

Gökhan Bayar
Araş. Gör.

İlhan Konukseven
Yrd. Doç. Dr

Buğra Koku
Yrd. Doç. Dr

Tuna Balkan
Prof. Dr.

Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Makina Mühendisliği Bölümü
06531, Ankara

Alper Erdener
ASELSAN A.Ş.
Yenimahalle, 06531, Ankara

ATV Tabanlı İnsansız Kara Aracı Geliştirilmesi

ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü ve ASELSAN işbirliği ile yürütülen İnsansız Kara Aracı Projesi (İKAP) ile ATV (All Terrain Vehicle) tipi mevcut bir araç kullanılarak istenildiği takdirde uzaktan kumanda ile kontrol edilebilen gerektiğinde ise otonom olarak kullanılabilen bir robot kara aracının tasarımı ve ilk örnek üretimi amaçlanmıştır. Bu makalede mevcut ATV tipi aracın kontrolünü gerçekleştirmek için araç üzerinde yapılan mekanik düzenlemelerden bahsedilecektir.

Anahtar Kelimeler: İnsansız kara aracı, robot, araç modeli, uzaktan kontrol, benzetim

1. Giriş

Günümüzde robot kara araçları giderek büyüyen bir robotik alanı oluşturmaktadır. Daha önceleri küçük boyutlu hareketli robotlarla başlayan bu çalışmalar günümüzde neredeyse her ebattaki araçlara uygulanmaktadır. En popüler robot kara araçları AGV (Automated Guided Vehicle) ve UGV (Unmanned Ground Vehicle)'lerdir. AGV'ler özellikle malzeme taşımak için tasarlanmış konveyörler olarak düşünülebilir. Kullanılan bir çok AGV önceden planlanmış bir yol üzerinde hareket etmektedir. Özellikle planlanmış veya aracın karar vereceği yol üzerinde dönüşü sağlayacak kararlı direksiyon açısının yaratılması büyük sorun teşkil etmektedir [1-2]. Bu tarz robotik araçlara tam anlamıyla otonom hareket kabiliyeti kazandırılmak için araştırmalar devam etmektedir. Daha çok imalat sektörü ve fabrika içi kullanımları ile UGV'ler tamamen dış ortamda, daha önceden planlanmamış bir hareket alanında çalışma kabiliyeti gösteren UGV'lerden ayrılmaktadırlar.

Son yıllarda insansız kara aracı tasarımı, üretimi ve kontrolü üzerine hem sanayide hemde üniversitelerde bir çok çalışma başlatılmıştır. Özellikle askeri alanda büyük bir boşluğu dolduracak olan bu araçlar üzerine değişik tabanlı uygulamalar yapılmaktadır. Dünyada bu alanda yapılan çalışmalar iki gruba ayrılmaktadır. Şekil 1'de görülen ATV (All Terrain Vehicle) ile yapılan insansız kara araçları ve var olan arazi araçları üzerinde gerekli modifikasyonların yapılarak elde edilen insansız kara araçları [4-10] bu iki grubu oluşturmaktadır. ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü ve ASELSAN işbirliği ile yürütülen insansız kara aracı projesi kapsamında

ATV tipi mevcut bir araç kullanılarak gerekli, çalışmalar başlatılmıştır.



Şekil 1. ATV [11]

2. ATV Tabanlı İnsansız Kara Araçları

Mevcut bir aracın otonom olarak yönetilmesini sağlayacak gerekli modifikasyonların üzerinde kolaylıkla yapılabilmesi sebebiyle, insansız kara araçları çalışmalarında ATV'ler yoğun bir şekilde kullanılmaktadırlar [3-4]. Carnegie Mellon Üniversitesi tarafından geliştirilen (CyberATV – Şekil 2) insansız kara aracında Polaris Sportman 500 tipi ATV kullanılmıştır [5]. Araç üzerinde var olan sürüş sistemine hidrolik bir ünite ve geribildirim için doğrusal potansiyometre ilave edilmiştir. Mevcut gaz kelebeğine R/C servo motor ilave edilmiş, geribildirim için vites kutusuna bir takometre ilave edilmiştir. Hidrolik fren sistemine müdahale edilmiş ve kontrol edilebilir hale getirilmiştir. Vites sistemine 2 adet doğrusal hidrolik piston ilave edilmiş ve bu pistonların farklı konumları sayesinde vites kontrolü

uzaktan kontrollü yapılabilir hale getirilmiştir. Geri bildirim ise araç odometre panelinde var olan digital vites göstergesinden alınmaktadır. Araç üzerine GPS, DGPS ve 2 adet kamera monte edilmiştir. Yapılan bu modifikasyonlar sonucunda araç uzaktan kontrol edilebilmektedir.



Şekil 2. CyberATV [5]

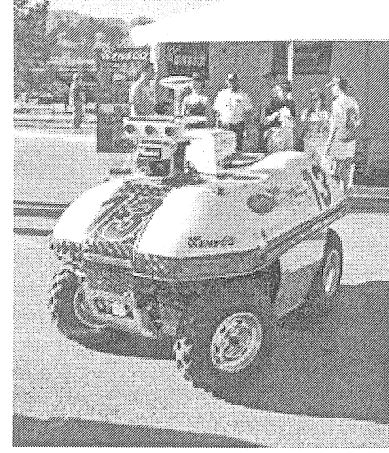


Şekil 3. Spirit of LasVegas [12]

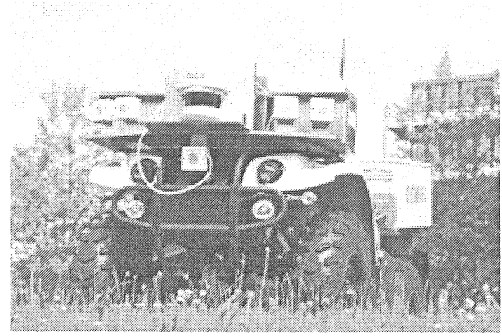
Spirit of LasVegas isimli insansız kara aracı Honda 4x4 tipinde bir ATV kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 3). Sürüş sistemine bir redüksiyonlu DC motor dahil edilmiştir. Bu motor, gidonun milini zincir ile tahrik etmektedir. Geri bildirim ise potansiyometre ile ana bilgisayara iletilmektedir. Otonom gaz kontrolü mevcut sisteme yüksek torklu PWM kontrollü bir servo motorun dahil edilmesi ile yapılmaktadır. Vites sistemine yine PWM kontrollü yüksek torklu bir servo motor dahil edilmiştir. Araca algılama kabiliyeti verebilmek için üzerine GPS, DGPS, kamera, araç önüne çukur algılayıcı, 3 eksenli jiroskop, titreşim ve şok ölçümleri için süspansiyonlarda potansiyometre, yükseklik ölçümü için basınç sensörü, motor ve dış ortamın sıcaklığını algılamak için sıcaklık sensörü ilave edilmiştir.

