

Göz takip araçları ile pilot seçme sürecini geliştirme

Slaviša Vlačić
Military Academy, University of Defense,
Belgrade, Serbia

Aleksandar Knežević
Military Academy, University of Defense,
Belgrade, Serbia

Saptarshi Mandal
Industrial & Systems Engineering,
University of Oklahoma, USA

Sanja Rođenkov
Aeromedical Institute
Belgrade, Serbia

Panos A. Vitsas
ITPS,
London ON, Canada

Çeviri: Aykut Emre YALÇIN
Warsaw, Poland

Bu makale, pilot seçme sürecinde göz izleme araçlarının kullanımını anlamayı geliştirmektedir. Aday pilotların göz hareketleri ve dikkat dağılımının araştırılması, daha zorlu uçuş eğitim aşamalarında görsel davranış tahmini yapma yeterliliği sağlayabilir. Araştırma kapsamında psikolojik testler, katılımcıların uçuş taraması ve bir göz takip cihazı ile birlikte simülasyondaki başarıları değerlendirildi. Katılımcılar yüksek, orta ve düşük performans olmak üzere üç kategoriye ayrıldı. Psikolojik test sonuçları ve uçuş tarama sonuçları açısından ayrı ayrı değerlendirildi. Bir göz takip cihazı katılımcıların görsel davranışlarını görsel algı ve hızı üzerinden takip etti. Katılımcılar arasındaki görsel tepki farkını, simüle edilmiş uçuş şartlarında gözün bir yere sabitlenme(fixation) ve tekrar bakma(revisit) sayıları ölçtü. Sonuçların karşılaştırılması, psikolojik test sonuçları ile pozitif bir uyum gösterdi. Ancak, uçuş tarama sonuçları ile uyum doğrulanamadı. Geleneksel göz hareketi ölçütlerinin eksikliklerini aşmak için üç ana hedef ölçütü içeren yeni bir ağ tabanlı yaklaşım kullanıldı. Grafikler ve normalleştirilmiş önem ölçütlerinin analizi şeklinde sunulan bu ağ tabanlı yaklaşımın sonuçları, her bir katılımcıya özgü bir sakkad(saccade) stratejisinin çıkarılabileceğini gösterdi. Aralarındaki farklılıklar, zayıf noktaların pozitif olarak tespit edilmesini sağladı. Bu şekilde, göz izleme araçları potansiyel olarak pilot seçim sürecini geliştirebilir ve diğer test ve değerlendirme yöntemlerini tamamlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Göz hareketi, göz takibi, bakış, dikkat, sabitlenme, tekrar bakma, ilgi alanı, Uçuş tarama

1. Giriş

Askeri pilot seçimi uzun, kompleks ve pahalı bir süreçtir⁽¹⁾. Hangi aşamada(ör. Birincil, ikincil, üçüncül) olduklarına bakılmaksızın seçim aşamasının ana amacı, belli başlı bazı hızlı jet uçaklarını ve/veya helikopterleri sürebilecek profesyonel veya acemi pilotları filtrelemektir. Pilot olabilmek için gereken beceriler, mükemmel sağlık durumunun yanı sıra,

30 Kasım 2018'de ulaştırıldı; 18 Şubat 2020'de yayımlandı
Citation: Vlacic, S., Knezevic, A., Mandal, S., Rodjenkov, S. & Vitsas, P. (2020). Improving the pilot selection process by using eye-tracking tools. *Journal of Eye Movement Research*, 12(3):4.
Digital Object Identifier: 10.16910/jemr.12.3.4
ISSN: 1995-8692
This article is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

tıbbi ve psikolojik parametrelerle tanımlanır. Her adayın genel ve özel yeteneklerin yanı sıra, stres altında karar verme, özgüven gibi kişilik özelliklerine de yüksek düzeyde sahip olması gereklidir. Yukarıda belirtilen tüm özellikler, temel eğitim sürecinde test edilir. Öğrenci pilotların uçuş müfredatını başarıyla takip edebilme ve gerekli pilot yetkinliklerini geliştirme becerisine sahip olmaları gerekir (ör. prosedürleri anlama ve hatırlama, görsel yönelim, prosedürler ve operasyonlarda düzenlilik)⁽²⁾.

Eğitim döngüsünü kısaltmak, verimliliğini artırmak ve maliyetleri düşürmek için, yeni adayların başlangıç eğitimleri jet savaş uçakları yerine pervaneli uçaklarla yapılmaktadır. Ayrıca, Wang ve Chan⁽³⁾, adayların başlangıç eğitim performansının ve bunu değerlendirmek için kullanılan sistemlerin, gelecekteki uçuş eğitimindeki başarılarını belirlemede kritik bir rol oynadığını belirtmiştir. Bunun yanı sıra, farklı uçak sistemleri arasındaki geçişlerin (eğitim sürecinde kullanılan) kokpit içerisindeki görsel arayüzler ve enstrümanlar açısından farklılıklar getirdiği unutulmamalıdır⁽⁴⁾. Sonuç olarak, dijital kokpit enstrümanlarıyla donatılmış yeni uçakların tanıtımının mevcut eğitim sürecini ve dolayısıyla seçim sürecini nasıl etkilediğini anlamak zorunlu hale gelmiştir. Bu durum, adayların yeteneklerini değerlendirmek için farklı bir yaklaşım gerekip gerekmediği sorusunu da gündeme getirmektedir.

Konudan bihaber olanlar için bir özet geçmek gerekirse, seçim süreci üç ana aşamadan oluşur. İlk aşamada adaylar zorlu bir medikal, psikolojik(dikkat kapasitesi ölçümü, mantıksal akıl yürütme, mental hız, algısal akıl yürütme, hafıza, ve uzamsal beceri) ve psikomotor(bilgisayar tabanlı bir göz-el-bacak koordinasyon testi içerir.) testlerinden geçmek zorundadırlar. Psikolojik testler uçuş tarama testlerinden önce yapılır. Detaylandırmak gerekirse T2 ve T5 mantık yürütme testleri ve Wulfften-Palthe(WP)(testler kağıt kalem ile çözülür.), adayların dikkat ve algı becerilerini belirlemek için kullanılır^{(5),(6),(7)}. İkinci aşama (uçuş tarama olarak da adlandırılır), hafif piston motorlu bir uçakta temel uçuş eğitimini içerir. Bu aşamada, çalışma ve entelektüel beceriler, algısal ve duygusal duyular gibi çeşitli yetenekler değerlendirilir⁽²⁾. Uçuş tarama aşamasında daha gelişmiş uçakların tanıtımı, operasyonel karmaşıklığın ve uçuş saat başına maliyetin artmasına neden olur. Bu nedenle, uygun olmayan adayların mümkün olan en erken aşamada tespit edilmesi büyük önem taşır.

Diğer yandan, adayların seçim sürecinin ileri aşamalarında elenmesi, özellikle aday hızlı jet eğitim uçaklarında uçmaya başlamışsa, yüz binlerce dolara varan ciddi mali kayıplara yol açabilir. Bu nedenle, seçim sürecinin erken aşamalarında uyumsuz adayları filtrelemek için, geleneksel yöntemlerle uyumlu, verimli ve düşük maliyetli performans değerlendirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla, önceki birçok çalışma, genellikle simüle edilmiş uçuş senaryolarında uygulanan göz izleme araçlarının kullanılmasını önermiştir^{(8),(9),(10)}. Bu çalışmaların bazıları, farklı uçuş senaryoları ve çeşitli pilot kategorileri için pilotların görsel tarama stratejilerini analiz etmiştir^{(11),(12),(13),(14)}.

Seçim sürecinin üçüncü aşamasında, adaylar aerobatik uçuş becerilerine (ör. dikey manevralar, g-kuvvetlerine uyum) dayalı olarak hafif tek motorlu pistonlu uçaklarda değerlendirilir. Bu aşamada, yüksek performans gösteren adaylar hızlı jet uçaklarında ileri eğitime, ortalama performans gösterenler helikopter eğitimine gönderilirken, düşük performans gösterenler eğitim sürecinden tamamen elenir.

Yukarıda açıklanan seçim aşamalarından, bu sürecin oldukça maliyetli olduğu açıktır. Bu nedenle, eğitim maliyetlerini azaltmak için uygun olmayan adayları mümkün olan en erken aşamada elemek kritik önem taşır. Bu amaçla, bir adayın performansını tahmin edebilen daha ucuz bir alternatif yaklaşım son derece faydalı hale gelir. Önceki birçok çalışma, göz takibi araçlarının, kokpit içerisindeki pilotların görsel tarama stratejilerini analiz ederek performans değerlendirmesi yapılmasını sağlayan, uygun maliyetli bir alternatif olduğunu göstermiştir^{(15),(16),(17)}. Pilot seçim görevlerinin büyük bir kısmının görsel bilgi toplamayı içerdiği göz önüne alındığında, adayların performanslarını değerlendirmek için göz izleme uygulamak mantıklı bir yaklaşımdır. Bununla birlikte, bu tür bir ortamda göz takibi sonuçlarının geçerliliği ve bu sonuçların pilot seçim sürecine nasıl katkı sağlayabileceği gibi bazı sorunlar bulunmaktadır; örneğin, göz takibi çalışmalarını hangi aşamada uygulamalıyız?

Belirtilen üç seçim aşaması göz önüne alındığında, göz takibi araçları ilk seçim aşamasından önce adayları ön tarama için mi kullanılmalı, yoksa düşük performans gösteren adayları daha ileri aşamalardan elemek için psikolojik tarama aşamasını tamamlayıcı bir yöntem olarak mı kullanılmalıdır? Bu önemli soruları yanıtlamak için, bu çalışmanın birincil amacı, çeşitli göz takibi (EM) ölçümleri (simüle edilmiş uçuş operasyonları sırasında elde edilen) ile geleneksel psikolojik test sonuçları ve

öğrenci pilotların uçuş içi değerlendirmesi arasındaki korelasyonu analiz etmektir. Ayrıca, çalışmanın ikincil amacı, adayların görsel tarama stratejilerini analiz ederek, onları farklı performans gruplarına (yüksek, orta ve düşük) ayırmada göz takibi (EM) analizinin kullanılabilirliğini değerlendirmektir. EM analizi ile geleneksel yöntemler arasındaki uyum, dijital avionik kokpitler için pilot seçim sürecinde düşük maliyetli göz izleme araçlarının kullanılmasını daha da doğrulayacak ve önemli ölçüde maliyet tasarrufu sağlayacaktır.

Bu amaçla, mevcut çalışmada, önceki çalışmaların aksine (öncekiler daha çok pilotlara odaklanmış çalışmalar; bkz. Tablo 1), yalnızca başlangıç uçuş eğitiminin bir adım gerisindeki yeni adayların görsel tarama stratejilerinin karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Ayrıca, yeni adayların göz izleme verileri beş farklı uçuş görevi (örneğin, kalkış, tırmanış, dönüş, düz ve seviyeli uçuş, iniş) için üç Görsel Uçuş Kuralları (VFR) sortisi boyunca analiz edilmiştir.

