

## HAVADA VE KARADA HAREKET EDEBİLEN HİBRİT ROBOT TASARIMI VE MODELLEMESİ

Enes Özen<sup>1</sup>  
Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Gaziantep

Hakan Özen<sup>2</sup>  
Sedef Savunma, Gaziantep

### ÖZET

*Bu çalışma, havada ve karada hareket edebilen hibrit robotların tasarımı ve modellemesi konusunu ele almaktadır. Hibrit robotlar, birden fazla ortamda etkin bir şekilde hareket edebilme yeteneği ile öne çıkarlar. Bu çalışmada, havada uçabilen ve karada da hareket edebilen bir robotun nasıl tasarlanacağı ve modellemesi yapılmıştır. Hibrit robotların hem hava hem de kara ortamlarında işlevselliklerini artırmak için kullanılan tasarım stratejileri incelenmiştir. Ayrıca, robotun farklı ortamlardaki performansını optimize etmek için yapılan simülasyonlar ve deneyler de detaylı olarak ele alınmıştır. Sonuç olarak, havada ve karada hareket edebilen hibrit robotların çok yönlü kullanım potansiyeli ve tasarım süreçlerindeki önemli noktaları vurgulanmıştır.*

### GİRİŞ

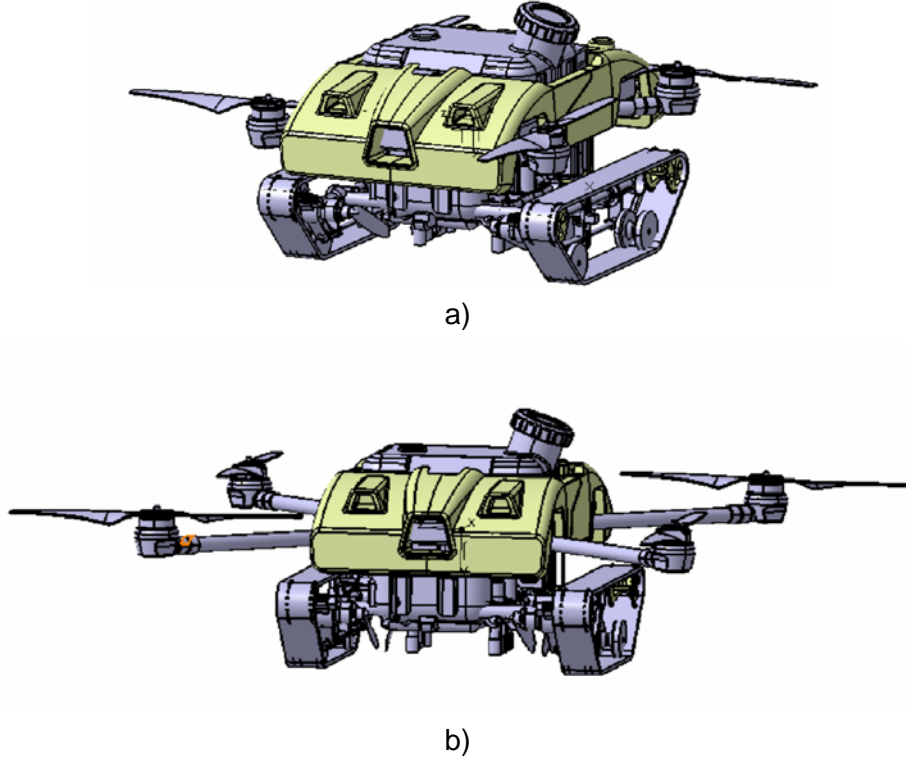
Robotik sistemler; yarı otonom (otomatik), denetimli otonom ve tam otonom görevlerini yerine getirir [Scharre, P. 2018]. Havada ve karada hareket edebilen hibrit robotlar, çeşitli kullanım alanlarında önemli avantajlar sunabilirler. Bunlar; kurtarma ve acil durum operasyonları, gözetleme ve keşif, tarım ve tarım alanlarının izlenmesi, güvenlik ve savunma, taşıma ve lojistik, eğitim ve araştırmadır [Desbiez, A. 2017]. Deprem, sel gibi afet durumlarında enkaz altında kalan insanları arama ve kurtarma operasyonları için kullanılabilirler. Zorlu arazi koşullarında kaybolan kişileri bulmak ve yardım sağlamak için etkin bir şekilde kullanılabilirler. Yangın söndürme operasyonlarında hava ve kara koşullarına uyumlu olarak kullanılabilirler. Sınır güvenliği ve devriye gözetiminde hava ve karadan yapılan keşifleri birleştirerek daha etkili bir gözetim sağlayabilirler. Sınır güvenliği ve terörle mücadele operasyonlarında önemli bir rol oynayabilirler [Oktay, T, 2021]. Doğal afetler öncesi veya sonrası alanların incelenmesi ve zarar tespiti için kullanılabilirler. Orman yangınları gibi olaylarda yangının durumu hakkında hızlı ve güvenilir bilgi sağlayabilirler. Özellikle zorlu arazi koşullarında malzeme taşıma operasyonlarında kullanılabilirler. Teslimat hizmetlerinde kullanılarak kısa mesafeli taşımacılıkta maliyetleri azaltabilirler [Aydın, A, 2020]. Tarım alanlarının verimliliğini artırmak ve tarım faaliyetlerini optimize etmek için kullanılabilirler. Hastalık ve zararlılar gibi sorunları tespit etmek ve bu sorunlara hızlı bir şekilde müdahale etmek için kullanılabilirler. Askeri operasyonlarda keşif, gözetleme ve istihbarat toplama amaçlarıyla kullanılabilirler. Patlayıcı madde tespiti ve imha operasyonlarında kullanılabilirler [Oktay, T, 2021]. Bu kullanım alanları, havada ve karada hareket edebilen hibrit robotların çok yönlü ve geniş bir uygulama potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bu robotlar, farklı sektörlerde iş süreçlerini optimize etmek, insan hayatını korumak ve daha etkin bir şekilde kaynakları kullanmak için önemli bir araç olabilirler.