Ensco (Şekil 4) Honda Rincon tipi ATV'den oluşturulmuştur. Fırçasız DC servo motor ile sürüş kontrolü sağlanmaktadır. Gaz kontrolü servo motor ilavesi ile fren kontrolü ise birbirinden bağımsız hidrolik ve mekanik sistemler vasıtasıyla

sağlanmaktadır. Vites değişimleri röleler yardımıyla yapılmaktadır. Araç üzerine Lidar sistemi kurulmuştur. Araç üzerinde bu ana duyucunun yanı sıra 3 doppler radarı, kamera, manyetik pusula, GPS, DGPS, 3 ivme ölçer, 3 jiroskop ve sıcaklık sensörü bulunmaktadır. Araç uzaktan joystick vasıtasıyla kontrol edilmektedir.



Şekil 4. Ensco [13]



Şekil 5. Amor [14]

Amor (Şekil 5) Kawasaki KFX700 2 çeker tipinde ATV kullanılarak oluşturulmuştur. Gidon miline bağlanmış bir servo motor ile sürüş kontrolü sağlanmaktadır. Gaz ve fren kontrolleri sisteme entegre edilen servo motorlar ile sağlanmaktadır. Araç üzerine 3x4 Lidar serisi, GPS, ivme ölçer ve manyetometer konularak araca algılama yetisi kazandırılmıştır.

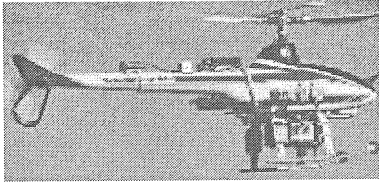
Redcar Scout insansız kara aracı (Şekil 6) Polaris ATV kullanılarak elde edilmiştir. Sürüş, gaz, vites ve fren kontrolü yukarıda verilen çalışmalara benzer olarak gerçekleştirilmiştir. Araç üzerine ısı görüntüleyici, laser uzaklık ölçer, görüntü yoğunlaştırıcı konulmuştur. Bu araç gözetleme, savunma ve karşılık verme amacıyla tasarlanmıştır. Uzaktan kontrol edilebilen araç düşük hızlarda hedef noktasına engellerden kaçınarak varabilme yetisine sahiptir. Araç üzerine karşılık vermek amaçlı silahlar takılabilmekte ve bu silahlar uzaktan kontrol edilebilmektedir.



Şekil 6. Redcar Scout [15]

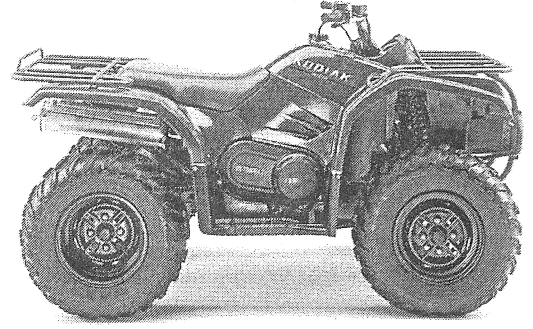


Şekil 7. Blitz [16-17]



Şekil 8. İHA [16-17]

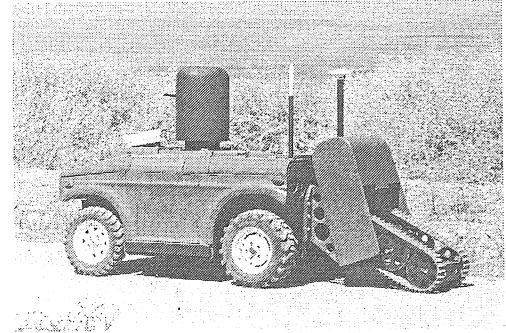
Blitz (Şekil 7-8) Honda Rubicon tipi ATV'den oluşturulmuştur. Üzerinde 4 adet lidar, iki adet kamera, kızıl ötesi kamera, GPS ve tek eksen jiroskop vardır. Araç uzaktan kontrol edilmektedir. Bu aracın diğer insansız kara araçlarından farkı; aracın küçük bir İHA (insansız hava aracı) helikopteri ile birlikte kullanılmasıdır. Uzak menzilin bilgileri İHA sayesinde toplanıp, aracın yön bulma ve izleme planları güncellenmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 9(a-b-c). MDARS Platformları [18]

MDARS-E projesi kapsamında 4x4 dizel motora sahip (Şekil 9) ATV'lerden dönüşümü yapılan insansız araçlar kara ve deniz askeri gücüne lojistik destek verecek robot araç filosunu oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra askeri bölgelerde gözetleme ve keşif yapmak, yüksek güvenli alanlarda devriye olarak dolaşmak aracın tasarım amaçlarından bir kaçıdır. Araç üzerlerine eklenen DGPS, jiroskop, kamera, radar, lazer ve ultrasonik sensörler araca otonom özellik katmıştır. Ayrıca araç platformu üzerine farklı donanımlar yerleştirilebilmekte ve bu sayede araca farklı yetenekler kazandırmak mümkün olmaktadır.

ATV araçlarının platform olarak kullanıldığı, gerekli modifikasyonların yapılarak hayata geçirildiği bir çok insansız kara aracı çalışması devam etmektedir. Tablo 1'de bu çalışmalar içerisinde en önemli olanlar verilmiştir. Mevcut aracın otonom hale getirilebilmesi için sürüş, gaz, fren ve vites sistemlerine yapılan mekanik/elektronik modifikasyonlar gösterilmiştir. (Tablo'da kullanılan kısaltmalar; H:Hidrolik, D:DC Motor, S:Servo, L:Doğrusal Motor, M:Manyetik Valf, R:Röle)



Şekil 11. IRV [19]

Tablo 1. ATV tabanlı İKA'nın karşılaştırılması

Araç	Sürüş	Gaz	Fren	Vites
CyberATV	H	S	H	H
Spirit	D	S	S	S
ENSCO	D	S	H	R
ARSKA	S	S	S	S
AMOR	D	M	V	V
Jackbot	L	S	L	S
Phantasm	D	S	D	S
Overboat	S	S	S	S
Cajunbot	D	S	D	S
Gryphon	DC	DC	DC	DC

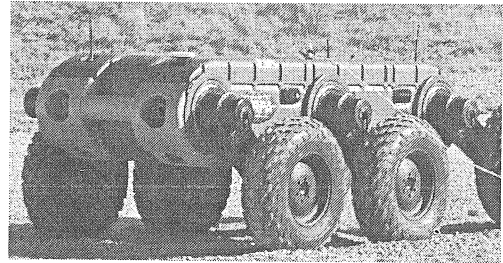
Şekil 10 ve 11'de görüldüğü gibi SUV tarzı araçlar insansız kara aracı çalışmalarına olanak verecek şekilde sokulmuşlardır. Özellikle askeri amaçlı kullanılmak üzere özel araç tasarımlarında mevcuttur. Bu tarz araçların ATV tipi platformlardan farklı olarak paletli olanları da kullanılmaktadır.