Ayrıca, göz takibi analizinin, simüle edilmiş uçuş senaryolarında gereken süreyi azaltarak eğitim sürecini daha da basitleştirip basitleştiremeyeceğini de araştırdık. Bunu ele almak için, özellikle uçuş simülasyonu görevlerinin en kritik aşamaları olarak kabul edilen 'kalkış' ve 'iniş' sırasında, adayların görsel dikkat dağılımı dinamiklerini değerlendirmeye yardımcı olan derinlemesine ağ tabanlı bir EM analizi önerdik. Adaylar, bu iki kritik aşamada ekranda önemli bölgelere yeterince dikkat göstermediklerinde, diğer uçuş aşamalarındaki performanslarından bağımsız olarak çok düşük genel puanlar almaktadır. Bu metodoloji, eğitim süresini kısaltmamıza ve dolayısıyla maliyetleri daha da azaltmamıza yardımcı olacaktır. Görsel dikkat dağıtma stratejisinin dinamiklerini anlamak için, yönlendirilmiş ve ağırlıklı bir ağ biçiminde EM verilerini görselleştiren ve ağ tabanlı önem metrikleri (örneğin, Indegree, Closeness ve Betweenness; detaylar arka plan bölümünde açıklanmıştır) kullanarak gelişmiş EM ölçütleri geliştiren ağ tabanlı EM analizini kullandık^{(18),(19)}.

Bu makalede, pilot seçim sürecindeki mevcut sorunları ele almak için kontrollü bir ortamda gerçekleştirilen geleneksel psikolojik testleri (kağıt ve kalem tabanlı), simüle edilmiş uçuşlar sırasında toplanan göz izleme metodolojisini ve canlı eğitimi birleştiren yeni bir yöntem öneriyoruz.

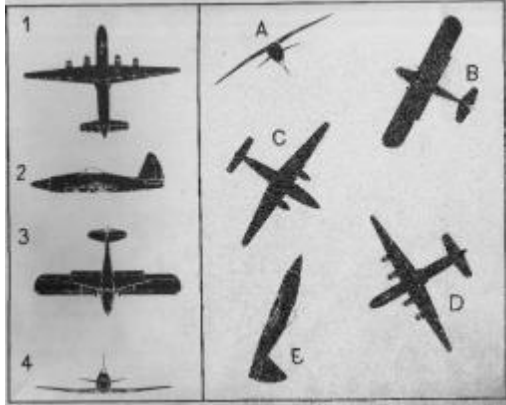
İlk olarak, adayların psikolojik testlerdeki başarılarına ilişkin yararlı bir tahmin aracı olarak göz takibi (EM) analizinin kullanımını araştırdık. İkinci olarak, EM verilerinin uçuş tarama çıktılarıyla olası korelasyonunu analiz ettik. Üçüncü olarak, adayların görsel tarama stratejisinin dinamiklerini çözmek için, görsel tarama yollarının ağ tabanlı temsiliyi uyarladık ve çeşitli gelişmiş EM ölçütlerini değerlendirdik. Bu ölçütler, dinamik görevler (örneğin, uçak uçurma) bağlamında, görsel tarama stratejisine göre ekrandaki çeşitli bölgelerin değişen önemini anlamayı sağlar. Bu analiz ayrıca, EM ölçütlerine ilişkin bar grafikleriyle desteklenmiştir. Bu grafikler, adaylar arasındaki görsel tarama stratejisi farklılıklarının karşılaştırmalı bir analizini ve belirli bir adayın çeşitli uçuş aşamaları boyunca stratejisinin nasıl geliştiğini anlamayı kolaylaştırmıştır.

2. Arka Plan

2.1 Psikolojik seçim

Biz, psikolojik seçim sırasında laboratuvar ortamında dokuz katılımcının görsel davranışlarını incelemek için Aeromedical Enstitüsü arşiv verilerini kullandık (Şekil 4). Psikolojik seçim aşaması T2, T5 ve Wulfften-Palthe (WP) olmak üzere üç testten oluşmaktadır^{(5),(6),(7)}. Bu testler, adayların görsel algılama yeteneklerini ve dikkat kapasitelerini değerlendirmek için kullanılan çoklu yetenek bataryası testlerinin bir parçasıdır. Sırp Hava Kuvvetleri adaylarının seçiminde otuz yılı aşkın süredir kullanılmaktadır. T2 ve T5 testleri bir adayın görsel algısını değerlendirir. T2 testi görsel akıl yürütme hızını değerlendirirken, T5 testi elde edilen durumlarda algısal düşünme hızını ölçer.

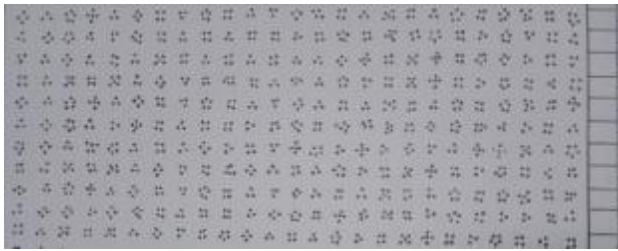
T2 testi, artan karmaşıklıkta 52 görevden oluşur. Katılımcılardan, beşlik bir grup içinde belirtilen dört özdeş uçak figürünü bulmaları istenmiştir. Amaç, özdeş uçakları harf ve numara ile eşleştirmektir (örneğin, 1-D, 2-E, 3-B, 4-A) ve her görev için 12 saniyelik bir zaman sınırı bulunmaktadır. Şekil 1, T2 testi için kullanılan ekran düzenine bir örnek göstermektedir. Öte yandan, T5 testi artan karmaşıklıkta 48 maddeden oluşur ve 4 dakikalık bir zaman sınırı bulunmaktadır. Katılımcılar, bir odak noktası ve artan sayıda çevresel noktaları içeren kesitlerle, topografik haritalarla karşılaşır. Amaç, hızlı ve doğru bir görsel arama ile çevresel noktaların hangilerinin odak noktasına daha yakın olduğunu belirlemektir (örneğin, A-B-D-C). Şekil 2, T5 testi için kullanılan ekran düzenini göstermektedir.



Şekil 1. T2 testi için kullanılan uçak şekilleri örnekleri



Şekil 2. T5 testi için kullanılan, odak noktasına sahip harita örneği



Şekil 3. WP testi örneği (WP testi için kullanılan kağıdın bir kısmı).

WP (Wulfften-Palthe), dikkatin odaklanmasını ve görev sırasında bunun dalgalanmasını ölçen bir testtir. Katılımcılardan 50 satırı incelemeleri ve 3/4/5 nokta gruplarından yalnızca dört nokta formunu hızlı ve doğru bir şekilde bulup üzerini çizmeleri istenmiştir (Şekil 3). Bu test, toplam test süresi, doğru cevap sayısı, atlama ve hata gibi psikometrik parametreleri ölçer. Psychogram, doğru cevaplar, hatalar ve atlamalarla birlikte zaman fonksiyonunda test sonucunu temsil eder.

Bu geleneksel testlerin tamamı sınıf ortamında yapılmaktadır. Psikolojik testlerin gerçekleştirildiği Aeromedical Enstitüsü laboratuvarı ile kokpit ortamı aynı değildir. Ayrıca, kokpit prosedürlerinin iş yükü yoğun fiziksel çabayı da içerir. Canlı eğitim sırasında kişilik özellikleri (özgüven, stres altında karar verme) ön plana çıkar. Tam psikolojik seçim sıralaması, ayrıca Kişilik Envanteri ve Psikomotor testlere de bağlıdır. Bu araştırmada verilen kategoriler, yalnızca daha önce açıklanan Bilişsel test veri düzenine dayalıdır. Bu nedenle, dolaylı olarak sıralama listesi üzerinden her bir adayın verimliliği değerlendirilebilir.

Pervaneli uçaklardaki analog kokpitten dijital kokpit enstrümanlarıyla donatılmış yeni bir uçağa geçiş nedeniyle, bu testlerin mevcut eğitim süreci ve dolayısıyla seçim süreciyle uyumlu olup olmadığı sorusu gündeme gelmektedir. Bu çalışmada, ekrandaki çeşitli bölgelerin değişen önemini anlamayı sağlayan çeşitli gelişmiş EM ölçütlerini değerlendirdik. Bu, adayları ilk tarama aşamasından önce ön eleme için mi kullanılması gerektiği, yoksa düşük performanslı adayları daha ileri taramalardan önce elemek için psikolojik tarama aşamasını tamamlayıcı bir yöntem olarak mı kullanılması gerektiği sorusunu da ele almaktadır.

2.2 Uçuş taraması ile seçim

Seçim sürecine göre (Şekil 4), psikolojik seçimi geçen adaylar, uçuş tarama seçiminin merkezi bir parçası olan temel uçuş eğitimine geçerler. Temel uçuş eğitimi sırasındaki değerlendirme, uçuş eğitmenleri ve uçuş denetleyicileri tarafından yer eğitimi ve uçuş değerlendirmesi sırasında verilen notları (5 ile 10 arasında) içerir. Bu değerlendirme, uçuş için gerekli duyular ve beceriler ile havadaki pilotluk becerilerine ilişkin aday değerlendirmesinden oluşur. Uçuş için gerekli duyular ve beceriler beş gruba ayrılmıştır. Daha hassas bir değerlendirme için ve benzerliklerine göre şu şekilde sınıflandırılmıştır: Çalışma becerileri, Entelektüel beceriler, Algısal duyular, Duyusal duyular ve Sonuç odaklı beceriler⁽²⁾. Pilotaj tekniklerinin değerlendirilmesi, standart izleme, değerlendirme ve ölçme uygulamalarına göre havada yapılır⁽²⁰⁾. Bu, ilgili adayı denetleyen uçuş eğitmeni ve bir VFR uçuşu sırasında denetim yapan bir sınav görevlisi tarafından gerçekleştirilir. Değerlendirme, farklı unsurları içermektedir. Uçuş parametreleri (hız, irtifa, kanat açısı), adayın sınav görevlisiyle uçuştığı son uçuşun her bir aşaması için önceden tanımlanmıştır⁽²⁾. Ayrıca, bu parametrelerin izin verilen sapma aralıkları da tanımlanmış olup, her bir not için istenen değerden belirli bir sapma aralığı belirlenmiştir⁽²⁾

Parametrelerin bu önceden tanımlanmış değerler içinde tutulmasını sağlayan beceriler, sınav görevlisi tarafından deneyime dayanarak değerlendirilmelidir. Bu durum, pilotlar için geleneksel uygulama testlerinin güvenilirliğiyle ilgili potansiyel sakıncalar doğurabilir⁽²¹⁾.

Göz takibi (EM) analizi ile geleneksel yöntemler (psikolojik ve uçuş seçimi) arasındaki uyum, dijital avionik kokpitler için pilot seçim sürecinde düşük maliyetli göz izleme araçlarının kullanımını daha da doğrular ve önemli maliyet tasarrufu sağlar.

