



İnsansız Hava Araçlarında İnsan Hatasının Etkilerinin Sistematik Analizi ve Sınıflandırılması-İHA Tasarımı ve Ergonomi

İbrahim AKYÜREK^{1*}, ERGÜN ERASLAN²

¹Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü İş Sağlığı ve Güvenliği Doktora Programı; ORCID: 0000-0002-0286-7607

² Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü; ORCID: 0000-0002-5667-0391

* Corresponding Author: ibrahim_akyurek@yahoo.com

Received: 6 December 2023; Accepted: 17 July 2024

Reference/Atf: İ. Akyürek and E. Eraslan, “İnsansız Hava Araçlarında İnsan Hatasının Etkilerinin Sistematik Analizi ve Sınıflandırılması-İHA Tasarımı ve Ergonomi”, Researcher, vol. 04, no. 02, pp. 157–165, 2024.



Özet

Bu çalışmada öncelikle insansız hava araçlarında insan faktörü ile ilgili yayınlanan literatür gözden geçirilmiştir. Bir sonraki adımda, çalışmaları sınıflandırmak üzere bir içerik analizi yapılmıştır. Literatürdeki çalışmalar sistematik olarak ana ve alt gruplarda toplanmıştır. Sınıflandırmanın ardından literatür tartışılarak eksik alanlar ortaya çıkarılmış ve gelecekteki araştırmalara ışık tutulmaya çalışılmıştır. 69 çalışmanın derinlemesine incelendiği bir makale üzerinden içerik analizi yapılmıştır. Bu süreçte araştırmacıların üzerinde durdukları bazı ortak konular belirlenmeye çalışılmıştır. Beş ana grupta toplanan sınıflandırma içinde İHA Tasarımı ve Ergonomi başlığı üzerine yoğunlaşmıştır. İnsansız hava araçlarının kullanıcı arayüzlerinin ve ekranlarının tasarımında insan faktörlerinin etkisi bulunmaktadır. Operatörün bulunduğu yer kontrol istasyonunun (YKİ) tasarımı ve ergonomik özelliklerinin insan hatasına yol açabilecek faktörleri incelenmiştir. Kullanıcı arayüzü ve ekran tasarımları ile ergonomik yapıların iş yükü, durum farkındalığı ve karar verme gibi değişkenler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İş yükünü azaltacak, durumsal farkındalığı artıracak, algıyı olumlu yönde etkileyecek ve operatörlerin doğru karar vermesine yardımcı olacak optimum tasarım ve ergonomik yapıların geliştirilmesine odaklanılması sağlanmıştır. Ayrıca, insansız hava araçlarının insan faktörünün olumsuz etkilerini ortadan kaldıracak şekilde tasarlanmasıdır. Tasarım ve ergonomik yapıdaki gelişmeler sonucunda insansız hava araçlarının operatörler tarafından daha verimli, etkin ve güvenli bir şekilde kullanılmasının sağlanması amaçlanmaktadır. Yer kontrol istasyonlarının ekran açısı, sıcaklık, ekran karşısındaki duruş, çalışma saati gibi hususlarda ergonomik açıdan yaşanabilecek sorunlar ve çözüm önerileri üzerine çalışılmıştır. Örnek bir yer kontrol istasyonu tasarımı incelenmiş ergonomik faktörler gözden geçirilmiştir. Ekranların açısı, oturma pozisyonu, termal konfor gibi faktörler üzerine önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İnsansız hava aracı, yer kontrol istasyonu, tasarım, ergonomi

Abstract

In this study, first of all, the published literature on the human factor in unmanned aerial vehicles was reviewed. In the next step, a content analysis was made to classify the studies. Studies in the literature were systematically grouped into main and subgroups. After the classification, the literature was discussed, and missing areas were revealed, and it was tried to shed light on future research. Content analysis was conducted on an article in which 69 studies were examined in depth. In this process, some common issues that the researchers focused on were tried to be determined. In the classification grouped in five main groups, the focus is on UAV Design and Ergonomics. Human factors have an effect on the design of the user interfaces and screens of unmanned aerial vehicles. The design and ergonomic features of the operator's ground control station (GCS), which may cause human error, were investigated. The effects of user interface and screen designs and ergonomic structures on variables such as workload, situation awareness and decision making were investigated. Focusing on the development of optimum design and ergonomic structures that will reduce the workload, increase situational awareness, positively affect perception and help operators make the right decision. In addition, unmanned aerial vehicles are designed to eliminate the negative effects of the human factor. As a result of the developments in the design and ergonomic structure, it is aimed to ensure that the unmanned aerial vehicles are used more efficiently, effectively and safely by the operators. Ergonomic problems and solution proposals have been studied in issues such as the screen angle of the ground control stations, temperature, posture in front of the screen, working hours. The design of a ground

control station is examined, and ergonomic factors are reviewed. Suggestions were made on factors such as the angle of the screens, sitting position, thermal comfort.

Keywords: Unmanned aerial vehicle, ground control station, design, ergonomics

1. GİRİŞ

Sivil Havacılık Örgütü insansız hava araçlarını uzaktan kumandalı ve otomatik olmak üzere iki ana gruba ayırmaktadır.

Günümüzde keşif, taarruz, diğer insansız hava araçlarına karşı savunma, hedef alma askeri eğitim ve mayın temizleme gibi askeri görevlerde insansız hava araçları sıklıkla kullanılmaktadır.