3. Diğer İnsansız Kara Araçları

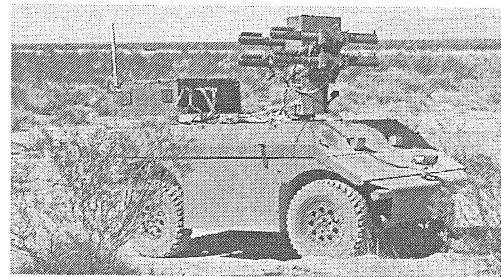
Kara araçlarını insansız olarak kullanma çalışmaları ATV dışındaki araçlar üzerinde de denenmektedir. Jip, SUV (Sport Utility Vehicle), pikap, kamyon ve otomobil üzerinde yapılmakta olan insansız kara aracı çalışmaları devam etmektedir. Standart SUV araçlar sürüş, gaz, fren ve vites kontrolünü sağlayacak gerekli modifikasyonların yapılması ve üzerine eklenecek çeşitli sensörler yardımıyla otonom hale getirilmektedirler.



Şekil 10. Flying Fox [19]



(a)



(b)

Şekil 12(a-b). Askeri amaçlı insansız kara aracı platformları [20]

Yukarıda ayrıntıları verilen insansız kara aracı çalışmaları ve bu çalışmalara olanak sağlayan platformların seçiminde değişik kriterler göz önünde tutulmuştur. Yapılan çalışmaların kapsamı, uygulanışı ve amacı dikkatle incelenmiştir. İnsansız kara aracı çalışmalarına olanak sağlayacak altyapının oluşumuna kolaylıkla izin verdiği düşünülerek

Polaris marka ATV aracın Sportsman 700 Twin tipi seçilmiştir. Gerekli mekanik/elektronik modifikasyonlar ve otonom yetiyi araca kazandıracak gerekli algoritma çalışmaları bu araç üzerinde denetlenmektedir. Araç üzerine yerleştirilecek Lidar, kamera, GPS, DGPS, jiroskop ile aracın otonom hale getirilmesi sağlanacaktır.

4. Tasarım

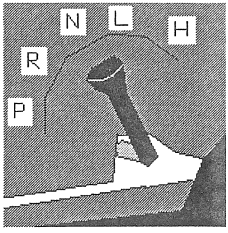
İnsansız kara aracı platformunu oluşturmak için seçilen ATV'ye otonom özellik katabilmek ve ana hareket aksamını kontrol edebilmek için dört ana sistemin davranışını belirlemek gerekmektedir. Bu sebeple tasarım sürecinin ilk adımı bu dört sistemi test etmek ve çalışma aralıklarını belirlemek olmalıdır. Test edilmesi gereken sistemler sürüş, gaz, vites ve fren sistemleridir [5-6-7]. Gidon sürüş açısının ve vites kontrolünün testlerinde diğer iki sisteme (gaz ve fren) göre daha büyük tork gereksinimi beklenmektedir [8]. İlk test gidon üzerinde yapılmıştır. Gidonun referans düzleminden maksimum dönme noktasına dönüşü farklı zeminlerde denenmiş ve bu dönüşü sağlayacak kuvvet değerleri elde edilmiştir. Bu değerler Tablo 2'de verilmektedir. Tabloda aracın yükü kolunda; A1 aracın boş olduğunu, A2 araç koltuğunda bir kişinin oturduğu durumu, A3 araç koltuğunda bir kişi ve arkasında bir kişi olduğu durumu, A4 araç koltuğu, arkası ve ön tarafında bir kişi olduğu durumu, A5 ise arac koltuğunda bir kişi arkasında iki kişinin olduğu durumu göstermektedir. (Bu testlerde araç üzerinde bulunan kişiler 65-70 kg arasındadır)

Tablo 2. Gidon dönüşünü gerçekleştirmek için gerekli kuvvetin tespiti

Aracın Yüğü	Beton Zemin	Çimen Zemin
A1	307 N	299 N
A2	378 N	380 N
A3	400 N	370 N
A4	584 N	577 N
A5	377 N	450 N

Vites sisteminin otonom hale getirilebilmesi için vites sisteminin karakteristiğinin belirlenmesi gerekmektedir. Vites sisteminin harekete geçirilmesi için gerekli kuvvetler test edilmiş ve Tablo 3'de gösterilmiştir. Tabloda verilen kısaltmalar; P:Park, R:Rear, N:Neutral, L:Low, H:High

Tablo 3. Vites hareketini gerçekleştirmek için gerekli kuvvetin tespiti

P -> L	170 N	
R -> L	60 N	
L -> H	110 N	
H -> L	93 N	
L -> N	88 N	
N -> R	99 N	
R -> P	184 N	
Kuvvet Kolu: 215 mm		

Gidon dönüşü ve vitesin hareketi için gerekli tork yukarıda verilen test sonuçları sayesinde elde edilmiştir. Sürüş ve vites sisteminde yapılacak mekanik modifikasyonlarda bu test verileri kullanılmıştır.