2.3 Geleneksel EM Ölçütü ve Pilot Seçim Sürecindeki Uygulaması

Tablo 1, yalnızca uçuş simülasyonu ortamında toplanan, uzman ve acemi pilotların performans öngörücülerini ve tarama davranışlarını göstermektedir. Göz izleme, algı ve biliş hakkında 50 yılı aşkın süredir önemli bir bilgi kaynağıdır⁽²²⁾. Bu, şu gibi çeşitli konuları incelemek için kullanılmıştır: Metin okuma sırasında sabitleme ve sakkad desenleri⁽²³⁾, Farklı uçuş aşamalarında pilotların iş yükü^{(24),(25)}, Uçuş eğitiminde farklı tarama desenlerinin uygulanması^{(26),(16)}, Uçuş performansında pilotların görüntüleme stratejilerinin rolü⁽²⁷⁾, Görsel reklamların etkinliği⁽²⁸⁾ ve diğer pek çok konu. Grup seçimi üzerine yapılan önceki birçok çalışma, acemi ve profesyonel pilotların tarama davranışı özelliklerinin karşılaştırılmasıyla ilgilenmiştir. Tablo 1, bu çalışmalardan bazılarını özetlemektedir.

Lijing, Hongpeng, Dayong ve Xiuly⁽⁹⁾ ile Comstock, Coates ve Kirby⁽²⁹⁾ tarafından yapılan çalışmalar, başlangıç eğitim sürecindeki pilotların göz hareketi özelliklerini incelemiştir. Ayrıca Yu, Wang, Li, Braithwaite ve Greaves'in⁽²⁵⁾ araştırmasında yalnızca "18 tane göreve hazır, nitelikli savaş pilotu" katılımcı olarak yer almıştır.

Bu çalışmada, göz takibi sonuçları, tüm AOI'ler (İlgi Alanları) içindeki toplam sabitleme sayısını içerir^{(30),(31)} ve diğer çalışmalarda olduğu gibi^{(9),(12)}. Bu, geleneksel olarak kabul edilen bir yaklaşımdır. Göz takibi verileriyle ilgili araştırma makaleleri, "bir AOI'den diğerine yapılan sakkadın(saccade) bir geçiş(transition) olarak adlandırıldığı" belirtir⁽⁸⁾. Ayrıca sakkad, "bir sabitlemeden(fixation) diğerine yapılan hızlı bir göz hareketi" olarak tanımlanır⁽⁸⁾. Lijing ve Lin⁽²¹⁾ tarafından açıklanan benimsenen tarama modu, EM geçişinin OC(kokpit dışındaki) AOI'den (göz odak noktası) başlayıp hız göstergesi AOI'ye geçtiğini ve ardından tekrar OC'ye döndüğünü belirtmektedir. Bu sıra herhangi bir AOI'den başlayabilir ve farklı bir AOI ile "tekrar ziyaret" veya geri dönen tarama yolunu oluşturabilir.

Lijing, Hongpeng, Dayong ve Xiuly⁽⁹⁾, deneyimli ve acemi pilotların tarama tekniği ve performansı ile göz hareketi göstergelerinin korelasyonunu, özellikle de sakkad genliği, sakkad açısı ve göz sabitleme süresinin uçuş becerileriyle olan ilişkisini açıklamaktadır. Ancak, bu göz sabitleme göstergelerinin tekrar ziyaret sayısını içerip içermediği belirtilmemiştir. Mandal ve Kang⁽¹⁹⁾, Hava Trafik Kontrolörlerinin Eğitimini Geliştirmek İçin Göz Hareketi Veri Görselleştirmesi Kullanımı üzerine yaptıkları çalışmada, AOI'ler arasında sık EF(Eye Fixation - Göz Sabitlemesi) geçişleri sorunu ele almak için en uygun yaklaşımı araştırmıştır. Burch, Beck, Rasche, Blascheck ve Weiskopf⁽³²⁾ tarafından açıklanan Yönlendirilmiş Ağ Görselleştirme yaklaşımını en uygun yöntem olarak tanımlamışlardır. Burada, bir tepe noktasının (AOI) "indegree"si, ağdaki diğer tüm tepe noktalarından ona gelen toplam ağırlıkların toplamıdır ve bu ağırlıklar, AOI çiftleri arasındaki EF geçişlerinin miktarını temsil eder. Ancak dikkatlice incelendiğinde, AOI çiftleri arasındaki EM (Eye Movement - Göz Hareketi) geçişlerinin yalnızca sabitleme sayısını varsaydığı görülür.

Robinski ve Stein⁽¹²⁾, deneyimli ve deneyimsiz helikopter pilotlarının tarama teknikleri arasındaki farkları inceledikleri çalışmalarında, "deneyimli pilotlar tarafından kullanılan TF(target fixations - hedef sabitlemeleri) ile öğrenci pilotların daha sık kullandığı ve kritik uçuş durumu parametrelerini gözden kaçırmalarına neden olan "İstem Dışı TF" arasında farklar olduğunu" belirtmiştir. Ayrıca, TF teriminin tek bir sabitleme değil, belirli hedef nesnelere veya enstrümanlara bakış süresinin toplamı anlamına geldiğini açıklamışlardır.

Bu terimin tanıtılmasının gerekliliği, göz takibi kayıtlarının analizi sırasında aynı katılımcıların bazı AOI'lerde önemli sayıda sabitleme yaptığını göstermesidir. Bu, özellikle kokpit dışındaki (OC) sabitlemeler için geçerlidir. Ancak, bu sabitlemeler geniş bir alana yayılmıştır ve belirli bir nokta etrafında ya da mantıksal bir desen içinde yoğunlaşmamıştır.

Bu deneyde, tekrar ziyaretlerin ve sabitleme sayılarının ölçümü yapılmış, ancak bakış süresi ölçülmemiştir. Bu iki ölçümün bakış deseni kalitesinin değerlendirilmesinde karşılaştırılması, üç acemi pilot grubu arasındaki karşılaştırma için anlamlı olabilir. Çünkü acemi pilotların TF yerine İstem Dışı TF yapma olasılığı daha yüksektir. Öte yandan, her AOI'deki sabitleme sayılarının yalnızca toplanması, daha önce belirttiğimiz gibi kaliteyi temsil etmez.

Tablo 1

Uçuş eğitiminde göz takip çalışmaları

Nr.	Araştırma	Grup seçimi	Uçuş aşamaları	Metrikler
1	(Diaz et al. 2017)	<i>Uzman pilotlar ve pilot adayları</i>	son yaklaşma	Sabitlenme sayısı, sabitlenme süresi
2	(Lijing et al. 2016)	<i>Acemi ve profesyonel pilotlar</i>	kalkış	Sabitlenme sayısı, sabitlenme süresi
3	(Yu et al. 2016)	<i>Uzman ve acemi pilotlar (savaş pilotları)</i>	arama, takip etme, kilitlenme	Sakkad süresi, göz bebeği boyutları, sabitlenme süresi
4	(Lijing et al. 2015)	<i>Acemi pilot adayları (uçuş tecrübesi olmayan)</i>	Kalkış, tırmanış, uçuş, dönüş, yaklaşma, iniş	Sabitlenme sayısı, sabitlenme süresi, sakkad genişliği, sakkad açısı, sakkad süresi, ortalama sabitlenme süresi
5	(Yu et al.2014)	<i>Nitelikli, göreve hazır savaş pilotları</i>	Hazırlık, nişan alma ve bırakma, kopuş	Sabitlenme süresi, göz bebeği boyutları, iş yükü
6	(Robinski 2013)	<i>Deneyimli ve deneyimsiz helikopter pilotları</i>	Helikopter inişi	Hedef Sabitlenme (TF) sayısı, performans, iş yükü
7	(Kasarskis 2001)	<i>Uzman ve acemi pilotlar</i>	Yaklaşma ve iniş	Sabitlenme sayısı, sabitlenme süresi
8	(Comstock 1995)	<i>Başlangıç eğitim sürecindeki pilotlar (acemi)</i>	Seviyeli uçuş ve dönüş	Bakış süreleri, enstrümanlar üzerindeki bakış sıralarının incelenmesi

Bazı referans çalışmaları, "daha az sayıda EF (Eye Fixations - Göz Sabitlenmesi) veya daha kısa süreler olsa bile, bir hedefin, birden fazla hedef arasındaki EM (Eye Movement - Göz Hareketi) akışında kritik bir rol oynarsa veya iki bağlantısız hedef grubu arasında bir köprü görevi görüyorsa, önemli kabul edilebileceğini" göstermektedir⁽¹⁹⁾. Varsayım, katılımcının bakışı bir AOI'den ayrıldığında, başka bir AOI içinde sabitlenme yaptığında ve ardından önceki AOI'ye döndüğünde sayılan tekrar ziyaretlerin, uygun bir tarama modu izlendiğini ve dolayısıyla kaliteyi gösterdiğidir. Bu, özellikle bizim durumumuzda acemi pilotlar için geçerlidir.

Tablo 1'de belirtilen çalışmaların çoğu, nitelikli pilotların tarama özellikleri ve deneyimli ile deneyimsiz pilotlar arasındaki karşılaştırmalarla ilgilenmiştir. Bunun tek istisnası Lijing, Hongpeng, Dayong ve Xiuly'nin⁽⁹⁾ çalışmasıdır. Dolayısıyla, bu çalışmaların bulguları yalnızca pilot seçim sürecinde dolaylı olarak kullanılabilir. Biz, aday pilotların psikolojik ve uçuş tarama seçimleri sırasındaki başarılarını araştırdık ve bunları simüle edilmiş VFR uçuş ortamında geleneksel ve EM metrikleri ile karşılaştırdık. Ayrıca, ağ tabanlı EM analizinin sonuçları, farklı katılımcı türlerinin tarama özelliklerini bulmak için kullanılmıştır. Yüksek, orta ve düşük performanslı adaylar arasındaki ayrımı başarıyla yapabilmek, göz izleme cihazının seçim sürecine dahil edilmesinin etkilerini ortaya çıkarmaya potansiyel olarak yardımcı olabilir.