Sivil kullanım alanları arasında doğal afetlerin ve arama kurtarma faaliyetlerinin takibi, tarım alanlarının ve zirai ilaçlamaların izlenmesi, havadan fotoğraf ve video çekimi yer alıyor. Bunun yanı sıra haritacılık, çevre gözlemi, kentsel yapılanma, arkeoloji, orman yangınlarının izlenmesi veya kamusal alanlar gibi birçok faaliyet için insansız hava araçları tercih edilmektedir.

Havacılık sistemlerinde insan faaliyetinin evrimi uçağın varlığı sırasında, içlerindeki bir kişinin rolü, otomasyonun büyümesiyle birlikte önemli değişikliklere uğramıştır. Başlangıçta, pilotun rolü manuel kontrolden oluşuyordu, yavaş yavaş sevk kontrol ve takip operatör faaliyetlerine doğru değişti, ardından "İnsansız hava aracı" ortaya çıkmıştır. Bir uçağı uçurmanın doğrudan insan faaliyeti, kokpit aletlerinin kullanımı ve manuel kontrol, kokpit aletlerinin izlenmesine kadar uzaktan kumanda için yer istasyonu araçlarının kullanımına kadar uçağı neredeyse otomatik olarak kontrol edin uçağın kontrolü olarak tanımlanmaktadır.

Dünya askeri insansız hava araçları pazarının hacminin 2025 yılında 26,8 milyar dolara ulaşması beklenmektedir. Dünyadaki askeri ve sivil insansız hava aracı pazarı 2019 yılında toplam 9,3 milyar dolara ulaşmıştır. Bu pazarın yıllık bileşik büyüme oranı ile %15,5 artarak 2025 yılında 45,8 milyar dolara ulaşması beklenmektedir. Önümüzdeki 5 yılda dünyanın her yerinde insansız hava araçlarının sayısında artış beklenmektedir [1].

İnsansız hava araçlarının yoğun kullanımı, gerekli önlemler alınmadığı takdirde kazaların ve olayların artmasına neden olabilir. Amerika Birleşik Devletleri Federal Havacılık İdaresi'ne (FAA) bildirilen insansız hava aracı kazası sayısı Şubat 2014'te sadece 50 iken, bu sayı Aralık 2016'da 200'ü aşmıştır.

Kaza ve olaylara neden olan faktörler arasında insan faktörü önemli bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda insansız hava araçlarında insan faktörünün daha iyi anlaşılması, gelecekte olabilecek kaza ve olayların önlenmesi açısından oldukça faydalı olacaktır.

Bu çalışmada öncelikle insansız hava araçlarında insan faktörü ile ilgili 1945-2020 yılları arasında yayınlanan literatür gözden geçirilmiştir.

Bir sonraki adımda, literatüre sistematik bir bakış açısı kazandırmak için çalışmaları sınıflandırmak üzere bir içerik analizi yapılmıştır.

Sonuç olarak literatürdeki çalışmalar sistematik olarak ana ve alt gruplarda toplanmıştır. Sınıflandırmanın ardından literatür tartışılarak eksik alanlar ortaya çıkarılmıştır.

İHA sistemlerine özgü tasarım tavsiyeleri, ilgili ofis ve iş için literatürde tanımlanmış çevre literatürü gözden geçirilmiş ve bu boşlukları doldurmak için kullanılmıştır.

Kontrol istasyonu üzerinde yapılan çalışmaların genel amacı, Federal Havacılık İdaresi'ne (FAA), İHA sistemlerinin güvenli pilotluğunu sağlayacak insansız hava aracı sistemi (UAS) kontrol istasyonlarının ergonomik tasarımı hakkında bilgi sağlamaktır. İnsansız uçak kazalarının büyük bir yüzdesi, %69'u hem fiziksel iş istasyonu tasarımı hem de insan-makine etkileşimi dahil olmak üzere insan faktörü konularına atfedilmiştir. Literatürde, FAA'ya uygun operatör konforunu ve performansını artıracak ve kas-iskelet yaralanma risklerini azaltacak minimum fiziksel kontrol istasyonu tasarım önerileri sağlamaktır. İHA sistemleri kontrol istasyonu tasarımına özgü literatürün ayrıntılı bir incelemesi yapılmıştır. Kontrol istasyonlarıyla ilgili literatür olmasına rağmen, aslında iş istasyonunun fiziksel tasarımına yönelik çok

az çalışma vardır. Bu nedenle, kontrol istasyonları için bir ön tasarım önerileri vermek üzere mevcut iş istasyonu tasarım literatürü yeniden gözden geçirilmiştir.

Bu tavsiyeler mevcut standartlara ve en son literatüre dayanmakla birlikte, kontrol istasyonunun tasarımında veya içinde değişiklik yapılacak alanları belirlemek için bu tavsiyelerin resmi olarak test edilmesi ve değerlendirilmesinin yanı sıra mevcut kontrol istasyonlarıyla karşılaştırılmasına ihtiyaç vardır

Genel olarak, İHA'ların kontrolünün sabit bir yer ve tesiste gerçekleşmesi beklenmektedir. Bununla birlikte, İHA'ların mobil kontrol istasyonları kullanılarak da kontrol edilmesi gerekebileceğinden, iki ek senaryo için öneriler geliştirilmiştir: 1) hareketli bir ortamda (örn. römork, kamyonet, gemi, uçak) bulunan kontrol istasyonu ve 2) sabit kontrol istasyonudur.