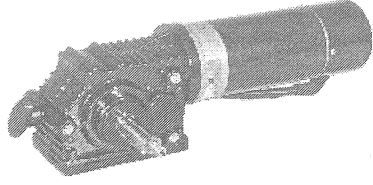
Gerekli torkun belirlenmesinin yanı sıra, araçla ilgili bazı performans testleride yapılmıştır. Bu testlerde aracın çeşitli sürüş modlarında dönme yarıçapları, çeşitli hızlanma ve durma mesafeleri ölçülmüştür. Bu test sonuçları Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Araç performans testleri

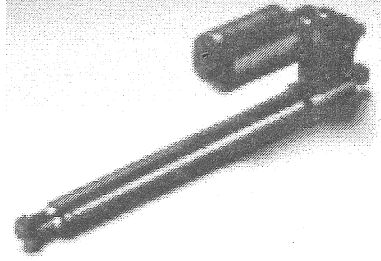
Mod	Dönüş Yarıçapları (m)
Turf	7
2 Çeker	6,8
4 Çeker	6,9

Hız (km/s)	Hızlanma Mesafeleri (m)
0-50	32
0-30	14
Hız (km/s)	Durma Mesafeleri (m)
50-0	9,3
30-0	5,8

Aracın bir kullanıcı tarafından kullanılabilmesinin yanı sıra otonom olarak da kontrol edilebilmesi çalışmasının ana temasını oluşturmaktadır [9]. Sürüş sisteminin bu özelliği kazanabilmesi için bir adet DC motor kullanılmasına karar verilmiştir. Motor özellikleri, kontrol edilmesi düşünülen sistemin matematiksel performansının yanı sıra yukarıda verilen testler yardımı ile belirlenmiştir. Sürüş sisteminin hem manuel hemde otonom olarak kontrol edilmesi istenildiği göz önünde bulundurularak, motorun üzerinde bulunan dişli kutusunun çıkış milinin motor çıkış milinden bir ayıraç yardımı ile ayrılabilirdiği motor tipi seçilmiştir. Seçilen DC motor 24 VDC ve 1:28.7 oranlı dişli kutusuna sahiptir. Yaklaşık 40 rpm hızda 400 kg.cm tork ve 400 Watt güç üretmektedir (Şekil 13-a).



(a)



(b)

Şekil 13(a-b). DC ve doğrusal motor

Aracın kontrol edilebilirliğini sağlamak için bir takım modifikasyonun yapılması gereken sistem vites sistemidir. Vites mekanizmasının da sürüş sisteminde olduğu gibi istenildiğinde manuel istenildiğinde otonom kontrol edilebilirliğini sağlamak için doğrusal DC motor seçilmiştir. Vites mekanizmasının kapladığı alan itibari ile en uygun seçimin bu yönde yapılması kaçınılmazdır. Doğrusal DC motorun seçiminde matematiksel modelin yanı sıra yukarıda verilen test sonuçları kullanılmıştır. Seçilen motorun (Şekil 13-b) karakteristiği; 24 VDC, azami itkisi 3 kN, azami hızı ise 52 mm/s 'dir.

Gaz kontrolünü sağlamak için gaz keleşini harekete geçiren mekanizmaya hobi servo motor bağlanmıştır. Fren kontrolü için var olan sisteme hidrolik bir sistem entegre edilmiştir. Detaylar bir sonraki kısımda verilmiştir.

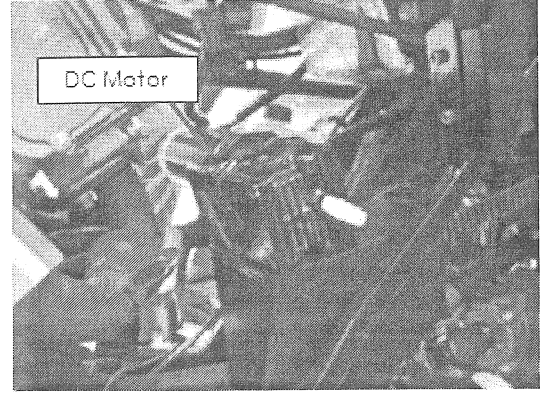
5. Araç Üzerinde Yapılan Değişiklikler

ATV tabanlı aracın otonom hale getirilmesi için aracın mevcut donanımı üzerine bazı değişiklikler yapılmıştır. Bu değişiklikler aracın temel kontrolleri olan gaz, fren, vites ve sürüş sistemidir. Bu sistemlerin uzaktan veya araç üzerinde çalışan yordamlar ile kontrol edilmesi planlanmış ve böylece insansız kara aracı alt yapısı meydana getirilmiştir.

5. 1 Sürüş Sistemi

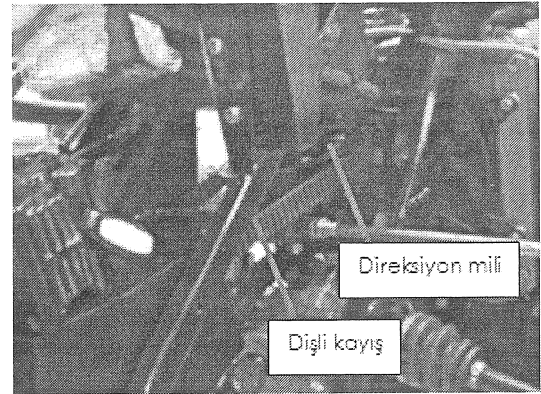
Aracın gidonunun döndürülmesi sonucunda aracın direksiyon mili dönmekte ve bu dönme hareketi dört çubuk mekanizmasından oluşan bir

sistem ile ön tekerlere iletilmektedir. Araç yönünün kontrol edilebilmesi için bu direksiyon milinin istenilen oranlarda döndürülmesi gerekmektedir.



Şekil 14. DC motorun sürüş sistemine entegrasyonu

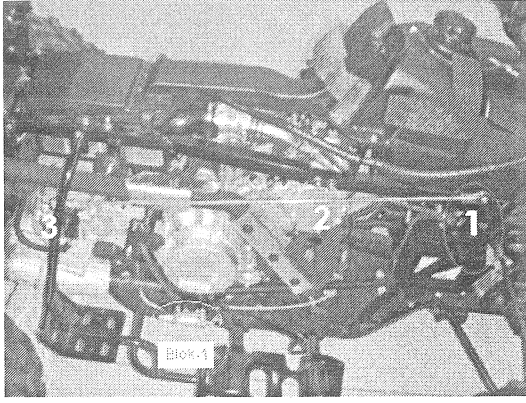
Aracın sürüş sistemine otonom yetiyi kazandırmak için sisteme bir adet DC motor entegrasyonu sağlanmıştır. Şekil 14'de görüldüğü gibi motor sisteme dahil edilmiştir. Motorun çıkış milindeki dönme hareketi bir dişli kayış vasıtasıyla direksiyon miline 1/3 dişli oranı ile iletilmektedir (Şekil 15). Böylece direksiyon mili istenilen miktarda döndürülebilmektedir.