2.4 Ağ tabanlı göz takip analizi

Mandal & Kang⁽¹⁹⁾, dinamik görevler için ağ tabanlı EM analizinin uygulanmasını önermiştir. Bu yöntemde, çeşitli AOI'ler (İlgi Alanları) bir ağın tepe noktaları olarak gösterilir ve bunlar arasındaki EM geçişleri, ağın tepe noktaları arasında yönlendirilmiş kenarlarla temsil edilir. Ağ tabanlı görselleştirmenin geliştirilmesi, öncelikle AOI geçiş matrisinin oluşturulmasını gerektirir. Bu matris, çeşitli AOI çiftleri arasında meydana gelen göz sabitlenme geçişlerinin tablosal bir sunumudur. Daha sonra bu geçiş matrisi bilgisi, gözlemcinin görsel tarama stratejisini görselleştiren ağ temsili oluşturmak için kullanılır. Bu süreçte yer alan çeşitli adımların derinlemesine incelenmesi için, Mandal ve Kang⁽¹⁹⁾ tarafından yazılan makaleye başvurulmalıdır. Ayrıca, Mandal & Kang⁽¹⁹⁾, gözlemcinin görsel tarama stratejisine göre bir AOI'nin önemini değerlendirmeye yardımcı olan, ağ bilimi alanından uyarlanmış üç önem ölçüsünün (Indegree, Closeness ve Betweenness) uygulanmasını tanıtmıştır^{(33),(34)}. Indegree, bir AOI'nin aldığı doğrudan dikkatin miktarı olarak tanımlanır. Matematiksel olarak şu şekilde tanımlanır:

$$I_j = \sum_{k=1, k \neq j}^m W_{kj} \quad (i)$$

Burada w_{kj} , k^{th} AOI'den j^{th} AOI'ye gelen EF (Eye Fixation) geçişlerinin sayısını ifade eder ve m , AOI sabitleme dizisindeki benzersiz AOI'lerin toplam sayısını ifade eder. Bizim durumumuzda, AOI sayısı her zaman dört olduğundan m bir sabittir. Closeness ölçüsü, bir AOI'nin gözlemcinin görsel tarama stratejisine göre diğer tüm AOI'lere olan yakınlığı açısından ne kadar önemli olduğunu nicelendirir. Ancak, bu yakınlık ölçüsünün, AOI'lerin ekrandaki fiziksel yakınlığı ile karıştırılmaması gerektiği unutulmamalıdır. Bu, bilişsel düzlemdeki yakınlık olarak yorumlanmalıdır. Matematiksel olarak, bir AOI'nin Closeness değeri, Opsahl, Agnenssens ve Skvoretz⁽³⁴⁾ tarafından şu şekilde tanımlanmıştır:

$$C_j = \sum_{k=1, k \neq j}^m \frac{1}{d_{jk}} \quad (ii)$$

Burada d_{jk} , j^{th} AOI'den k^{th} AOI'ye olan minimum mesafeyi ifade eder (eğer birden fazla yol mevcutsa) ve m , benzersiz AOI'lerin sayısını ifade eder. Betweenness ölçüsü, j^{th} AOI için şu şekilde tanımlanır⁽³⁴⁾:

$$B_j = \sum_{k=1}^m \sum_{l=1, l \neq k}^m \frac{sp_{kl}^j}{sp_{kl}} \quad (iii)$$

Burada sp_{kl} , k^{th} AOI'den l^{th} AOI'ye olan toplam en kısa yol sayısını (eğer birden fazla yol varsa) temsil eder ve sp_{kl}^j , bu en kısa yolların j^{th} AOI'den geçen sayısını ifade eder.

3. önerilen yöntem

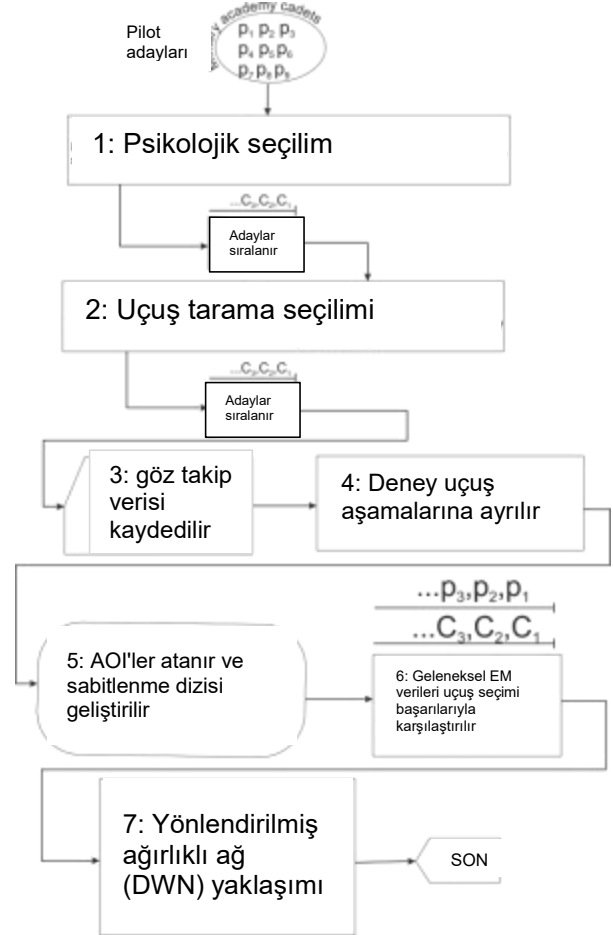
Şekil 4, pilot seçim sürecinin akış şemasını ve bu sürecin göz hareketi (eye-movement) araştırmasıyla bağlantısını göstermektedir. Aynı zamanda, psikolojik ve uçuş tarama aşamalarından elde edilen sonuçların, kaydedilen göz takip (EM) verileri ile analiz edilmesi ve karşılaştırılması için önerilen yöntemin adımlarını da temsil etmektedir.

3.1 Adım 1. psikolojik seçimden sonuçları toplama

Bu adımın girdisi, adayların dikkat ve algılama yeteneklerini değerlendirmek için kullanılan T2 ve T5 akıl yürütme testleri ile Wulfften-Palthe (WP) testlerinden (her ikisi de kağıt ve kalem tabanlı testler) elde edilen sonuçlardır^{(5),(6),(7)}.

Süreç tamamlandığında, psikolojik seçimden sorumlu olan Aeromedical Enstitüsü, adayları üç gruba ayırır: yüksek performans, orta performans ve düşük performans. Tam psikolojik seçim sıralaması, ayrıca Kişilik Envanteri ve Psikomotor testlere de bağlıdır. Bu çalışmada verilen sınıflandırma yalnızca daha önce açıklanan Bilişsel test veri düzenine dayalıdır ve keyfi bir sınıflandırma yöntemidir.

T Pilot adayları psikolojik seçimde aldıkları sonuçlara esasen toplam puan T (bitirme puanı/ üç testteki başarı) olacak şekilde sıralanır.



Şekil 4. pilot seçim sürecinin akış şeması ve bu sürecin göz takip araştırmasıyla bağlantısı

3.2 Adım 2. uçuş tarama seçiminden sonuçları toplama

Uçuş tarama seçimi sürecindeki sıralama, üç notun ortalama performansı sonucunda belirlenir. Bu notlar, sınav görevlisiyle yapılan son uçuşta alınan not ile katılımcının (o dönemde pilot adayı) sorumlu uçuş eğitmeni tarafından verilen iki nottan oluşur. Bu notlar, adayların gelişimlerinin sürekli takibi sonucu elde edilir. Ortalama notu 7.00'nin altında olan tüm adaylar düşük performans grubuna, 7.00 ile 7.50 arasında olanlar orta performans grubuna ve 7.50'nin üzerinde olanlar yüksek performans grubuna atılır⁽²⁾. Mevcut çalışmada, temel uçuş eğitimi sırasında değerlendirilen tüm kategorilerin toplam sonuçları dikkate alınmıştır.

3.3 Adım 3. Katılımcının göz takip verisini toplama

Bu araştırmada, göz takibi sonuçları tüm AOI'lerde (İlgi Alanları) gerçekleşen toplam sabitlenme sayısını içermektedir; bu, çalışmalar^{(30),(31)} ve ayrıca çalışmalar^{(9),(12)} ile uyumludur. Bu, geleneksel olarak kabul edilen bir yaklaşımdır. Ayrıca, katılımcıların istenilen tarama moduyla bağlantısını göstermek için tekrar ziyaretlerin (revisit) ölçümünü tanıtmaya karar verdik. Bu, AOI çiftleri arasındaki ardışık EM geçişlerinden oluşur. Bir AOI'den herhangi bir diğer AOI'ye yapılan EM geçişi ve ardından önceki AOI'ye geri dönen EM geçişi bir "Tekrar Ziyaret" olarak kabul edilir.

3.4 Adım 4. Deneyi uçuş aşamalarına ayırma

Zaman aralıkları, görev özelliklerine dayalı olay tabanlı zaman aralıklarına göre seçilmiştir. Bu çalışma, VFR uçuş senaryosunda farklı uçuş görevleri (uçuş aşamaları) boyunca katılımcı gruplarının dikkat özelliklerini araştırmıştır. Her katılımcı üç 15 dakikalık sortie gerçekleştirmiştir ve bu uçuşlar içindeki zaman noktaları arasındaki analiz, araştırmacının değerlendirmesine göre seçilmiştir.

3.5 Adım 5. AOI'leri atama ve sabitlenme dizisi geliştirme

Göz hareketi verilerini dört İlgi Alanı'nda (AOI) topladık. İlgi Alanları şunlardı: Hız Bandı (AST), İrtifa ve Dikey Hız Bantları (AVST), Motor Enstrümanları (EI) ve Kokpit Dışı (OC). Bu AOI'lerin, temel VFR uçuşlarını gerçekleştirirken pilotun durumsal farkındalığı (SA) için en kritik bilgileri sağladığı varsayılmıştır. Katılımcıların göz sabitlenmelerini (EF) kaydettikten ve uçuşları kaydettikten sonra dinamik İlgi Alanları oluşturduk. Araştırmacının değerlendirmesine göre, adım 4'te tanımlanan zaman noktalarına dayalı olarak, dinamik olarak iç içe geçmiş dikdörtgen İlgi Alanları (AOI) çerçeveleri ve bunlar arasındaki analiz seçildi. Sadece AOI dikdörtgen alanları içinde kalan göz sabitlenmeleri (EF), AOI sabitlenme dizisi geliştirilmesi için dikkate alınmıştır.

3.6 Step 6. Geleneksel EM verilerini uçuş seçilimi başarılarıyla karşılaştırma

Bu adımın birincil amacı, göz takibi cihazı kullanılarak elde edilen sonuçları, onlarca yıldır adayların psikolojik seçiminde kullanılan ve pratikte doğruluğu kanıtlanmış psikolojik testlerin sonuçlarıyla karşılaştırmaktır. Başarılı bir karşılaştırma, bir sonraki aşama olan uçuş taramasına yönelik bir öngörü aracı olarak hizmet edecektir. İlk olarak, göz izleme cihazının adayların psikolojik testlerdeki başarılarına ilişkin yararlı bir tahmin aracı olarak kullanımı ve bu sonuçların uçuş tarama sonuçlarıyla olası korelasyonunu araştırdık (Şekil 4).

Sonuç analizi, göz izleme cihazı ile toplanan EM (Eye Movement - Göz Hareketi) metriklerinin pilot seçim süreciyle olan korelasyonunu ortaya koyacaktır. Bu görevin gerçekleştirilme yöntemi, toplanan verilerin istatistiksel analizidir.