Bu itibarla çevresel her üç seviye için de faktörler (sabit kontrol istasyonu, mobil kontrol istasyonu ve mobil operatörün taşıdığı kontrol istasyonu) dikkate alınmış ve öneriler sunulmuştur.

2. METODOLOJİ

İnsansız hava araçlarında insan faktörü ile ilgili çalışmaları bulmak için bir dizi arama yapılmıştır. “insan faktörü” ve “insan hatası” anahtar kelimeleri, “insansız hava aracı”, “İHA”, “insansız hava aracı”, “insansız havacılık sistemi”, “insansız hava aracı sistemi” ve “UAS” anahtar kelimeleri ile birlikte aranmaktadır. Çalışmaların başlık, “yazar anahtar sözcükleri” ve “öz” alanlarıdır. Zhang et. al. (2018) anahtar kelime seçiminde rehber olarak kullanılmıştır [2].

Tarama ve eleme aşamalarından sonra 69 çalışmanın derinlemesine incelendiği içerik analizi yapılmıştır. Bu süreçte araştırmacıların üzerinde durdukları bazı ortak konular belirlenmeye çalışılmıştır. Shapel et. al. (2007), Chang ve Wang (2010) ve Wiener ve Nager (2014), çalışmaların sınıflandırmasını tanımlamak için kullanılmaktadır. Ayrıca Zhang et. al. (2018) bu süreçte yol gösterici olarak dikkate alınmıştır [2].

Yapılan içerik analizi sonucunda literatürdeki çalışmalar 4 ana grupta toplanmış ve daha sonra aynı yöntem kullanılarak her grubu oluşturan alt gruplar oluşturulmuştur. İnsan Faktörlerinin Tanıtılması ilk sıradadır. Havacılıkta insan faktörleri alanında da sıklıkla çalışılan iş yükü, durumsal farkındalık, karar verme ve iş birliği gibi değişkenleri araştıran insansız hava araçları üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Daha sonra “iş yükü”, “durumsal farkındalık”, “karar verme ve özerklik”, “yorgunluk” ve “iş birliği, takım uyumu ve koordinasyonu” olarak adlandırılan alt gruplar oluşturularak çalışmalar ilgili alt gruplara dağıtılır.

Örneğin, bir çalışma aynı zamanda yorgunluk, stres ve uyanıklığı araştırmış olabilir. Bir diğeri ise aynı araştırmadaki yorgunluğu, ekip boyutunu ve iş yükünü incelemektedir. Bu tür çalışmalar “Çok faktörlü araştırmalar” adı verilen farklı bir alt grupta toplanmaktadır.

İHA Tasarımı ve Ergonomi başlığı bu çalışmanın ana konusunu oluşturmaktadır. Çalışma grubu, insansız hava araçlarının kullanıcı arayüzlerinin ve ekranlarının tasarımında insan faktörlerinin etkisi ile ilgilidir. Kullanıcı arayüzü ve ekran tasarımları ile ergonomik yapıların iş yükü, durum farkındalığı ve karar verme gibi değişkenler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmaların birçoğu, iş yükünü azaltacak, durumsal farkındalığı artıracak, algıyı olumlu yönde etkileyecek veya operatörlerin doğru karar vermesine yardımcı olacak optimum tasarım veya ergonomik yapıların geliştirilmesine odaklanmaktadır. İkinci alt gruptaki çalışmalar, benzer bir tasarım ve ergonomi yaklaşımını insansız hava araçlarının kontrol üniteleri ve diğer sistemleri üzerinde yürütmektedir. Bu çalışmalarda, uçuş yönetim sistemleri, navigasyon sistemleri, aviyonik sistemler gibi insansız hava aracı bileşenlerinin tasarımının ve ergonomik yapısının insan faktörü üzerindeki etkileri derinlemesine incelenmektedir [3].

Bu gruptaki çalışmaların ortak amacı, insansız hava araçlarının insan faktörünün olumsuz etkilerini ortadan kaldıracak şekilde tasarlanmasıdır. Tasarım ve ergonomik yapıdaki gelişmeler sonucunda insansız hava araçlarının operatörler tarafından daha verimli, etkin ve güvenli bir şekilde kullanılmasının sağlanması amaçlanmaktadır.

Ekip Üyeleri ise diğer bir ana grup başlığıdır. Bu gruptaki çalışmalar mürettebat konularını insan faktörü açısından ele almaktadır. Üç alt gruba ayrılırlar. Birinci gruptaki çalışmalar, farklı koşullar ve senaryolar altında mürettebat davranışını ve davranışsal tepkileri inceler. Ekiplerin farklı durumlara verdiği tepkiler değerlendirilerek, insan faktörü değişkenlerine dayalı ekip davranış profillerinin oluşturulması amaçlanmaktadır.