Şekil 15. Dişli kayışın direksiyon miline entegrasyonu

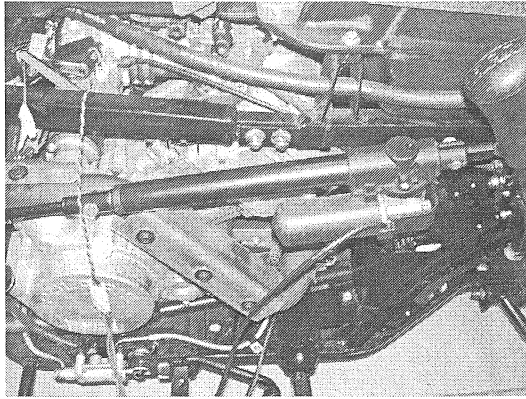
5. 2 Vites Sistemi

Mevcut aracın vites sistemi 4 çubuk mekanizmasından oluşmaktadır. Vites kolu bu mekanizmanın girdi çubuğunu hareket ettirmektedir. Dört çubuk mekanizmasının çıkışı ise vites kutusuna bağlı olup çubuğun açısına göre istenilen viteslere geçişi sağlamaktadır.



Şekil 16. Vites sisteminin mevcut durumu

Şekil 16'de vites sisteminin mevcut, herhangi bir modifikasyon yapılmamış durumu görülmektedir. Burada 1 numara vites kolunun bağlı olduğu girdi çubuğunu, 2 numara kuvvetin taşındığı iletim çubuğunu, 3 numara vites kutusuna girişi göstermektedir.



Şekil 17. Doğrusal motorun vites sistemine entegre edilmiş hali

Şekil 17'de görüldüğü gibi vites kontrolünün uzaktan veya otonom yapılabilmesi için vites sistemindeki 2 numaralı iletim çubuğu yerine Şekil 13-a'da görülen doğrusal motor bağlanmış ve 1 numaralı parça şasiye sabitlenebilir şekilde değiştirilmiştir. Manuel kullanım sırasında, motor üzerine bir akım uygulanmadığı için motor rijit bir eleman gibi davranarak 2 numaralı çubuğun görevini yapacaktır. Uzaktan veya otonom kontrolde ise 1 numaralı parça basit bir pin yardımı ile şasiye sabitlenmekte ve doğrusal motor sürülerek, 3 numaralı çubuğun vites kutusuna istenilen vites

değerini iletmesi sağlanmaktadır. Bu sayede vites sistemi istenildiğinde manuel, istenildiğinde ise otonom olarak kontrol edilebilir bir duruma getirilmiştir.

5. 3 Fren Sistemi

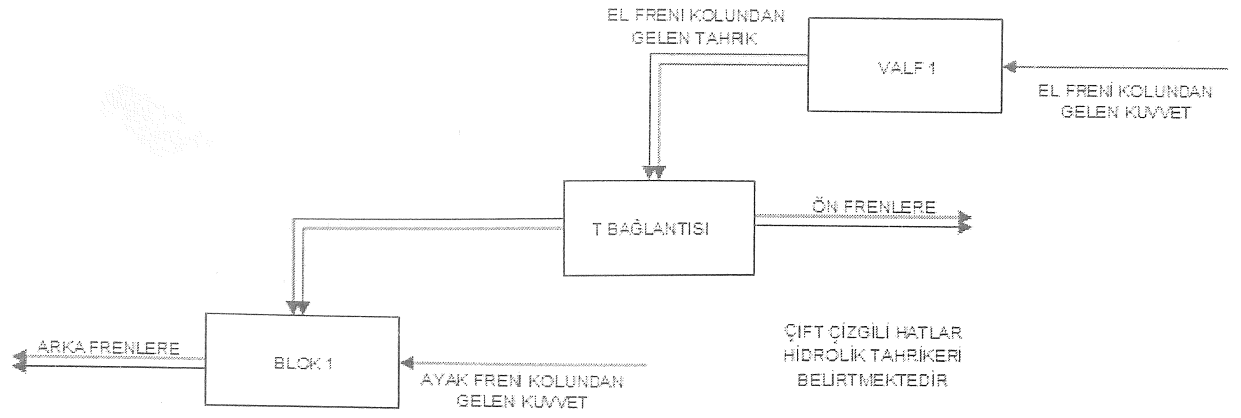
Aracın fren sistemini kontrol etmek için iki farklı yapının kavramsal tasarımı üzerinde durulmuştur. İlki fren yağı akışının kontrolü ile frenlerin kontrol edilmesi, diğeri ise aracın gidonu üzerinde bulunan fren kolunun konum kontrolü ile frenlerin kontrol edilmesi. İlk bahsedilen yapının daha kontrollü olması sebebiyle hidrolik sistemin modifikasyonuna gidilmiştir. Şekil 18'de aracın fren hidrolik sistemi görülmektedir. Bu şemada "Blok-1" olarak tanımlanan parça Şekil 16'da gösterilmektedir.

Bu bloğun içerisinde bulunan piston, mekanik veya hidrolik tahriklere bağlı olarak sistemdeki hidrolik yağın arka frenlere aktarılmasını sağlamaktadır. Gidona bağlı el freninin kullanılması sonucu Valf-1 aracılığı ile hidrolik bir tahrik elde edilmekte ve bu tahrik ile pompalanan yağ, T bağlantısıyla ön ve arka frenlere gönderilmektedir. Arka frenlere gönderilen yağ Blok-1 olarak gösterilen bağlantı elemanına gelmekte ve buradan da arka frenlere gönderilmektedir. Bu bağlantı elemanı el freni kullanıldığında ayak freninin etkilenmesini engellemektedir. Sadece ayak freni kullanıldığında ise Blok-1 hidrolik yağın diğer bağlantılara sızmadan doğrudan arka frenlere aktarılmasını ve böylece arka frenlerin kullanılmasını sağlamaktadır.