3.7 Adım 7. Yönlendirilmiş Ağırlıklı Ağ yaklaşımını uygulama

Katılımcıların görsel tarama yollarının daha derinlemesine bir analizi, Yönlendirilmiş Ağırlıklı Ağlar (DWN) temsili uygulayan ağ görselleştirme adımlarıyla gerçekleştirilmiştir. Simülasyon içindeki görevler (uçuş aşamaları), olay tabanlı olarak seçilen zaman aralıklarından oluşmuş ve bu zaman aralıklarından AOI (İlgi Alanları) dizileri geliştirilmiştir. Mandal, Kang ve Millan'ın⁽¹⁸⁾ DWN çalışması ve Mandal & Kang⁽¹⁹⁾ tarafından tanıtılan değiştirilmiş Dinamik Ağ (DNet) yaklaşımının bu çalışma için uygun olduğu bulunmuştur. Ağ görselleştirme sürecinde uygulanan adımlar, 3 ila 5. adımlardan elde edilen veri girdilerini kullanır.

3.7.1 Seçilen zaman aralıkları için AOI geçiş matrislerini geliştirme

Adım 5'te oluşturulan sabitlenme dizisini, her AOI dizisi için aynı boyutta bir AOI geçiş matrisine dönüştürdük çünkü bizim durumumuzda AOI sayısı önceden belirlenmiş ve her zaman aynıdır.

3.7.2 DWN görselleştirmelerini oluşturma

AOI geçiş matrislerini grafiklere dönüştürmek için R yazılımında igrph paketini kullandık⁽³⁵⁾. Ağın temsili, Mandal ve arkadaşlarının (2016) önerdiği tasarım ilkeleri bazı değişiklikler yapılarak gerçekleştirildi. Önerilen ilkelerle fark, düğümün rengindedir. R yazılımındaki RColorBrewer paketinin RGB paletine göre, kırmızı renk düşük EF süresini, turuncu renk daha yüksek EF süresini ve sarı renk en yüksek EF süresini ifade eder.

3.7.3. Hedefin (veya AOI'nin) önem ölçütlerini hesaplama ve görselleştirme

Önceki EM metrikleri yerine yeni ağ ile ilgili metrikler hesaplanmıştır. Newman⁽³³⁾ ve Opsahl, Agneessens ve Skvoretz⁽³⁴⁾ tarafından önerilen üç düğümle ilgili merkezilik ölçüsü; indegree, closeness ve betweenness olarak belirlenmiştir.

Ağ görselleştirme sürecinin son adımı, tüm hedef önem ölçütleri için normalizasyon sürecini temsil eder. Mesafe normalizasyon süreci, belirli bir AOI'nin önem ölçümünün, o ölçüm için zaman aralığında gözlemlenen maksimum değerden ne kadar uzakta olduğunu hesaplamayı içerir.

Dört AOI'nin beş uçuş aşaması boyunca her üç katılımcı için normalleştirilmiş göreceli önem ölçütlerinin bar grafiği temsili, tek bir önem ölçütünün karşılaştırılmasına yardımcı olur.

Bu makalede kullanılan mesafe normalizasyonu, belirli bir AOI'nin önem ölçümünün, belirli bir zaman aralığında (uçuş aşaması) o ölçüm için gözlemlenen maksimum değerden ne kadar uzakta olduğunu hesaplamayı ifade eder. Zaman aralığı t için j^{th} AOI'nin mesafe normalleştirilmiş ölçüsü şu şekilde hesaplanır:

$$\varphi_j(t) = \frac{\varphi_j(t) - \min_j \varphi_j(t)}{\max_j \varphi_j(t) - \min_j \varphi_j(t)} \quad (iv)$$

Burada, $\max_j \varphi_j(t)$, $\min_j \varphi_j(t)$ and φ_j : maksimum, minimum ve mesafe normalleştirilmiş değer $\varphi_j(t)$ ($0 \leq \varphi_j(t) \leq 1$).

4. Deney

4.1 Senaryo

Göz takibi verilerini dört İlgi Alanı'nda (AOI) topladık. İlgi Alanları şunlardı: Hız Bandı (AST), İrtifa ve Dikey Hız Bantları (AVST), Motor Enstrümanları (EI) ve Kokpit Dışı (OC). Bu AOI'ler, temel VFR uçuşlarını gerçekleştirirken pilotun durumsal farkındalığı (SA) için en kritik bilgileri sağlayan kaynaklar olarak varsayılmıştır. Bu veriler ve çapraz kontrol desenleri, adaylar ve kursiyerler tarafından kullanılan resmi kılavuzlarda önerilmiş veya tanımlanmıştır^{(36),(37)}. Çevrimsel veya yarı çevrimsel alanlarda hareket eden göstergeler, eğilim bilgisi içeren veya içermeyen hareketli bantlar (doğrusal hareket ölçeği), değişen rakamlar veya değişen renk ve birincil uçuş ekranı (PFD-primary flight display) sembolleri olsun, uçuş güvertesi, geleneksel T düzeninde veya modern cam kokpit düzeninde bir enstrüman paneli ile gözlemci için dinamik uyarıların kaynağını temsil eder⁽¹⁷⁾. Cam kokpit bileşenleri, örneğin Hız Bandı (AST), İrtifa ve Dikey Hız Bantları (AVST), Motor Enstrümanları (EI), dinamik uyarılar sunan alanlardır. Kokpit Dışı (OC) alanı, uçuş sırasında kokpit çerçevesinin ufkaya yansıtılması ile ufuk düzeni arasındaki değişimlerin meydana geldiği ekranın bir kısmıdır. Bu alan, özellikle acemi pilotların eğitimi için önemlidir çünkü eğitmenler onlara dikkat tarama modunda şu sırayı öğretir: "OC, hız göstergesi, OC, yatış göstergesi, OC, altimetre"⁽²¹⁾. Katılımcıların göz sabitlenmelerini (EF) ve uçuşları kaydettikten sonra dinamik İlgi Alanları oluşturduk. Zaman aralıkları, görev özelliklerine dayalı olay tabanlı zaman aralıklarına göre seçildi. Bu çalışma, VFR uçuş senaryosunda farklı uçuş görevleri (uçuş aşamaları) boyunca katılımcı gruplarının dikkat özelliklerini araştırmıştır. Dinamik olarak iç içe geçmiş AOI (İlgi Alanı) çerçeveleri ve zaman noktaları arasındaki analiz, araştırmacının değerlendirmesine dayalı olarak seçilmiştir.

Pilotların dikkat tahsisleriyle ilgili Anders⁽³⁸⁾ ve görsel tarama desenleriyle ilgili Rudi, Kiefer ve Raubal⁽¹⁷⁾ tarafından yapılan göz hareketi araştırmalarında, Birincil Uçuş Ekranı (PFD) ve Navigasyon Ekranı (ND) en fazla görsel dikkat alan alanlar olarak belirlenmiştir. Bu deneyde kullanılan göz izleme aracı, Garmin G500 PFD'nin sol ve sağ kenarlarında yer alan hız göstergesi (AST) ve irtifa ile dikey hız bantlarını (AVST) temsil etmiştir. Anders (38) tarafından yapılan önceki araştırmalar, yapay ufuktan (AH) sonra PFD içindeki en fazla görsel dikkat alan alanların %10.5 ile yapay ufuk, %7.8 ile hız göstergesi, %7.6 ile irtifa göstergesi ve %3.3 ile dikey hız göstergesi olduğunu ortaya koymuştur. Bunların yanı sıra, (örneğin, Yatış Ölçeği, Kayma/Kaydırma Göstergesi) gibi birçok başka bilgi alanı da bulunmaktadır ve kayıtlar katılımcıların bu alanlara sabitlenmeye çalıştıklarını göstermiştir. Tüm bilgilerin farklı enstrümanlar arasında "dağıldığı" geleneksel bir uçuş paneline (T-düzeni) sahip bir uçak, temel uçuş eğitimi (ab-initio) için kullanılmıştır. Bu bağlamda, yalnızca AST ve AVST dikkate alınmıştır çünkü bu iki gösterge, VFR uçuşları için kokpit içindeki en kritik bilgileri sağlamaktadır.

Ab-initio eğitim sırasında, katılımcılar daha önce belirtilen tarama modu ile eğitilmiştir^{(36),(21),(37)}. Bu rasyonel dikkate alındığında, yatış açısındaki değişiklikler ilk olarak Kokpit Dışı (OC) alanında, kokpit çerçevesinin ufuk üzerine projeksiyonundaki farklar olarak, daha sonra ise Yapay Ufuk (AH) üzerinden kaydedilmektedir. Bu nedenle, katılımcılar yatış açısını düzeltmek için OC'yi kullanmakta ve buna bağlı olarak AH'yi (yapay ufuk) görmezden gelmektedir. Her katılımcı üç 15 dakikalık sortie gerçekleştirmiştir. Üç sortie boyunca her bir uçuş görevi için sabitlenme ve tekrar ziyaret sayıları, katılımcının ortalama performansı olarak değerlendirilmiştir.

4.2 Görevler

Adaylardan VFR koşullarında uçağı uçururken beş farklı görevi yerine getirmeleri istenmiştir: 1) Kalkış, 2) Tırmanma, 3) Düz ve eğimli uçuş, 4) Dönüş, and 5) Son yaklaşma ve iniş

4.3 Katılımcılar

Toplamda dokuz kursiyer bu uzun süreli araştırmaya katılmıştır. Hepsisi temel uçuş eğitimi (ab-initio) tamamlamış olup, yalnızca tarama uçuşlarına dayalı sınırlı havacılık bilgisi ve uçuş deneyimine sahiptir. Her kursiyerin toplam uçuş saati, yardımcı kategoriye ait hafif piston motorlu bir uçakta 10 saattir⁽¹⁰⁾.

Temel uçuş eğitimi sırasında, katılımcılara/kursiyerlere farklı VFR uçuş aşamalarında doğru dikkat dağılımı deseni (tarama modu) üzerine dersler verildi. Katılımcıların tamamı erkek olup yaşları 20 ile 24 arasında değişmekteydi (M=22 yıl, SD=1.18 yıl).

4.4 Cihaz

4.4.1. Donanım

4.4.1.1 Flight simulator

Microsoft Flight Simulator X (FSX) yazılımını kullanarak, hem donanım hem de yazılım dahil olmak üzere COTS (Commercial-Off-The-Shelf - Raf Üstü Ticari) bileşenleriyle bir uçuş simülatörü oluşturduk. Bu yazılım paketi, araştırma çalışması sırasında ticari olarak mevcut olan bir donanım yapılandırmasına yüklendi⁽³⁹⁾. Özel bir eklenti, dijital kokpite sahip Lasta askeri eğitim uçağının özelliklerini taşımaktadır. Şekil 5, simülör kurulumunun bir görüntüsünü göstermektedir.