İkinci alt gruptaki çalışmalar, ekip seçimi, performans değerlendirmesi ve ekip yetkinliklerini insan faktörleri perspektifinden ele almaktadır. Bu çalışmalardan bazıları, mürettebatın fiziksel yeterlilik, tıbbi durum ve hatta dil yeterliliği açısından performansını ve yeterliliklerini ele almaktadır. Bazı çalışmalar, insansız hava aracı pilotlarının performans ve yeterlilik değerlendirmeleri için insan faktörü odaklı öneriler sunmaktadır. Ayrıca ekip üyesi olarak yetiştirilecek kişilerin seçiminde dikkate alınması gereken insan faktörü konuları da bu alt grupta incelenir [4].

Operasyonel Konular son ana grup başlığıdır. Bu gruptaki çalışmalar, insansız hava araçları ile gerçekleştirilen fiili uçuş operasyonlarını ve ilgili görevleri insan faktörü açısından incelemektedir. Bu gruptaki yalnızca bir çalışma, operatörlerin uçuş prosedürlerine ve kontrol listelerine uyma derecesini otomatik ve sürekli olarak kontrol edecek bir sistem önermektedir. Bu nedenle söz konusu çalışma “işlemler ve kontrol listeleri” adı altında farklı bir alt gruba alınmıştır [5].

Diğer çalışmalar “uçuş operasyonları” adı verilen alt grupta yer almaktadır. Bu çalışmalardan bazıları, insansız hava araçlarının paket teslim, arama kurtarma ve kamu hizmetleri gibi belirli görevlerini insan faktörü açısından iyileştirmenin yollarını arıyor. Ayrıca, bu alt gruptaki çalışmalar, bir operatörün kontrol edebileceği optimum uçak sayısının hesaplanması ve görev parçalarının operatörler ve sistemler arasında dağıtılması gibi konuları araştırır [6].

Bu çalışmada yapılan sınıflandırmanın açık bir sonucu, nispeten yeni olan insansız hava araçları alanında, insan faktörü çalışmalarına bir yol göstermesidir. Ayrıca insan faktörleri alanının ana konuları olan iş yükü, karar verme, durum farkındalığı, yorgunluk gibi değişkenlerle ilgili çok az çalışma olması dikkat çekicidir. Bu değişkenlerin farklı koşullar altında nasıl değiştiği, uçuş operasyonlarının etkinlik, verimlilik ve emniyetini nasıl etkilediğinin araştırılması insansız hava araçlarının geleceği açısından faydalı olacaktır.

Bazı yer kontrol istasyonu (YKİ), karmaşık tasarım öğelerine sahiptir. Küçük veya rutin görevleri gerçekleştirmek için optimize edilmemiş otomasyon arayüzleri bulunmaktadır. YKİ'deki bu tasarım hataları kokpit konumlarına tasarım ve ergonomi ilkeleri uygulanarak önlenabilir. YKİ tasarımındaki sorunlar, geliştirilmekte olan İHA'nin optimize edilmemesine neden olabilir.

Kontrol istasyonu tasarımında;

- İHA'yı kontrol etmek için aktif olarak kullanılmadan önce pilota kontrol bağlantısının kalitesi hakkında bilgi sağlamak
- Pilota, hangisinin aktif olduğunu belirlemek için gerekli bilgileri sağlamak (örn. seçilen frekans, uydu vs. karasal)
- Bağlantı kaybolduğunda veya önemli ölçüde bozulduğunda pilotu uyarmak
- Pilotun iletişim modunu seçmesi için bir araç sağlaması (örn. karasal/uydu, frekans)
- İşitsel veya görsel uyarıların içgüdüselliği
- İş yoğunluğu
- Tutarlılık
- Kontrol girişleri hakkında geri bildirim
- Rahatsız edici uyarılar
- Acil özellikler

Seçilen İHA konsepti aşağıdaki ana maddelere dayanmaktadır;

Hava vektörleri hava ve yüzey uzayında görsel yarıçapın ötesine geçebilen, altında İHA'nın çalışması hem hava hem de yüzey vektörleri için eşzamanlı, ayrı çalışma koşulları; operasyon ve sezgisel ve minimum kaynak kullanımı yoluyla İHA'nın bakımı; İHA işlemi tüm aşamaları kapsar. Uçuş planlamasından bilgilendirmeye kadar görevin boyutu, ağırlığı ve çok yönlülüğü nedeniyle İHA konsepti mevcut bir ürüne dayanmaktadır [7]. İHA dahili bağlantıları şunlardır: güç kaynağı (dahili / harici kaynak), video sinyali iletimi, telemetri sinyalinin iletimi, kontrol ve komut sinyalinin iletimi, harici kullanıcılar ve bağlantılardır [8].

İHA geliştirme ekibi, tasarım aşamasından itibaren bir dizi faktörü dikkate alır, örneğin, yapı ve geometri, donanım ve bağlantı donanımı, yazılım bileşeni ve kullanıcı arayüz dikkate alınan parametrelerden bazılarıdır. Parametreler aşağıdaki gibi detaylandırılmıştır. Geometri ve yapı tasarım özellikleri boyutsal olarak ve tamamen optimize edilmiştir. İHA'nın hareketliliği (sert kap, kulplar, taşıma makaraları) gözden geçirilmiştir.

