syst.* 12(10), 1336–1344.
- [12] Oommen, B., et al. (1987). Robot navigation in unknown terrains using learned visibility graphs. Part I: The disjoint convex obstacle case. *IEEE J. Rob. Autom.* 3(6), 672–681.
- [13] Shao, M.L., et al. (2015). Sensor-based path planning: The two-identical-link hierarchical generalized Voronoi graph. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.* 16(8), 1883–1887.
- [14] Park, J.Y., et al. (2003). Task-oriented design of robot kinematics using the grid method. *Adv. Rob.* 17(9), 879–907.
- [15] Wang, Z., et al. (2017). Path planning for first responders in the presence of moving obstacles with uncertain boundaries. *IEEE Trans. Intell. Transp.* 18(8), 2163–2173.
- [16] Kothari, M., Postlethwaite, I. (2013). A probabilistically robust path planning algorithm for UAVs using rapidly-exploring random trees. *J. Intell. Rob. Syst.* 71(2), 231–253.
- [17] Tuncer, A., Yildirim, M. (2012). Dynamic path planning of mobile robots with improved genetic algorithm. *Comput. Electr. Eng.* 38(6), 1564–1572.
- [18] Ersson, T., Hu, X. (2001). Path planning and navigation of mobile robots in unknown environments. In *Proc. IEEE Int. Con. Intell. Rob. Syst.*, Maui, HI, pp. 858–864, USA.
- [19] Sewelldirect, A Brief Explanation of CAN Bus (2021), Erişim Tarihi: 15.08.2021. Link: <https://sewelldirect.com/learning-center/canbus-technology>.
- [20] NI LabWindows, Controller Area Network (CAN) Overview (2021), Erişim Tarihi: 15.08.2021. Link: <http://www.ni.com/white-paper/2732/en/#toc3>.