Şekil 5. göz takip cihazı içeren simülasyon düzeneği

4.4.1.2 Eye Tracking Tools

Pilotların göz hareketlerini kaydetmek için GP3

Masaüstü göz takip cihazı kullandık (yenileme hızı 60Hz, görsel açı hassasiyeti 0.5° – 1°)

4.4.2. Yazılım

GP3 Masaüstü Göz İzleme yazılımı, “.csv” Excel tablolarında iki tür EM (Eye Movement - Göz Hareketi) verisi dışa aktarır. Sabitlenmelerle ilgili EM verileri, yatay ve dikey koordinatları (“bakış pozisyonu x” ve “bakış pozisyonu y”), bakış süresini (kayıt başlangıcından itibaren), bakış süresini ve bakış kimliğini içerir. İkinci dosya ise, AOI adları ve ilişkilendirilmiş sabitlenme ve tekrar ziyaret sayıları ile birlikte bir Veri Özeti raporudur. Ayrıca, her biri beş AOI dizisine (uçuş aşamalarına) ait AOI dizisinin başlangıç zamanları da bulunmaktadır.

Microsoft Flight Simulator X, FSX olarak da bilinir, 2006 yılında Microsoft Windows için Microsoft tarafından geliştirilen ve yayımlanan bir uçuş simülasyonu bilgisayar oyunudur. Flight Simulator X üç farklı sürümde yayımlanmıştır: Standard, Deluxe ve daha sonra Gold Edition. Deluxe Sürümü, Standard Sürümdeki 18 uçağa kıyasla 24 uçak içermektedir. Araştırma ekibi Vlačić, Knežević ve Milutinović⁽³⁹⁾ tarafından FSX paketinde bulunmayan özel bir piston motorlu askeri eğitim uçağını simüle etmek için uzun vadeli bir süreç gerçekleştirilmiş ve uygun bir Lasta eğitim uçağı eklentisi oluşturulmuştur. Bu eklenti, söz konusu uçağın hem aerodinamik modelini hem de yeni enstrüman panelini kopyalamaktadır. AOI geçiş matrislerini grafiğe dönüştürmek ve ağ tabanlı gelişmiş EM ölçütlerini hesaplamak için Csardi ve Nepusz⁽³⁵⁾ tarafından geliştirilen igragh paketini R yazılımında kullandık.

4.5 Veri Analizi

4.5.1 Geleneksel EM metrikleri ile veri analizi

Birincil amaç, sabitlenme sayısı ve tekrar ziyaret sayısı şeklinde sunulan göz izleme cihazı ile elde edilen sonuçları, onlarca yıldır adayların psikolojik seçiminde kullanılan ve pratikte doğruluğu kanıtlanmış psikolojik testlerin sonuçlarıyla karşılaştırmaktır. Başarılı bir karşılaştırma, bir sonraki aşama olan uçuş taraması için potansiyel bir öngörü aracı olarak hizmet edebilir. İlk olarak, göz izleme cihazının adayların psikolojik testlerdeki başarılarına ilişkin yararlı bir tahmin aracı olarak kullanımı araştırıldı. Daha sonra, uçuş tarama sonuçlarıyla olası korelasyon incelenecektir. Bu işlemler, araştırma çalışmasının Adım 6'sındaki Akış Şemasında sunulmuştur (Şekil 4).

Çeşitli denemeler veya testler yoluyla elde edilen birkaç sonuç grubu veya pilot adaylarının başarıları vardır ve bunlar araştırma veritabanını oluşturur. Bunlar şunlardır:

- Psikolojik testler (Şekil 8 ve Tablo 4 - Bu, adayların psikolojik test puanlarına göre gruplandırıldığı adım olarak 'psikolojik seçim akışı' olarak adlandırılmıştır).
- Göz takip testleri (Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12, Tablo 3 ve Tablo 4).
- Uçuş tarama sonuçları (Şekil 9 ve Tablo 5 - Bu, adayların uçuş tarama puanlarına göre gruplandırıldığı adım olarak 'uçuş tarama seçim akışı' olarak adlandırılmıştır).

Bu veritabanının normalizasyonu için yalnızca bir ortak özellik vardır. Bu özellik, adayın denemelerdeki başarıları veya sıralamasıdır ve bu, sorgulanabilir ve manipüle edilebilir hale getirir.

Birinci aşamada, seçim sürecinin erken aşamalarındaki sonuçlarına göre test katılımcılarına isim verilmiştir (P1, P2). Anahtar, {Psikolojik seçim sıralaması - katılımcı ID} olarak belirlenmiştir. Psikolojik seçimde en fazla puanı alan katılımcı P1 olarak adlandırılmıştır (Tablo 3). Buna bağlı olarak diğer tüm katılımcılar da isimlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında seçim süreci zaten tamamlanmıştır (Şekil 4). Araştırmaya, temel uçuş eğitimi (ab-initio uçuş taraması) tamamlamış, yalnızca tarama uçuşlarına dayalı sınırlı havacılık bilgisi ve uçuş deneyimine sahip olan askeri akademi pilot adayları katılmıştır. Her katılımcının toplam uçuş saati, hafif piston motorlu bir uçakta 10 saattir. Psikolojik testlerin ve uçuş tarama sonuçlarının zaten mevcut olması, bu araştırmayı bir tür post-hoc (bir şeyden sonra) seçim veya analiz haline getirmiştir.

Önerilen metodolojinin 6. adımında yapılan araştırma, veri analizi açısından iki ayrı akışa ayrılmıştır. Birinci akış, daha çok psikolojik odaklı olarak, katılımcıların psikolojik seçimdeki önceki sonuçlarını göz takip cihazı sonuçlarıyla karşılaştırır. Bu aşama, uçuş taramasından önce gelir ve bu nedenle önce tartışılacaktır. İkinci akış, katılımcıların uçuş tarama başarısını, simüle edilmiş uçuş senaryosunda kaydedilen göz takip metrikleriyle karşılaştırır.

Her iki aşamayı da geçen ve bir sonraki adıma geçen adaylar askeri akademi pilot adayları olmuştur. Karşılaştırmalar için yalnızca bu adayların başarıları kullanılmıştır.

4.5.2 Ağ tabanlı veri analizi

GP3 Masaüstü göz takip cihazı, ".csv" Excel veri tablolarında iki tür EM (Göz Hareketi) verisi dışa aktarır. Sabitlenmelerle ilgili EM verileri, yatay ve dikey koordinatlar ("bakış pozisyonu x" ve "bakış pozisyonu y"), bakış süresi (kaydın başlangıcından itibaren), bakış süresi ve bakış kimliği (ID) içerir. İkinci dosya, AOI adları ve bunlara bağlı sabitlenme ve tekrar ziyaret sayılarıyla birlikte bir Veri Özeti raporudur. Ayrıca, her bir uçuş aşamasına (beş AOI dizisi) ait AOI dizisinin başlangıç zamanları da mevcuttur. Tanımlanmış AOI koordinatları içindeki bakışları çıkarmak için, Veri Özeti raporundaki AOI dizisinin başlangıç zamanını (uçuş aşaması) kullandık. Bilinen süreye sahip olay tabanlı aralıkları seçtiğimizden, bu aralık içinde bakış kimliklerinden (Excel tablosundaki satırlar) bir dizi seçtik. Her AOI dizisini, Excel'deki veri filtreleme araçlarını kullanarak analiz ettik. Belirtilen satırlardaki AOI koordinatlarıyla veri sütunlarını filtreleyerek sabitlenme dizisini elde ettik. Son sabitlenme dizisi, ham sabitlenme dizisinin özetlenmiş bir formudur ve Mandal & Kang⁽¹⁹⁾ tarafından tanımlanan yaklaşımla aynıdır. Yani, aynı AOI'ye ait ardışık birden fazla sabitlenme, tek bir sabitlenme haline getirilmiştir.

Üretilen sabitlenme dizisini, her AOI dizisi için aynı boyutta bir AOI geçiş matrisine dönüştürdük (Katılımcı P9 için örnek Tablo 2'de verilmiştir), çünkü bizim durumumuzda AOI sayısı önceden belirlenmiş ve her zaman aynıdır.

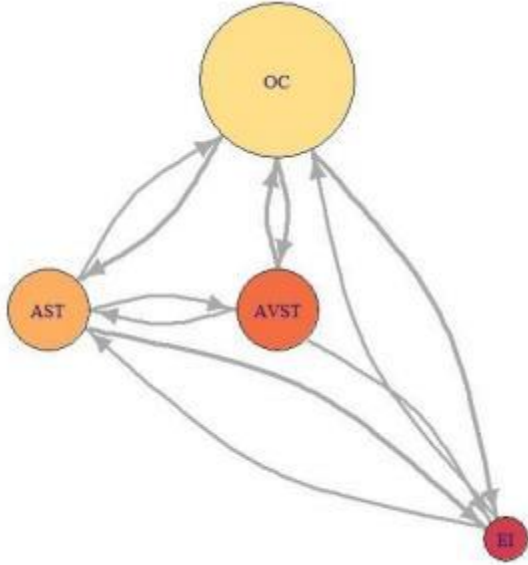
Tablo 2

Katılımcı P9 için düz ve seviyeli uçuş aşamasına ait zaman aralığı için AOI sabitlenme dizisinden geliştirilen AOI geçiş matrisi

İlk AOI	Son AOI			
	AST	AVST	EI	OC
AST	0	1	2	6
AVST	1	0	1	8
EI	1	0	0	3
OC	7	8	2	0

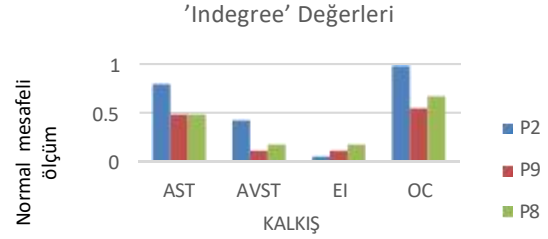
Ağın temsili, Mandal, Kang ve Millan, 2016⁽¹⁸⁾ tarafından önerilen tasarım ilkeleri bazı değişikliklerle uygulanarak yapılmıştır. AOI geçiş matrislerini grafiğe dönüştürmek için R yazılımında igraph paketi kullanılmıştır⁽³⁵⁾. Önerilen ilkelerden farklı olarak düğüm renginde değişiklik yapılmıştır. R yazılımındaki RColorBrewer paketinin RGB paletine göre kırmızı renk düşük EF süresini, turuncu renk daha yüksek EF süresini ve sarı renk en yüksek EF süresini ifade eder ve ilgili AOI üzerinde meydana gelir.

Ağın düğüm yarıçapı boyutu, ilgili AOI tarafından alınan EF sayısı ile orantılıdır. Ayrıca, bir düğüm çifti arasındaki kenar kalınlığı, kenarın yönündeki düğümler arasında meydana gelen EF geçişlerinin sayısı ile orantılıdır ve bu durum Mandal, Kang ve Millan⁽¹⁸⁾ ile aynıdır. Bu nedenle, Tablo 2’de verilen örnek için Şekil 6’da gösterildiği gibi statik ağ sunumu elde edilmiştir.