Bu çalışma kapsamında paletli kara aracı ve dört rotorlu döner kanatlı hava aracı birlikte kullanılmıştır. Görev şekline göre karada veya havada hareket edebilmektedir. Ayrı araçlarla yapılan görevler tek bir sistemle gerçekleştirilmektedir. Bunun avantajları maliyet ve enerji tasarrufu olarak özetlenebilir. İki ayrı alt bileşen ortak kontrol ve enerji sistemlerini kullanabilir yapıda olup, tasarlanan kontrolcü sayesinde görev geçişleri, kara-hava olmak üzere gerçekleştirilmekte manuel veya otonom olarak kontrol edilebilmektedir. Karada hareket ederken, pervane ve rotorları taşıyan

<sup>1</sup> Dr.Öğr. Üyesi, Makine Müh. Böl., E-posta: enes.ozen@hku.edu.tr

<sup>2</sup> Uzman, E-posta: hakanozen27@hotmail.com.tr

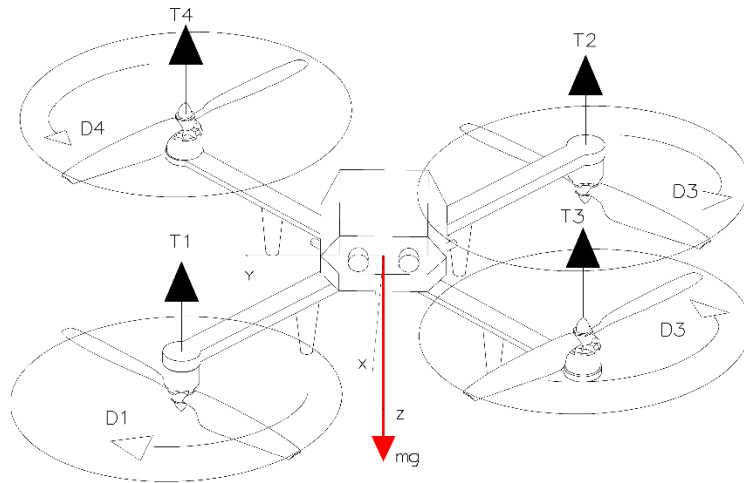
kollar kısalarak gövde yapısı daralmakta ve daha kompakt bir hal almaktadır. Uçuş sırasında kollar uzayarak daha kararlı ve kontrolü kolay bir yapıya dönüşmektedir. Şekil değişikliğinin avantajları gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarında sunuldu.