İHA operatörlerinin başlıca ergonomik sorunları şunlardır [9]

- Duyusal sinyallerde azalma (nesnelere göz temasının bozulması (kamera bir sınırlı görüş alanı, azalmış işitsel ve koku alma duyuları),
- Kontrol istasyonunun psikolojik ve duygusal algısı (bunlar daha çok geleneksel bir kabinden daha kontrol odaları veya ofis iş istasyonları),
- İnsan fizyolojisi açısından gerçekçi olmayan, görevin zamanlaması (için örneğin, 24 saatten fazla) yorgunluk ve ardından ihtiyaç ile ilişkili riskler eşlik eder. Kontrolü başka bir operatöre devretmek, bu da hatalara yol açar;
- Uçuşun acil bir şekilde sonlandırılması ve uçağın imha edilmesi olasılığı
- Otomasyona güven ayrı bir sorundur. Bir uçağın aksine, bir İHA'nın hiçbir şekilde manuel kontrolü yoktur.

İletişim sistemleri, sistem öğeleri ve hariciler arasında veri paylaşımı için araç sağlar. Günümüzde çoğu İHA sistemi, veri iletmek için radyo frekanslarını (RF) kullanır. Bu sistemler yapılandırılmış uydu iletişimleri gibi görsel aralığın ötesinde doğrudan veya dolaylı iletişim için (SATCOM) veya havadan radyo rölesi şeklinde gerçekleşir. İletişim sistemleri, başka sistemlere entegre edilebilen birkaç unsurdan oluşur. Sistem, modemler, vericiler, yükselticiler ve antenlerden oluşur. Antenin entegrasyonu, aerodinamik etkiler ile anten arasında yeterli bir denge bulunmalıdır. İletişim sistemlerinin birbirine bağlı bileşenlerinin kapsama alanı ve yakınlık verileri dikkate alınmalıdır. Anten ve gerekli görüş alanı, entegrasyon yaklaşımını ve tasarımı etkiler. Entegrasyonu iletişim sistemi, ilk tasarım aşamalarından itibaren tasarımda önemli bir rol oynamalıdır, çünkü kritik sistemi uyarlamaya yönelik girişimlerin insansız uçaklar için tasarlanması zahmetli bir çalışmadır.

Bir İHA çalıştırmanın en önemli yönlerinden biri, büyük ölçüde harici kaynaklara dayanan güvenlidir. İHA operatörleri, iletişim sinyalleri ile İHA'yı ve faydalı yüklerini doğrudan kontrol eder. Hava aracı uçuş operatör ü(kontrolör veya yer pilotu) ve görev yükü operatörünün yer kontrol istasyonunda gerçekleştirilebileceği diğer işlevleri şunlardır: (1) görev komutan, (2) iletişim operatörü, (3) akıllı uzman ve (4) hava gözlemcisi.

İHA kayıpları, operatör hatalarına atfedilmektedir. Bir kısmı etkisiz arayüz tasarımı ile ilgilidir. Zayıf bir yer kontrol istasyonu tasarımının bazı olası eksiklikleri, YKİ'nin; (1) aşırı iş yükü yaratması, (2) kritik bilgileri etkili bir şekilde sunmaması, (3) acil durum oluşumu ve (4) YKİ içinde operatör stresi oluşturan rahatsız edici bir duruma sahiptir.

Operatörün çalışma ortamı rahat olmalıdır ve arayüz etkili olmalıdır; aksi takdirde operasyonel yorgunluk ve olası İHA kayıpları olasıdır. İnsanı ele alan bir tasarım planlandığında, ergonomik standartların dikkate alınması gerekmektedir. İnsan faktörleri mühendisliği alanı bilimsel bilgiyi kullanır bir insan-makine sisteminin tasarımını ve kullanımını belirlemede insan davranışı hakkında bilgi sağlar. Amaç, insan hatasını en aza indirerek sistem verimliliğini, performansını, konforu ve emniyeti artırmaktır. Gelişebilecek tekrarlayan hareketlerden kaynaklı zorlanmaları önlemek için uygun ergonomik tasarıma ihtiyaç bulunmaktadır [10].

YKİ içindeki operatör, ihtiyaç duyulduğunda ilgili tüm bilgilere erişebilmelidir. Yüksek hacimli verilerle rahatsız olmaması gerekir. Ayrıca, YKİ' deki sıcaklık ve nem, maksimum konfor ve etkinlik sağlamak için kontrol edilmelidir. Ek olarak, eş zamanlı faaliyetlerin sayısı normal bir insandan az veya ona eşit olmalıdır. Bu nedenle, joystick, pedal ve gösterge sayısı sınırlandırılmalıdır. Oturma ortamı ve koltuk/masa ilişkisi ergonomik esaslara göre tasarlanmalıdır. Yazılım/algorithm, arayüzün operatöre izin verecek şekilde menü odaklı olacak şekilde tasarlanmalıdır (Belki birkaç tuş ile gerekli bilgileri bulmak için). Birden fazla olduğunda her operatörün görevleri açıkça tanımlanmalıdır.