Şekil 6. Tablo 2’den AOI geçiş matrisinin statik ağ görselleştirme örneği

Bu çalışma için üç karakteristik katılımcı seçilmiştir. Her bir katılımcı, daha önce tanımlanan gruplardan birine aittir. Her üç katılımcı için, beş uçuş aşamasının her biri için statik ağ geliştirilmiştir. AOI önem ölçütlerinin hesaplanması, R yazılımındaki igraph paketi kullanılarak denklemler (i), (ii), (iii) ile yapılmış ve daha iyi bir karşılaştırma için normalleştirilmiştir. Tanımlanmış AOI ve katılımcılar P2, P9 ve P8 için indegree’nin mesafe normalleştirilmiş ölçütüne ait çubuk grafiği (Şekil 7) sunulmuştur.

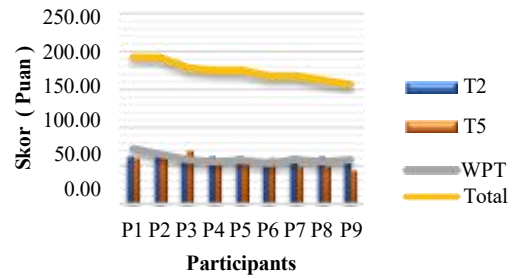


Şekil 7. Çubuk grafik, üç katılımcı arasında tanımlanmış AOI’ler için göreceli indegree değerlerini göstermektedir ve bu katılımcılar gruplarını temsil etmektedir. Önceki çubuk grafiklerde uygulanan renk şeması şu şekildedir: Mavi - Yüksek performanslı katılımcılar, Kırmızı - Ortalama performanslı katılımcılar ve Yeşil - Düşük performanslı katılımcılar.

5. Sonuçlar

5.1 Psikolojik seçim akışı analizi

Şekil 8, T2 ve T5 testlerinin (görsel algıyı ölçen) ve WP (Wulfften-Palthe) testinin (odaklanmış dikkatin dağılımını ölçen) sonuçlarını göstermektedir. Pilot adayları, psikolojik seçim sırasında elde ettikleri toplam T puanı (üç testin toplam başarıları) açısından sıralanmıştır. Şekil 8’deki sarı trend çizgisi T puanı değerini göstermektedir. Bireysel katılımcıların genel sıralaması Tablo 3’te verilmiştir.



Şekil 1. Psikolojik seçim akışı analizinin sonuçları.

Süreç tamamlandıktan sonra, psikolojik seçimden sorumlu olan Aeromedical Enstitüsü, adayları üç gruba ayırır: yüksek performans, orta performans ve düşük performans. Tam psikolojik seçim sıralaması, ayrıca Kişilik Envanteri ve Psikomotor testlere de bağlıdır. Bu araştırmada verilen sınıflandırma, yalnızca daha önce açıklanan Bilişsel test veri düzenine dayanmaktadır ve keyfi bir sınıflandırma yöntemi değildir.

Bu çalışmada, Tablo 3'teki toplam puan örneğinden 67. ve 33. yüzdeler değeri hesaplayarak, katılımcıları toplam puanlarına göre üç kategoriye ayırdık, çünkü örnek dağılımı normal değildi.

Tablo 3

Psikolojik seçim testi için tüm pilot adaylarının sıralaması.

Katılımcı	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Toplam skor	192.5	192	179	175	175	168	168	162	157
Psikolojik seçim sıralaması	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Bölünme aşağıdaki denklemler (v) ve (vi) kullanılarak yapılmıştır:

$$67^{th} \text{ Yüzdelik} = \min + 0.67 * (\max - \min) \dots (v)$$

$$33^{rd} \text{ Yüzdelik} = \min + 0.33 * (\max - \min) \dots (vi)$$

Burada max ve min, sırasıyla T puanının maksimum ve minimum değerlerini temsil eder. Denklem (4) ve (5)'te ilgili değerleri yerine koyarak şu sonuçlar elde edilir:

$$67^{th} \text{ Yüzdelik} = 157 + 0.67 * (192.5 - 157) = 180.758,$$
$$33^{rd} \text{ Yüzdelik} = 2 + 0.33 * (192.5 - 157) = 168.715.$$

Tablo 4, yukarıda belirtilen eşik değerleri kullanılarak adayların üç performans grubuna ayrıldığını göstermektedir. Düşük performanslı adayların, psikolojik seçimi geçen kişiler olduğunu unutmayın; diğer başarısız adaylar dikkate alınmamıştır. Bu, adayların psikolojik test puanlarına göre gruplandırıldığı adım olarak 'psikolojik seçim akışı' olarak adlandırılmıştır.

Table 4

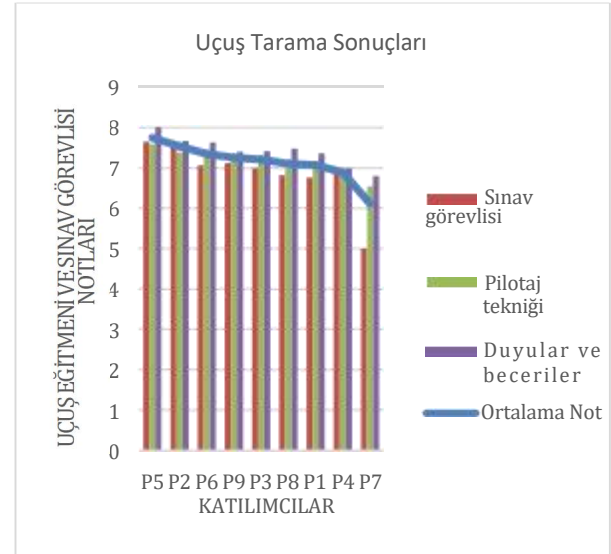
Psikolojik seçim testi için adayların üç performans grubuna ayrılması.

Sıralama	Katılımcı	Grup
1	P1	Yüksek
2	P2	Performans
3	P3	
4	P4	Orta
5	P5	Performans
6	P6	
7	P7	Düşük
8	P8	performans
9	P9	

Adaylar farklı performans gruplarına ayrıldıktan sonra, farklı gruplara ait katılımcıların farklı görsel tarama stratejileri sergileyip sergilemediğini bulmak için görsel tarama desenlerini daha ayrıntılı olarak analiz ettik.

5.2 Uçuş seçilimi akış analizi

Şekil 9, 'uçuş tarama aşaması' için çeşitli katılımcıların puanlarını göstermektedir. Mavi çizgi, tüm tarama notlarının ortalamasını göstermektedir. Tablo 5, pilot seçim sürecinin bu aşamasındaki puanlarına göre katılımcıların sıralamasını göstermektedir.



Şekil 9. Uçuş tarama seçilimi sonuçları

The Uçuş tarama seçim sürecindeki sıralama, üç notun ortalama performansı sonucunda belirlenmiştir. Bu notlar şunlardır: Sınav görevlisiyle yapılan son uçuşta alınan not, Katılımcının (o dönemde pilot adayı) sorumlu uçuş eğitmeni tarafından verilen iki not. Bu notlar, adayların gelişimlerinin sürekli takibi sonucunda elde edilmiştir. Ortalama notu 7.00'nin altında olan adaylar düşük performans grubuna, 7.00 ile 7.50 arasında olanlar orta performans grubuna ve 7.50'nin üzerinde olanlar yüksek performans grubuna aittir⁽²⁾. Tablo 5 ayrıca her katılımcının ait olduğu grubu da listelemektedir.

Bu adımı, adayları uçuş tarama puanlarına göre gruplandırarak ‘uçuş seçilimi akışı analizi’ olarak adlandırdık.

Tablo 4 ve Tablo 5 karşılaştırıldığında, yalnızca Katılımcılar P2, P3 ve P7'nin orijinal gruplarını koruduğu oldukça açıktır. Katılımcı P2, orijinal sıralamasını bile korumuştur. Bu durum, psikolojik testlerin uçuş performansı için kesinlikle bir sıralama öngörücüsü olmadığını gösterebilir. Katılımcı P2'nin sıralamasının sadece bir tesadüf olduğu sonucuna varılabilir. Bu tür bir durum beklenmekteydi, çünkü kokpit ergonomisi, gürültü, hava trafik kontrolü (ATC) ile iletişim gibi çevresel faktörler uçuş taraması sırasında katılımcıların çoğunu etkilemiştir. Sonuç olarak, sıralamaları (Tablo 4 ve Tablo 5'te temsil edilen) aynı değildir.

Tablo 5
Uçuş Tarama Sonuçları

Uçuş tarama sıralaması	Katılımcı	Uçuş seçilimi notları (toplam)	Grup
1	P5	7.75	Yüksek
2	P2	7.74	Performans
3	P6	7.35	
4	P9	7.26	Orta
5	P3	7.21	Performans
6	P8	7.10	
7	P1	7.07	
8	P4	6.89	Düşük
9	P7	6.11	Performans

5.3 Geleneksel EM Metrik Sonuç Analizi

Geleneksel EM metriklerinin kaydı, bazı katılımcıların daha önce benimsedikleri temel uçuş becerilerini sergilediğini göstermiştir. Lijing ve Lin⁽²¹⁾ tarafından açıklanan benimsenen tarama modu, EM geçişinin, örneğin OC AOI'den başlayıp hız göstergesi AOI'ye geçtiğini ve ardından OC'ye döndüğünü varsayar (Şekil 10).

Şekil 10, istenen tarama modunun bir illüstrasyonunu göstermektedir. Şekil 10'da (yeşil renkli daireler) kalkış sırasında istenen tarama modunu takip eden ve daha kısa süreli sabitlenmelerle (daha küçük yarıçapla temsil edilen) dönüş yapan bir katılımcıyla, Şekil 11'de (kırmızı renkli daireler) yalnızca kokpit dışına ardışık bakışlar yapan ve daha uzun süreli sabitlenmeler (daha büyük yarıçapla temsil edilen) yapan bir katılımcının arasındaki fark, tekrar ziyaretlerin önemini vurgulamaktadır.

Katılımcı P7'nin kaydı, istenen tarama modunun benimsenmediğini ve AOI "OC" içinde İstem Dışı TF (Target Fixation) yaptığını göstermektedir (Robinski ve Stein⁽¹²⁾ tarafından daha önce açıklanmıştır) ve bunun sonucunda büyük bir sabitlenme sayısı oluşmuştur. Yalnızca sabitlenme sayısına bakmak, tarama deseninin daha yüksek kalitede olduğu varsayımına yol açabilir, ancak durum böyle değildir. Şekil 11, bakış süresini temsil eden daire yarıçaplarının daha büyük olduğunu ve EM geçişinin OC'den hız göstergesine kaymadığını göstermektedir.

AOI'ler: Hız Bandı (AST) İrtifa ve Dikey Hız Bantları (AVST) Motor Enstrümanları (EI) Kokpit Dışı (OC). Tanımlanan AOI'ler (Şekil 12), temel VFR uçuşları gerçekleştirirken pilotun durumsal farkındalığı (SA) için en kritik bilgileri sağlayan kaynaklar olarak varsayılmıştır (bkz. 4.1).