Şekil 1. a) Kara Aracı Modu b) Hava Aracı Modu

## YÖNTEM

Quadcopter, dört adet pervane ile donatılmış bir hava aracıdır. Bu pervaneler, çiftler halinde çalışır; bir çift pervane saat yönünde dönerken diğer çift pervane saat yönünün tersine doğru döner. Her bir pervane, dikey itme üretir ve bu itme gücü ile pervanelerin kombinasyonları, Şekil 1'de gösterildiği gibi roll (yan dönme), pitch (ön-arka eğilme), yaw (dikey ekseninde dönme), askıda kalma (hover), havalanma (take-off) ve iniş (landing) gibi hareketleri gerçekleştirmek için kullanılır [Nonami,K.,2010].



Şekil 2. Quadcopter Üzerinde Etkilenen Kuvvetler Ve Torklar [Özen, E, 2023]

Quadcopter'in uçuş durumunu ve hareketlerini kontrol etmek için 6 DOF hareket serbestliği; ileri, yan ve yükselme doğrusal hareket iken yunuslama, yuvarlanma ve sapma açosal hareketlerdir [Özen, E, 2023]].

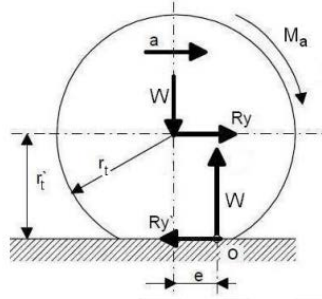
Buna göre hareket denklem olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$U_1 = \sum_{i=1}^4 T_i = b(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2) \quad (1)$$

$$U_2 = b \frac{l}{\sqrt{2}} (-\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2), \quad U_3 = b \frac{l}{\sqrt{2}} (\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2) \quad (2)$$

$$U_4 = \sum_{i=1}^4 D_i = d(\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 - \omega_4^2) \quad (3)$$

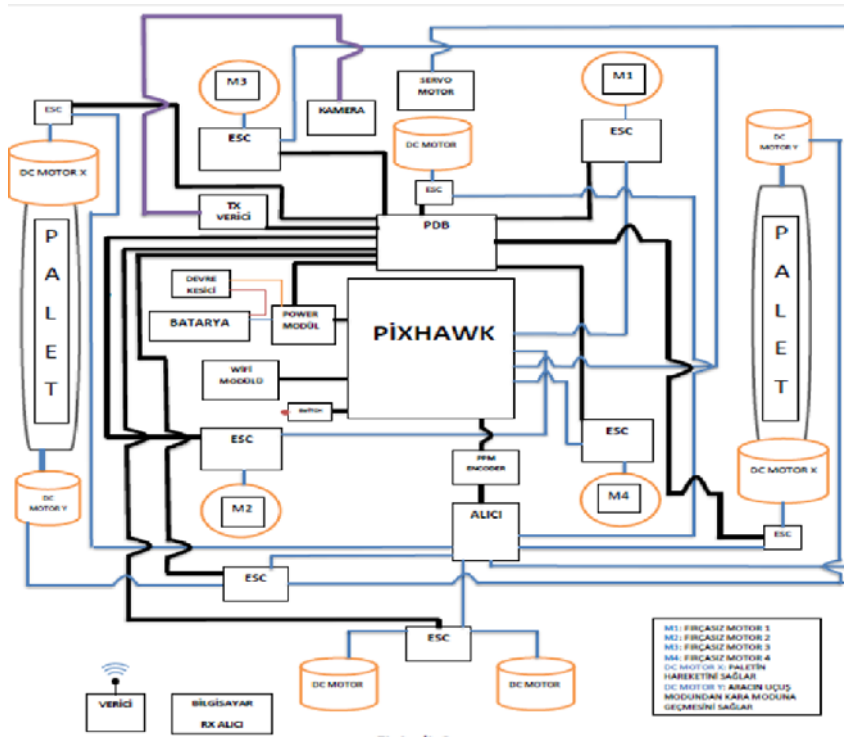
Kara aracı hareket sistemi paletler ve onları tahrik eden DC motorlardan oluşmaktadır. Kontrolcüden aldıkları komutlar, motorların devir hızlarını düzenlemekte, hız farkları aracın yeryüzünde farklı yönelim hareketlerini gerçekleştirmesini sağlamaktadır. 3 DOF hareket serbestliği; ileri, yan ve sapma hareketleri, 2 doğrusal ve 1 açısasal hareket gerçekleştirir [ENGİN, Y., 2020].