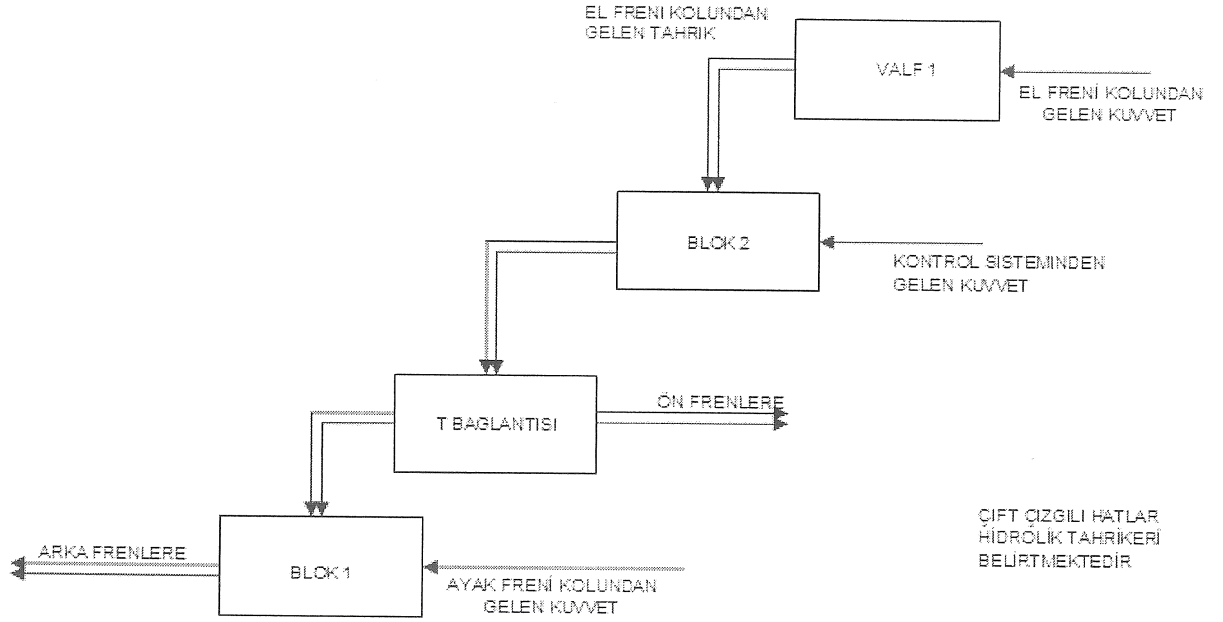
Blok-1 olarak gösterilen hidrolik bağlantı elemanının yeniden kullanılarak Şekil 19'daki gibi bağlanması ile frenlerin otomatik olarak kontrolü yapılabilmiştir. Burada ikinci bağlantı elemanı "Blok-2" olarak gösterilmiştir. Araç fren sisteminin uzaktan kontrol edilebilmesi için gereken tahrik, sisteme eklenmiş olan konum kontrollü bir solenoid ile sağlanmaktadır. Bu eleman ile Blok-2'deki pistonun tahrik edilmesiyle T bağlantısına fren yağı aktarılacak böylece hem ön hemde arka frenler kontrol altına alınmış olacaktır.

5. 4 Gaz Sistemi

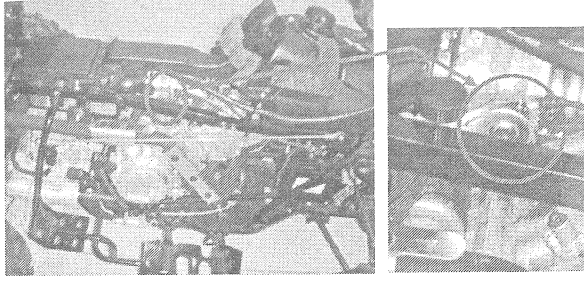
Aracın mevcut gaz kontrolü direksiyon üzerinde bulunan gaz kolu ile yapılmaktadır. Bu kol Şekil 20'de görülen bölgeye gaz teli ile bağlanmıştır. Bu yapı içerisinde gaz teli bir mile bağlıdır ve bu milin belirli bir açı aralığında dönmesini sağlamaktadır. Milin dönme sınırları ise mekanik olarak sağlanmıştır. Milin dönüşü doğrudan gaz kelebeğine iletilmektedir. Gaz kelebeğine Şekil 21'de görüldüğü gibi bir adet servo motor ve solenoid bağlanmıştır.



Şekil 18. ATV'nin mevcut fren sistemi akış şeması



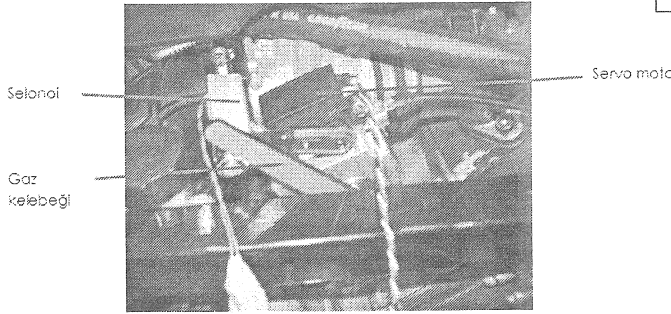
Şekil 19. Tasarlanan hidrolik sistemin akış şeması



Şekil 20. Gaz kontrolü ve motor bağlantısı

Servo motorun çıkış mili ile solenoid kaynakla birbirine sabitlenmiştir. Ayrıca solenoid gaz kelebeğinin daha önceden değiştirilmiş olan miline temas etmektedir. Servo motora akım verildiğinde, motor solenoid aracılığı ile gaz kelebeğine bağlı olan milin dönmelerini sağlamaktadır. Bu hareket gaz kelebeğini döndürmekte ve içten yanmalı motora yakıt verilmesini sağlamaktadır. Bu sistemde kullanılmış olan solenoid acil durumlarda kullanılmak için düşünülmüştür. Servo motorun kontrolü sırasında olası bir sorunla karşılaşıldığı zaman solenoid aktif konuma getirilerek gaz

kelebeği bağlantısı kesilebilecektir. Böylece servo motor tahriği ile ATV'nin motoruna gaz verme işlemi engellenmektedir.



Şekil 21. Gaz kontrol mekanizması

6. Sürüş Testleri

Oluşturulacak araç sürüş modelinin doğruluğunu gösterebilmek için sürüş testleri yapılmıştır. Bu testlerde aracın sabit direksiyon açısında, sabit hızda çizdiği dairenin gözlenmesi ve bu dairenin yarıçapının ölçülmesi amaçlanmıştır. Bu testlerde, direksiyon açısı bilgisayar üzerinden araca gönderilmiş ve sabitlenmiştir. Hız ise 10 km/h civarında sabit tutulmaya çalışılmıştır. Hareketsiz pozisyondaki araç hızlandırılmış ve istenilen hıza ulaşmasıyla ölçümler başlamıştır. Sürüş testleri sonucunda elde edilen veriler Tablo 5'de sunulmaktadır. (Tabloda gösterilen kısaltmalar;

SY:Saate Yönü, STY:Saate Ters Yönü, TM:Turf Mod, 2M:İki Çeker Mod, 4M:Dört Çeker Mod, SA:Sürüş Açısı)

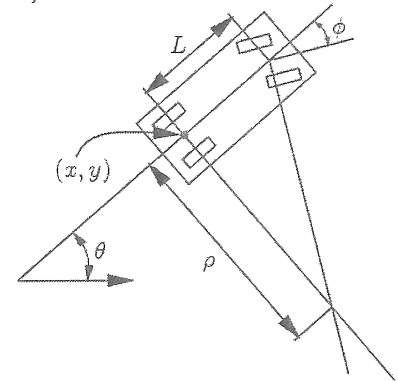
7. Araç Modeli

Yörünge planlaması ve takibinde aracın matematiksel modelinin oluşturulması öngörülmüştür. Literatürde araç hareketinin modellenmesinde yaygın olarak Bisiklet Modeli (Bicycle Model) [1,2] ve Noktasal Kütle Modeli (Point Mass Model - NKM) [3] yaklaşımlarının kullanıldığı görülmektedir. Özellikle oldukça basitleştirilmiş olan NKM araç hareketi üzerinde gerçekçi sonuçlar verdiği için tercih edilmektedir [3].