Yanlış monitör konumlandırması, boyun ve göz yorgunluğuna neden olabilir. Baskı oluşturan koltuk sırt üzerinde rahatsızlığa yol açabilir. Otururken monitör göz hizasında olmalıdır. "Görüş Konisi" kişinin göz hizasında tepeden başlayan ve 30°'lik bir açıyla açılan görme alanını tarayan en yakın yerde bulunmalıdır. Monitörler çok olduğunda uzakta, insanlar iyi görmek için öne eğilme eğilimindedir. Bu, insanlar yaşlandıkça giderek daha sık tekrarlanmaktadır. Çünkü görme neredeyse kaçınılmaz olarak zamanla azalır. Temel kural; kişi kolunu uzatabilir ve sadece parmak uçlarıyla ekrana dokunabilirse, o zaman doğru konuma ulaşılmıştır. Bilekleri ve kolları optimum pozisyonda tutmak, tekrarlayan hareket riskini azaltmak, joystick, boyunduruk ve anahtarlar otururken dirseklerle aynı seviyede olmalıdır. Herkesin standart bir boyutu yoktur, basit bir düzeltme ayarlanabilir. Düzgün oturmak %20-30 arasında olmalıdır. Alt sırttaki baskıdan koltuk 17 inç ile 19 inç arasında bel desteğine sahip olmalıdır. Vücut, sırtı koltuğa gelecek şekilde konumlandırılmalıdır. Paneli görmek için kendini öne doğru eğilmiş bulursa, hareket etmesi gerekir. Bacak konumlandırma, koltuktaki genel konuma katkıda bulunur, bu nedenle bacakların bükülü olduğundan emin olunmalı, dizlerde yaklaşık 90o açıda olmalıdır. (Şekil 1). Bu durum, sırttaki baskıyı hafifletmeye yardımcı olur. Hareket esastır ancak sirkülasyon için, bu nedenle konumlandırmada ince değişikliklere izin verilmeli ve ayakta durulmalı ya da en az birkaç adım yürünmelidir. Ayaklar yere sağlam basmalıdır. Uygun bilek hizalaması için gereken oturma pozisyonu ayakların yere ulaşmamasına neden oluyorsa, desteğin yüksekliği dizleri dik açıda tutacak şekilde ayakları desteklemek için ayaklık kullanılmalıdır.



Şekil 1: Yer Kontrol İstasyonu

YKİ içinde bir dizi monitör ve ekran bulunmaktadır. Bir monitör, bir video görüntüsü taşır. Monitörlerin altında, üzerinde kontrol çubuklarının bulunduğu kontrol güverteleri bulunur. Uçuş sırasında İHA'nın doğrudan operatör kontrolü buradan sağlanır. Görev verilerini, yazılım güncellemelerini veya İHA'ya yol noktalarını girmek için tuş takımı kontrolleri, kontrol güvertesinde bulunur. Uçağı başlatmak, uçuş öncesi test verilerini seçmek ve uçağın kalkışını etkinleştirmek için kontroller sağlanır. Orada olacak kayıt ortamıyla birlikte yük durumunu ve verileri (görüntü ve/veya diğer veri türleri) gösteren ekranlar olacaktır. İHA'da ve faydalı yükün çalışmasını kontrol etmek ve göstermek için bir ekran da dahil edilebilir. Görüntü ekranı, İHA sensörlerinin tam çözünürlüğünden yararlanmak için operatörün görebileceği şekilde yeterince büyük olmalıdır. YKİ operatörleri, kontrol ettikleri İHA'da hareketli bir harita ekranında bir simge belirir ve ekranda görüntülenen faydalı yük görüntüsünü izler. Denizden yakın mesafe İHA fırlatıldığında, kontrol istasyonu denize yakın bir gemide konumlandırılır.

İHA operatörünün faaliyetinin özellikleri şu şekilde sıralanır; İnsansız hava araçlarında insan faktörünün tezahürleri her operasyonda ortaya çıkmaktadır. Örneğin, bir uçağın pilotu fiziksel olarak algılar ve işlerse bilgi kokpitte yer alır. Aynı zamanda İHA operatörü zihinsel olarak algılar ve bilgileri kontrol nesnesinden uzaktan işler şeklinde yürütür. İHA operatörlerinin faaliyeti, ağırlıklı olarak bilişsel tepki ve düşünce süreçleri ile dikkatleri yüksek olmalıdır. Beklenmedik bir durumda İHA operasyon görevlerinin yüksek başarı oranı ve görevlerin önemli süresi, artan strese ve fazla çalışmaya neden olur.

İnsansız hava aracı sistemlerinde insan faktörü eğitimi disiplinler arasıdır. Teknolojilerin ve ekipmanın güvenliği, insan faaliyetinin güvenliği önem arz etmektedir. Her hangi bir teknolojinin veya sistemin yaşam döngüsü, riskleri önleme ve olası riskleri en aza indirme yeteneği insan faktörünün olumsuz sonuçlarını azaltabilmektedir. Toplumun karmaşık sistemlerinin (ulaşım, enerji vb.) güvenliğini sağlama ihtiyacı üzerinden eğitim uzmanları insan faktörünün doğası üzerine yoğunlaşmaktadır. İnsansız sistemlerin tasarımında insan operatörünün psikofizyolojik ve bilişsel özellikleri arayüz ve bunların teknik nitelikleri ve yetenekleri dikkate alınmadan yapılan geliştirme faaliyetlerinde güvenlik sorunu yaratacaktır. . Bu nedenle günümüzde İHA'ları da içeren karmaşık sistemlerin tasarımında ve işletilmesinde, insanın bireysel yeteneklerini ve sınırlarını dikkate almak gerekir [12].