Şekil 3. Teker Yuvarlanma Kuvvet Diyagramı [ENGİN, Y., 2020]

### Hiyerarşik Kontrolcü Tasarımı

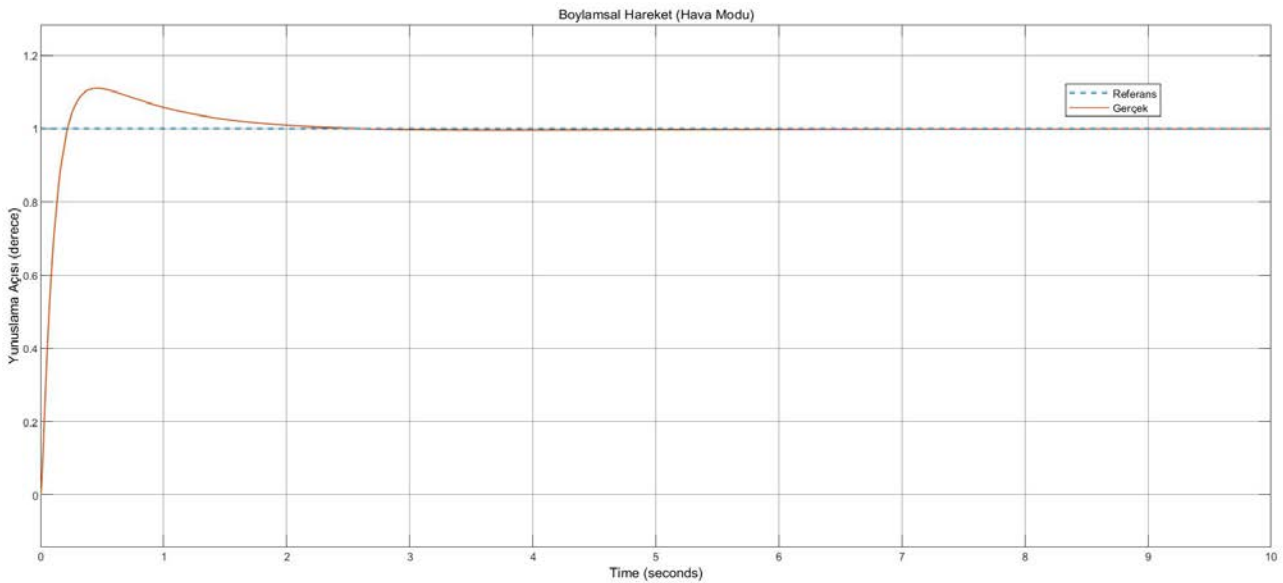
Hibrit robotun dinamik modellemesinin tanımlanması, kontrol sistemlerinin geliştirilmesi açısından büyük bir öneme sahiptir. Kontrol algoritmalarının kalitesi, yüksek doğruluğa sahip modellerin tasarlanmasıyla doğrudan ilişkilidir. Uçuş gözlemleri temel alınarak ayarlanabilir bir otopilot kullanılmıştır ve otopilot sistemimizin yapısal olarak klasik bir otopilot yapısına sahip olduğunu belirtmek gerekir. Hiyerarşik kontrol yapısı üç katmana ayrılmıştır: dış döngü, orta döngü ve iç döngü. İç döngü, aracın yunuslamasını ve yuvarlanmasını düzenleyen hal dengeleme döngüsünü temsil eder. Orta döngü, aracın ilerleme yönünü ve yüksekliğini stabilize eder. Dış döngü ise aracın x-y konumlarını izler ve kontrol sinyalleri iç döngüde değerlendirilir.