Tablo 5 Sabit hız, değişen direksiyon açıları ve farklı sürüş modlarında elde edilen dönme yarıçapları

SA	TM		2M		4M	
	SY (cm)	STY (cm)	SY (cm)	STY (cm)	SY (cm)	STY (cm)
15	1791	2126	1720	2095	1741	2133
25	959	1048	979	1067	951	1088
35	628	668	624	645	611	661
45	456	458	452	47	457	469
55	369	371	365	374	360	376

Araç modelinin oluşturulmasında ilk olarak noktasal kütle modeli seçilip uygulanmıştır. Şekil 22'de verilen araç modelinin noktasal kütle yaklaşımı denklem 1-2-3'de verildiği gibidir. Bu denklemlerde x , y ve θ dünya referans noktası ve eksenine göre aracın konumu ve yönüdür. Aracın durumunu değiştiren kontrol girdileri U_s , U_ϕ aracın hızı ve direksiyon açısıdır.

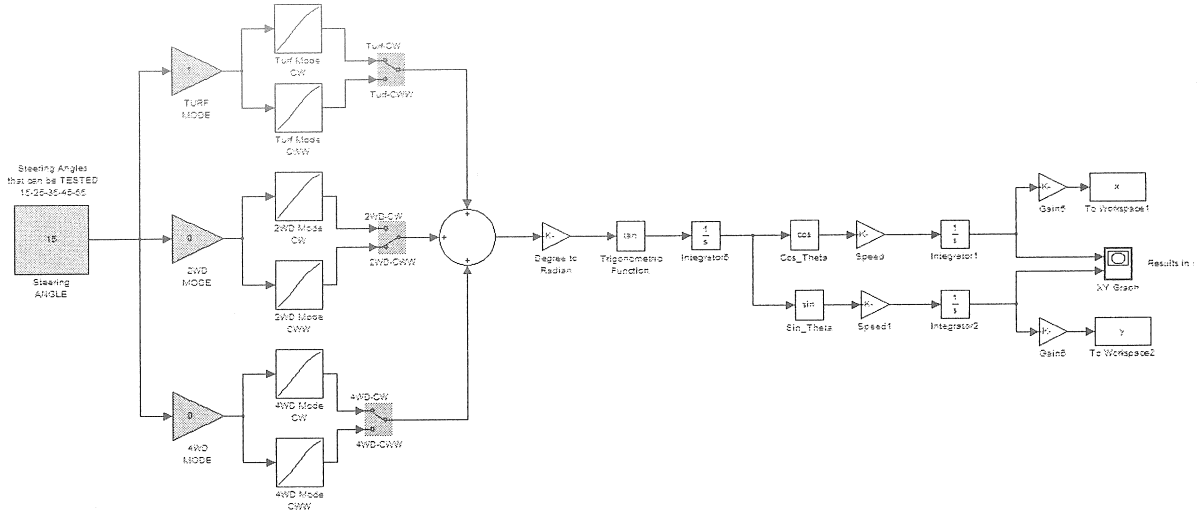


Şekil 22. Araç modeli

$$\dot{x} = U_s \cos \theta \quad (1)$$

$$\dot{y} = U_s \sin \theta \quad (2)$$

$$\dot{\theta} = \frac{U_s}{L} \tan U_\phi \quad (3)$$

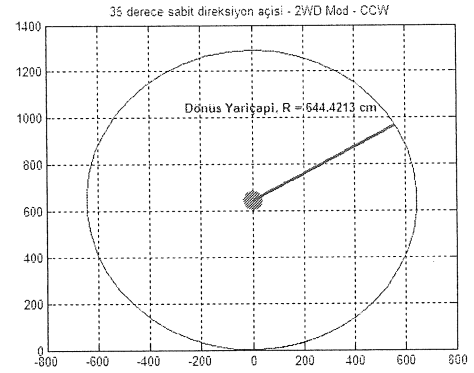


Şekil 23. Araç simülasyon modeli

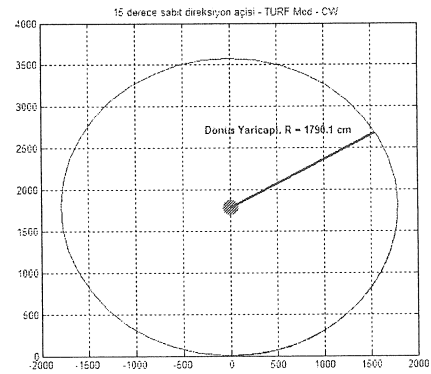
Şekil 23’de verilen araç sürüş modeli bir kontrol mantığı içermektedir. Bu mantık Tablo 5’de elde edilen veriler noktasal kütle modeli ile birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Elde edilen modelin aracın değişik zeminlerde test edilerek geliştirilmesi mümkündür. Test verileri kullanılarak oluşturulan bu modelin çıktıları yine test verileriyle karşılaştırılarak, modelin doğruluğu gözlenmiştir. Model Matlab/Simulink ortamında oluşturulmuştur.

Oluşturulan model, sürüş testlerinde olduğu gibi sabit araç hızında çalışmaktadır. Tablo 5’de de görüldüğü gibi araç sürüş testleri değişen direksiyon açıları ve sürüş modlarında gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan modelde araç Turf, 2 çeker ve 4 çeker modlarında ve bu modlarda saat dönüş yönü ve saat ters dönüş yönlerinde ayrı ayrı test edilmektedir. Oluşturulan model bütün test verileri nikaşlıyacak şekilde hazırlanmıştır.