Bir İHA için YKİ tasarlanırken, YKİ tipini seçmeli, ölçüm cihazlarını, operatör sayısını seçmeli ve ardından bazı hesaplamalar ve analizler yapılmalıdır. Genel olarak, YKİ tasarımı için birincil kriterler şunlardır: (1) üretim teknolojisi, (2) sistem validasyonu, (3) görev, (4) hava durumu, (5) güvenilirlik, (6) yaşam döngüsü maliyeti, (7) İHA konfigürasyonu, (8) insan faktörleri, (9) sürdürülebilirlik, (10) dayanıklılık, (11) iletişim sistemi, (12) ağırlık ve (13) kontrol seviyesi [13].

Genel olarak tasarım süreci, net bir çizgi oluşturmak için bir ödün verme çalışmasıyla başlar. Maliyet, performans (yani doğruluk) gereklilikleri arasında devam eder ve optimizasyon ile sona erer [14]. Tasarımcı iki öge hakkında karar vermelidir. YKİ tipini ve ya istenen ekipmanı seçmelidir. Sonrasında hesaplama sürecini yürütürken, tasarım gerekliliklerinin sağlandığından emin olmak için kontrol edilmelidir. Tasarım sürecinin çok önemli bir parçası YKİ'yi hava aracına entegre etmektir. Eğer tüm ekipman/ekranlar seçilir/tedarik edilir, entegrasyon süreci devam etmelidir. Aksilik ve hatanın minimum düzeyde olduğundan emin olmak için operatörlerin konfor düzeyi ve etkinliği (ergonomik göstergeler) sırasıyla belirlenmelidir.

Çoğu YKİ tasarımının, İHA uçuş bilgilerinin yanı sıra yeterli düzeyde operasyon alanı bilgisi sağladığı bulunmuştur. Operatör reaksiyon hızı ve performansı da çok önemlidir. Tehditlerin hızlı bir şekilde tanımlanmasını sağlarken, savaş alanı durumlarının iyileştirilmiş görünürlüğü, gelişmiş grafik teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir [15].

Tehdidin büyüklüğünün erken tespiti ve tanımlanması, hızlı karar alınmasını sağlar. İnsan arayüzü, hızlı tepki ve gerekli bilgilerin geniş sunumu için dokunmatik ekran ve çoklu ekran sistemine dönüşmüştür. Bir görüntü ekranının konfigürasyonu açısından operatörün bireysel rahatlığı, özelleştirme ile gerçekleştirilmiştir [16].

Ekranın boyutu ile birlikte ekran sayısı da artma eğilimindedir. Operatörün yorgunluğunu azaltmak için ekranı yukarı ve aşağı yerleştirme eğilimi vardır. Ayrıca, savaş alanı durumunu ayrıntılı olarak ifade etmek için üç boyutlu bir taktik harita kullanır. Farklı bilgiler için sembol renklere göre sınıflandırılmıştır. Pilotların iş yükünü azaltmak için sistemi çalıştıracak ek operasyonel personel mevcuttur [17].

İnsansız sistemler için yer kontrol istasyonu geliştirmek için, tasarım aşamalarından yerleşim, bilgi bileşeni, temsil şeması ve insan operasyon yöntemleri gibi birçok faktörün dikkate alınması gerekir. Bu kadar çok faktörün çok zor olabileceğini göz önünde bulundurarak, dünyanın dört bir yanındaki büyük İHA istasyonlarından tasarım faktörlerinin derinlemesine bir araştırması yapılmaktadır [18]. Tasarım özelliklerini ve özelliklerini analiz edilmelidir. Söz konusu parametreler, ekran görüntüleme bilgileri, görüntüleme yöntemi, ekran sayısı, taktik durum bilgisi, taktik harita ekipmanının çalışması, operatör sayısı, operatörün konumu, düzeni ve operasyon ortamını içerir.

3. SONUÇ ve TARTIŞMA

İnsansız hava araçlarının birçok alanda kullanılmaya başlanmasıyla, son yıllarda insan faktörünün bu alandaki rolü hızla önem kazanmaktadır. İnsan faktörlerinin insansız hava aracı operasyonları üzerindeki etkisini bilmek, güvenlik açısından giderek daha kritik hale gelmektedir. Bu çalışmada, insansız hava araçlarında insan faktörü konularına ilişkin literatüre sistematik bir bakış sunulmaktadır. Çalışmalar, ele aldıkları konulara göre gruplara ve alt gruplara ayrılmaktadır. Bu sayede ne tür çalışmalar yapıldığı, hangi konuların incelendiği ve gelecekte ne tür çalışmalar yapılabileceğinin anlaşılması amaçlanmaktadır.

İnsansız hava sistemleri, ergonomik problemlere sahiptir, İHA operatörünün özellikleri ve İHA'nın teknik özellikleri karmaşık sistemlerdir. Operatörlerin tasarımında, çalıştırılmasında ve eğitiminde insan faktörü önemli yer almaktadır. Ayrıca ergonomiyi zorunlu bir disiplin olarak uygulamaya sokmak acil bir ihtiyaçtır. İnsan-makine etkileşiminin karmaşık süreçlerinin anlaşılmasıdır; riskleri tahmin etme yeteneği ve bu riskleri önceden göz önünde bulundurarak sistemlerin geliştirilmesi insan hatalarının azaltılmasında büyük pay sahibi olacaktır.