Şekil 4. Elektronik Devre Şeması

### UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

Kontrol sistemi ve Quadcopter modeli Matlab/Simulink ortamında oluşturuldu. Bu modelde boylamasına ve yanlamasına modeller ayrı olarak tasarlandı ve sonuçlar birleştirildi. Boylamasına modelde ilk önce quadcopter askıda kalma durumu ve yunuslama hareketi incelendi. Yanlamasına modelde ise quadcopterin yuvarlanma hareketi incelendi. Ayrıca Matlab programında yapılan simülasyonlarda PID tabanlı otopilot kullanıldı. Model ve otopilot simülasyonlarında umulmadık bir durum ortaya çıkarsa bu durum uzay modelimizde hata olduğu bilgisini bize verecektir. Bu aşamada simülasyonun artı yönü ortaya çıkacak daha ileri safhalara gitmeden sorun bu aşamada çözülecektir.

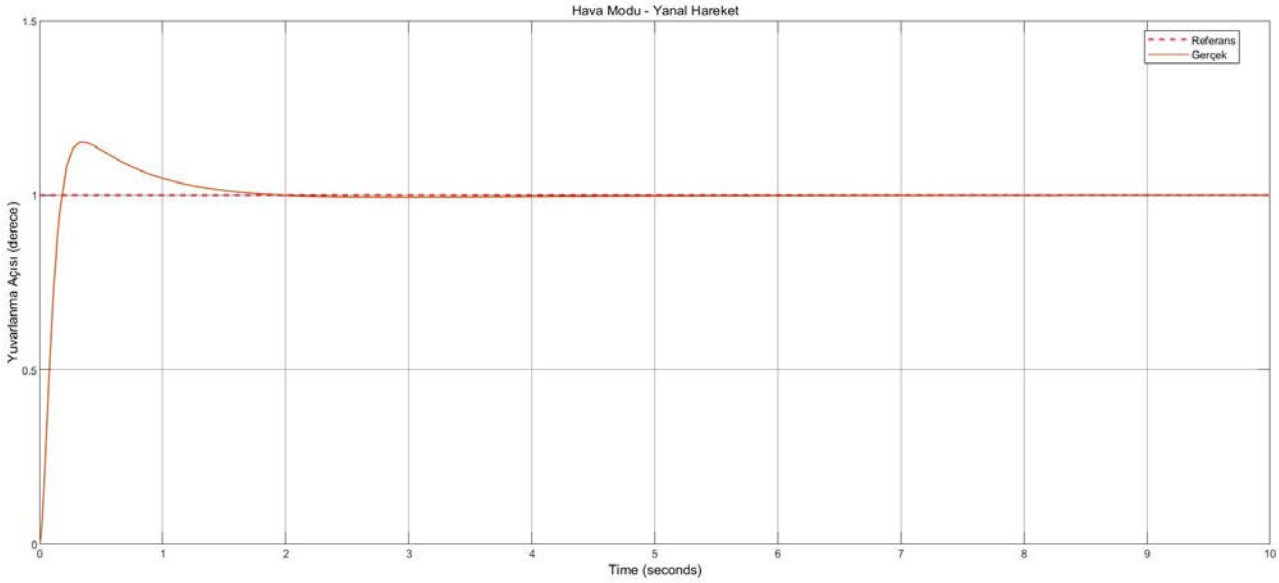


Şekil 5. Hava Kara Aracı (Hava Modu) İleri Hareket Davranışı

Hava Modu ileri uçuş davranışındaki performans kriterleri; daha önceki çalışmalar incelendi ve uçuş performans parametreleri (Trt, Tst, OS) tatmin edici olduğu görüldü.

Tablo 1. Hava Modu İleri Uçuş Performans Değerleri

Hava Aracı İleri Hareket	Trt (rise time)	Tst (settling time)	OS (Overshoot)
		0.148 sn	1.62 sn



Şekil 6. Hava Kara Aracı (Hava Modu) Yanal Hareket Davranışı

Hava Modu yanal uçuş davranışındaki performans kriterleri; daha önceki çalışmalar incelendi ve uçuş performans parametreleri (Trt, Tst, OS) tatmin edici olduğu görüldü.