Şekil 24 ve 25’de model kullanılarak elde edilen 15 derece sürüş açısı turf mod, saat yönü dönüş ve 35 derece sürüş açısı iki çeker mod, saat ters yönü dönüş çıktıları verilmiştir. Elde edilen dönüş yarıçapları Tablo 5’de verilen test verileri ile karşılaştırıldığında, sonuçların birbirleriyle tutarlı olduğu görülmektedir. Noktasal Kütle Modeli gelişime ve öğrenmeye açık bir model olduğu için yol durumu, arazi şartları gibi yeni verilerin modele entegrasyonu kolaylıkla yapılabilecektir.



Şekil 24. Model çıktısı (15 derece sabit direksiyon açısı, elde edilen dönme yarıçapı 1790.1 cm)



Şekil 25. Model çıktısı (35 derece sabit direksiyon açısı, dönme yarıçapı 644.42 cm)

Aselsan ve ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü ile birlikte gerçekleştirilen insansız kara aracı geliştirilmesi projesinde mevcut ATV tabanlı bir aracın otonom hale getirilmesi için gerekli mekanik modifikasyonlar yapılmış ve bu çalışmada detayları verilmiştir. Aracın uzaktan kontrol edilebilmesi için sürüş, gaz, fren ve vites sistemlerinin modifikasyonları gerçekleştirilmiş ve kontrol edilebilir hale getirilmiştir. Araç performansının belirlenmesi için bazı testler yapılmıştır. Bu test verileri kurulan araç modelinde kullanılmak üzere, bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Matlab/Simulink ortamında oluşturulan araç sürüş modeli, test verileri kullanılarak geliştirilmiş ve gerçeği yansıtır hale getirilmiştir. Bilgisayar ortamında araç modelinin geliştirilmesi devam etmektedir. Araç üzerine entegrasyonu sağlanan Lidar'ın yine Matlab ortamında benzetim çalışmaları başlatılmış ve araç dinamiği ile entegrasyonu devam etmektedir. Araç sürüş modeli olarak ilk olarak Noktasal Kütle Modeli oluşturulmuş ve gerçek çıktıları verebilecek hale getirilmiştir. Fakat bu modelin çok temel olması ve bir çok dış etkiyi elemesi sebebiyle Bisiklet Modeli benzetim çalışmaları başlamış ve araç üzerine bağlanan sensör verilerinin sürüş, gaz, vites ve fren sistemi karakteristiğinin içerisinde bulunduğu tek bir modelle entegre olduğu otonom araç kontrolünün yapılacağı alt yapı çalışmaları devam etmektedir.

9. Teşekkür

Bu çalışmayı ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü ile ortak devam ettiren ve her türlü olanağı sağlayan ASELSAN A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

ATV Based Unmanned Ground Vehicle Development

Middle East Technical University and ASELSAN have started an unmanned ground vehicle development project. In this project an All Terrain Vehicle (ATV) has been selected as a base. The purpose of this work, the vehicle developed will be able to be used without an operator via remote control, in the first stage. Next the vehicle should work autonomously. In this paper, mechanical modifications conducted on the selected ATV are given in detail.

Keywords: Unmanned ground vehicle, robot, vehicle model, remote control, simulation

1. Ozguner, Ü., 2006, "Autonomous Vehicles", Lecture Notes, Dept. Of ECE, Ohio State Univ., Columbus, Ohio, USA.
2. Chen Q., Ozguner U., 2006, "Intelligent off-road navigation algorithms and strategies of Team Desert Buckeyes in the DARPA Grand Challenge 2005", Journal of Field Robotics, Vol. 23, Issue 9, pp. 729-743.
3. Redmil, K.A., Martin, J.I., Ozguner U., 2006, "Sensing and Sensor Fusion for the 2005 Desert Buckeyes DARPA Grand Challenge Offroad Autonomous Vehicle", IEEE, Intelligent Vehicle Symposium, pp. 528-533.
4. Huhlein B. J., 1998, "Dynamic Modeling of the Polaris Sportsman 500 ATV using Dynamic Analysis and Design System", Technical Report RD-PS-98-11, U.S. Army Aviation ad Missile Command.
5. A. Trebi-Ollennu, John M. Dolan, 1999, "An Autonomous Ground Vehicle for Distributed surveillance", CyberScout Internal Report, Institute for Complex Engineered Systems, Carnegie Mellon University.
6. Park J. H., Son Y. J., Kim J. H., 2005, "Design of Advanced Tele-operated Control System for Unmanned Vehicle", ICCAS2005, Kintex, Gyeonggi-Do, Korea.
7. Mörtberg H., 2006, "Control and Dynamic Modeling of an Autonomous Ground Vehicle", FOI-R-1911-SE Technical Report, Defense Research Agency System Technology, Stockholm.
8. Ebken J., Bruch M., Lum J., Gerhart G. R., Shoemaker C. M., Gage D. W., 2005, "Applying unmanned ground vehicle technologies to unmanned surface vehicles", Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering, Vol. 5804, pp.585-596.
9. Walton M., Bruemmer D., Few D., Nielsen C., 2006, "Developing an Intelligent and Integrated Unmanned Ground Vehicle System: A Case Study", Technical Report, AUVSI's Unmanned Systems North America 2006.
10. Crane C. D., Armstrong D. G., Touchton R., et al, 2007, "Team CIMAR's NaviGATOR: An Unmanned Ground Vehicle for the 2005 DARPA Grand Challenge", Springer Tracts in Advanced Robotics, Vol. 36, pp. 311-347.
11. <http://www.polarisindustries.com/en-s/ATV/Pages/Home.aspx>, son ziyaret Aralık 2006.
12. <http://www.jenya.org/msdnmag/issues/04/12/DARPAChallenge/fig02.gif>, son ziyaret Aralık 2006.

13. http://en.wikipedia.org/wiki/Image:DARPA_Challenge_TeamEnsco.jpg , son ziyaret Aralık 2006.
14. http://www.ezls.fb12.uni-siegen.de/forschung/Amor/AMOR-Webseite/index_eng.htm, son ziyaret Aralık 2006.
15. <http://www.spawar.navy.mil/robots/pubs/spie5422-50.pdf> , son ziyaret Aralık 2006.
16. Stentz, A., Kelly, A., Herman, H., Rander, P., et al, "*Integrated Air/Ground Vehicle System for Semi-Autonomous Off-Road Navigation*", Proceedings of AUVSI-2002, July 2002
17. Stentz, A., Kelly, A., Herman, H., Rander, P., et al, "*Real-Time Perspective Perception for Unmanned Ground Vehicles*", Proceedings of AUVSI-2003, July 2003.
18. <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/mdars.htm>, son ziyaret Aralık 2006.
19. <http://www.indyrobotracing.com/>, son ziyaret Aralık 2006.
<http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/ugv.htm>, son ziyaret Aralık 2006