İnsansız hava araçlarında insan hataları faktörleri içinde İHA tasarımı ve Ergonomi başlığı içinde yer kontrol istasyonları gözden geçirilmiştir. Yapılan literatür araştırması sonunda insan faktörü açısından önemli bir yeri olan ergonomi unsuru üzerinden pilotun yer aldığı ve uzun saatler geçirdiği yer kontrol istasyonunda sistem tasarımı ve yerleşimi konusunda önerilerde bulunulmuştur.

Pilotun duruşu, koltuğu, kullandığı klavye mouse, joystick vb. tüm aparatlara erişimi uzun saatler çalışıldığı düşünüldüğünde eklem ve kol kaslarını yormayacak şekilde tasarlanmalıdır. Ekran açısı ve yüksekliği boyun sinirlerine baskı yapmayacak şekilde ayarlanmalıdır. Ayakların pozisyonu ile kapalı alanda termol konfor şartları gözden geçirilmelidir. Arazi şartlarında kabin içi sıcaklık kontrollü olmalı ve oda sıcaklığı şartları sağlanmalıdır.

Çalışma, gelecekte yapılacak tasarım ve ürün geliştirme çalışmalarına ön bir gereklilik sağlaması açısından önemlidir. İnsansız hava araçlarının gelecekte çok daha sık kullanılacağı düşünüldüğünde yer kontrol istasyonlarının tasarımı ve ergonomisi üzerine çalışılması gereken konulardandır.

References

- [1] A. C. Watts, V. G. Ambrosia, and E. A. Hinkley, "Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use," *Remote. Sens.*, 2012, doi: 10.3390/rs4061671
- [2] X. Zhang, G. Jia, and Z. Chen, "The Literature Review of Human Factors Research on Unmanned Aerial Vehicle –What Chinese Researcher Need to Do Next?," in *Cross-Cultural Design. Methods, Tools, and Users*, Cham, 2018, pp. 375–384, doi: 10.1007/978-3-319-92141-9_29.
- [3] "List of unmanned aerial vehicle applications," Wikipedia. Jun. 29, 2020, Accessed: Aug. 05, 2020. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=List_of_unmanned_aerial_vehicle_applications&oldid=965129299.
- [4] "UAS by the Numbers." https://www.faa.gov/uas/resources/by_the_numbers/ (accessed Aug. 05, 2020). [6] "Military Drones Market Size, Growth, Trend and Forecast to 2025 | MarketsandMarkets." <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/military-drone-market221577711.html> (accessed Aug. 05, 2020).
- [5] "Military Drones Market Size, Growth, Trend and Forecast to 2025 | MarketsandMarkets." <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/military-drone-market221577711.html> (accessed Aug. 05, 2020).
- [6] "Unmanned Aerial Vehicle Market, UAV Size, Share, system and Industry Analysis and Market Forecast to 2024 | MarketsandMarketsTM." <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/unmanned-aerial-vehicles-uavmarket-662.html> (accessed Aug. 05, 2020).
- [7] Ground control station. Benchmark Study, 2015, available at <http://dronencode.github.io/UXDesign/Research/Benchmark/GCSBenchmark.pdf>
- Hong, J., Kim, S. and Kwon, Y. (James) (2015) Analysis of Modern Design Approach for Anti-Air Radar Screen. Technical Report of Ajou University, Suwon, South Korea.
- [8] Jongsoon, I., et al. (2006) Study of Aircraft Landing Loads and Ground Handling Loads. Proceedings of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Fall Conference, 189-197.
- [9] Jang, J., et al. (2011) Development of GCS for Small UAV with Automatic Takeoff and Landing Mode. Proceedings of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Fall Conference, 1637-1641.
- [10] Backes, P.G., et al. (1995) Ground Control Station Development for the Dexterous Orbital Servicing System. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 21-27 May 1995, 1259-1264.

<http://dx.doi.org/10.1109/robot.1995.525454>

- [11] Aydemir, M.E., et al. (2013) Ground Station Design Procedures for CANSAT. The 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies, 909-912.
- [12] Olmos, O., et al. (2014) Tactical Displays for Combat Awareness: An Examination of Dimensionality and Frame of Reference Concepts and the Application of Cognitive Engineering. The International Journal of Aviation Psychology, 10, 247-271. http://dx.doi.org/10.1207/S15327108IJAP1003_03
- [13] Hobbs, A., & Lyall, B. (2016). Human factors guidelines for unmanned aircraft systems. Ergonomics in Design, 24, 23-28. DOI:10.1177/1064804616640632
- [14] Pedersen, H. K., Cooke, N. J., Pringle, H. L., & Connor, O. (2006). UAV human factors: Operator perspectives. In N. J. Cooke, H. L. Pringle, H. K. Pedersen, & O. Connor (Eds.), Human factors of remotely operated vehicles. San Diego, CA: Elsevier, 21–33.
- [15] Shneiderman, B., & Plaisant, C. (2005). Designing the user interface: Strategies for effective human-computer interaction. Boston, MA: Pearson.
- [16] Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1993). Human factors in engineering and design (7th ed.). New York, NY: McGraw-Hill
- [17] Mygal, G., Protasenko, O. (2020). Human resources are a factor in applying of man-machine systems safety. Municipal Economy of Cities 6(159), 139-146. DOI:10.33042/2522-1809-2020-6-159-139-146
- [18] Parasuraman, R., Mehta, R. (2013). Neuroergonomics: a review of applications to physical and cognitive work. Frontiers in Human Neuroscience, 7(889), 1-10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00889>