Tablo 2. Hava Modu İleri Uçuş Performans Değerleri

Hava Aracı İleri Hareket	Trt (rise time)	Tst (settling time)	OS (Overshoot)
		0.123 sn	1.36 sn

## SONUÇ

Hava ve kara aracı, yarı otonom hareket edebilen verilen görevleri icra edebilmek için şekil değiştirebilen yapıdadır. Bu çalışmada tek kontrol kartı ve iki görevi yerine getirebilecek kontrolcü tasarımı gerçekleştirildi. Aracın, yarı otonom bir şekilde karadan ve havadan seyir edebildiğini ve tasarlanan kontrolcünün sonuçları MATLAB programında simüle edildi. Bunun için gerçekleştirilen otopilot algoritmasında kara ve hava olmak üzere iki durum belirlendi. Aracın havada uçabilmesi için gövde içerisine gömülü kollar, aktüatör aracılığıyla gövde içerisinden çıkarak pervanelerin etkin bir şekilde aerodinamik kuvvet üretmesi sağlanmaktadır. Kara modunda kolların gövde içerisine çekilerek daha kompakt bir yapıya dönüşmesi ve bu sayede daha güvenli hareket etmesi sağlanmaktadır.

Hava aracı 6 serbestlik dereceli bir yapıda ve kara aracı 3 serbestlik bir yapıdadır. Matematiksel modeli çıkarılan yapının giriş ve çıkış sinyallerinin elde edilip incelenebilmesi için durum uzay modeli oluşturuldu. Hava aracındaki 3 doğrusal ve 3 açılal değişken; kara aracında 2 doğrusal ve 1 açılal değişken olarak belirlenmektedir. Bu değişiklik geliştirilen algoritma sayesinde Z (irtifa) nın AGL'ye göre 0 metre olması durumunda araç uçuş gerçekleştiriyorsa kara moduna uygun X,Y ve sapma açısı değerleri durum uzay modeline giriş ve çıkış sinyalleri olarak ayarlanmaktadır.

Tasarlanan hava-kara aracı ve kontrolcü simülasyon değerleri ileri ve yanal hareket için tablo 1 ve 2 de paylaşıldı. 1 derecelik yunuslama ve yuvarlanma açılarının sinyal grafiği şekil 5 ve 6 da paylaşıldı. Elde edilen değerler yeterli olduğu daha önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında görüldü.

## Kaynaklar

- Aydin, A., Öztürk, E., Özen, E., 2020. *Otonom sistemlerin şehir içi dağıtım için uygulanabilirliği ve ekonomide yaratacağı değerlerin incelenmesi*. 4. International 19 May Innovative Scientific Approaches Congress, Samsun, Turkey, pp.257-266
- Desbiez, A., Expert, F., Boyron, M., Diperi, J., Viollet, S., Ruffier, R., 2017. *x-morf: a crash-separable quadrotor that morphs its x-geometry in flight*. Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems (RED-UAS), Linköping, Sweden, pp. 222-227.
- ENGİN, Y., 2020. *Traktörlerde Lastik Basıncını Çalışma Koşullarına Göre Otomatik Olarak Değiştiren Sistemin Geliştirilmesi*. Doktora Tezi. TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
- Nonami, K., Kendoul, F., Suzuki, S., Wang, W., Nakazawa, D., 2010. *Autonomous Flying Robots*. Springer Tokyo Dordrecht Heidelberg London New York, pp. 329.
- Oktay, T., Özen, E., 2021. *Country Border Line Control of Autonomous Rotary Wing Aircraft that Can Detect and Track Moving Objects*. Energy, Environment and Storage Journal.
- Oktay, T., Özen, E., 2021. *Kapalı ortamlarda arama kurtarma görevi için geliştirilen şekil değiştirebilen quadcopterin sistem modellenmesi ve tasarımı*. Mas 14th International European Conference on Mathematics. Engineering. Natural&Medical Sciences March 26-28. 2021/Széchenyi István University/Hungary
- Özen, E., 2023. *Döner Kanatlı İnsansız Hava Araçlarının Yenilikçi Yaklaşımlarla Otonom Performansının Maksimizasyonu*. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi
- Scharre, P. 2018. *Army of None: Autonomous Weapons and the Future of War*. W.W. Norton & Company, Newyork.