Geleneksel EM verilerinin, katılımcıların psikolojik seçimdeki başarılarıyla karşılaştırılması, daha önce Tablo 4'te tanımlanan gruplar kullanılarak yapılmıştır (Psikolojik seçim testi için adayların üç performans grubuna ayrılması).



Şekil 10. Katılımcı P5'in kalkış aşamasına ait kaydı. 3 saniyelik bakış grafiği. Daha küçük yarışpa sahip ve dolayısıyla daha kısa süreli sabitlenmeler (Yeşil daireler) mevcut. AST AOI'den OC AOI'ye geçişler (sakkadlar) gözlemlenmiştir.

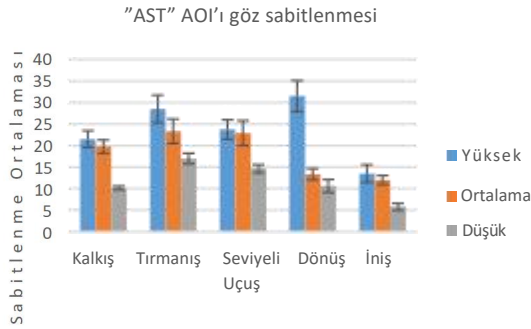


Şekil 11. Katılımcı P7'nin kalkış aşamasına ait kaydı. 3 saniyelik bakış grafiği. Daha büyük yarışpa sahip ve dolayısıyla daha uzun süreli sabitlenmeler (Kırmızı daireler) mevcut. AST AOI'den OC AOI'ye (veya tam tersi) geçişler (sakkadlar) mevcut değildir.



Şekil 12. İlgi Alanlarının (AOIs) Konumu. No26'dan No32'ye kadar sabitlenmeler, 3 saniyelik bir süre boyunca. Bakış noktası analizörü, her 3 saniyede bir bakışlarla ekranı yenileyecek şekilde ayarlandı. Katılımcı P5 örneği.

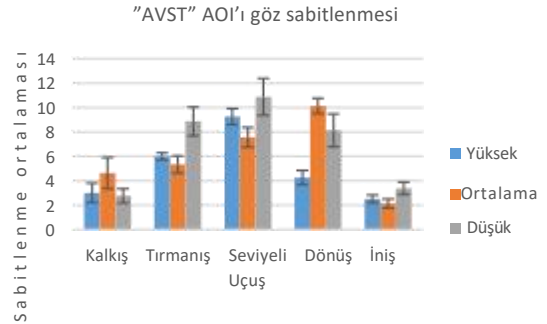
Şekil 13. Her bir katılımcının gerçekleştirdiği üç sortie'nin kayıtlarından alınan, beş uçuş aşaması boyunca AOI 'AST' içindeki ortalama sabitlenme sayısını ve ilişkili standart hataları gösteren sonuçlar.



Şekil 13. Psikolojik seçim akışı için beş uçuş aşaması boyunca AOI 'AST' içindeki göz sabitlenme sayısı ve ilişkili standart hatalar.

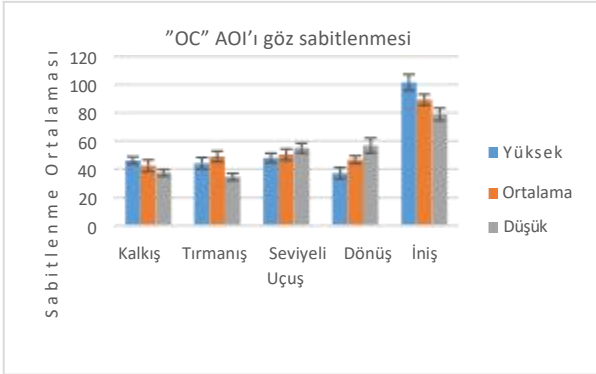
FAOI AST için, yüksek performanslı katılımcılar diğer iki gruba kıyasla daha fazla sayıda göz sabitlenmesi gerçekleştirmiştir (bkz. Şekil 13). Buna karşılık, AOI AVST için yüksek performanslı katılımcılar, tüm beş aşama boyunca ortalama ve düşük performanslı katılımcılara göre daha az göz sabitlenmesi gerçekleştirmiştir (bkz. Şekil 14).

Düşük performanslı katılımcılar, 'Kalkış' ve 'Dönüş' aşamaları dışında diğer üç aşamada AOI AVST içindeki en yüksek sabitlenme sonuçlarını elde etmişlerdir; bu iki aşamada ise ortalama performanslı katılımcılar en fazla sabitlenmeye sahip olmuştur (bkz. Şekil 14).



Şekil 14. Psikolojik seçim akışı için beş uçuş aşaması boyunca AOI 'AVST' içindeki sabitlenme sayısı ve ilişkili standart hatalar.

AOI OC durumunda, yüksek performanslı katılımcılar, 'Kalkış' ve 'İniş' aşamaları sırasında daha fazla sabitlenme yapmış, diğer aşamalarda ise ortalama ve düşük performanslı katılımcılardan biraz daha az sayıda sabitlenme gerçekleştirmiştir (bkz. Şekil 15).



Şekil 15 Psikolojik seçim akışı için beş uçuş aşamasında AOI 'OC' içindeki sabitlenme sayısı ve standart hatalar.

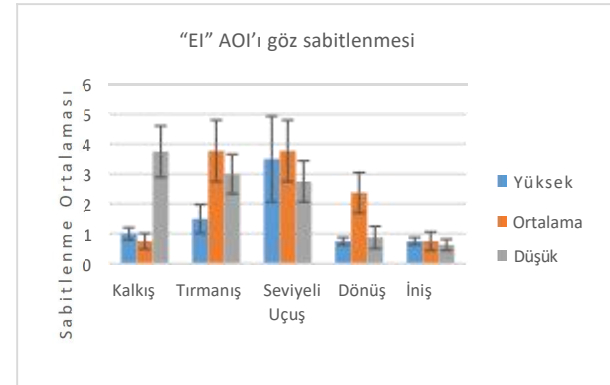
Tüm katılımcıların daha önce edindikleri temel uçuş becerilerinin bir kısmını sergilediği görülmektedir, çünkü tüm beş aşama boyunca, üç grubun tamamında en yüksek sabitlenme sayısı "Kokpit Dışı" (Outside Cockpit) AOI içinde, iniş aşamasında gerçekleşmiştir (Şekil 15).

Tek Yönlü ANOVA yalnızca OC AOI içindeki sabitlenme sayısında gruplar arasında anlamlı farklar olduğunu ortaya koydu ($F(3, 21299) = 10.03922, p < 0.01$). Gruplar arasındaki ikili t-testi, şu farklılıkları gösterdi: Yüksek performanslı katılımcılar ($M = 23.582, SD = 7.42$) ile düşük performanslı katılımcılar ($M = 28.037, SD = 5.16$) arasında ($t(4.72) = 2.048, p < 0.01$), Yüksek performanslı katılımcılar ($M = 23.582, SD = 7.42$) ile orta performanslı katılımcılar ($M = 17.016, SD = 7.44$) arasında ($t(2.14) = 2.068, p < 0.05$). Yüksek performanslı katılımcılar, ortalama performanslı ve düşük performanslı katılımcılara göre Kokpit Dışı (OC) AOI içinde daha fazla sabitlenme yapmıştır. Diğer AOI'lerde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir.

EI AOI içindeki sabitlenme sayısı, mutlak ve göreceli olarak önemsizdir. Bu durum, katılımcıların eğitimsiz acemi pilotlar olduklarının bir başka teyididir (yetenekli pilotlar motor parametrelerine daha fazla dikkat ederdi). Bu bilgi, uçuş simülatöründeki sortie değerlendirmeleri için gelecekte referans olabilir.

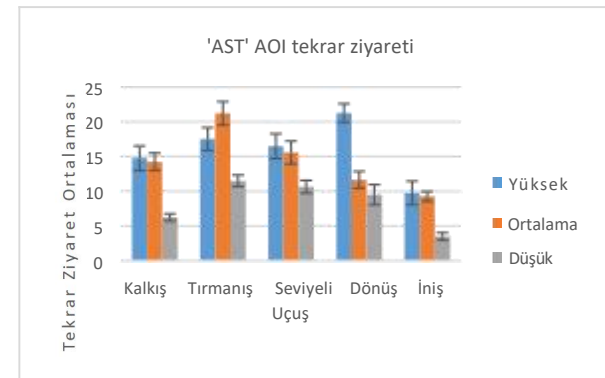
Tek Yönlü ANOVA, AST AOI içindeki tekrar ziyaret sayısında da gruplar arasında anlamlı farklar olduğunu ortaya koydu ($F(3, 21299) = 6.7093, p < 0.01$). Gruplar arasındaki bağımsız t-testleri şu sonuçları gösterdi: Yüksek performanslı katılımcılar ($M = 15.532, SD = 5.11$) ile düşük performanslı katılımcılar ($M = 9.0245, SD = 4.24$) arasında anlamlı fark ($t[3.566] = 2.048, p < 0.01$),

Yüksek performanslı katılımcılar ($M = 15.532, SD = 5.11$) ile orta performanslı katılımcılar ($M = 12.9046, SD = 4.85$) arasında anlamlı fark gözlemlenmedi ($t(1.24405) = 2.0686, p = 0.2260$). Orta performanslı katılımcılar ($M = 12.9046, SD = 4.85$), düşük performanslı katılımcılardan ($M = 9.0245, SD = 4.24$) istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha fazla tekrar ziyarete sahiptir ($t[2.4428] = 2.0345, p < 0.02$).



Şekil 17: Psikolojik seçim akışı için beş uçuş aşamasında AOI 'EI' içindeki sabitlenme sayısı.

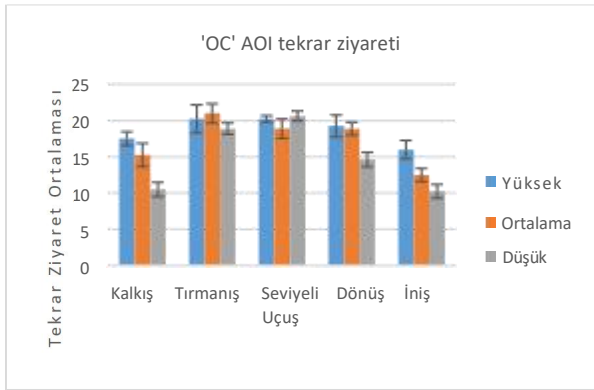
Şekil 17, orta performanslı katılımcıların tırmanış sırasında yüksek performanslı katılımcılara göre biraz daha fazla tekrar ziyarete bulunduğunu göstermektedir. Bu durum, yüksek performanslı katılımcıların daha aktif görsel tarama modeli sergilediklerini teyit eder. Katoh⁽⁴¹⁾ tarafından yapılan bir çalışma, iniş aşamasında hem enstrümanlara hem de kokpit dışına dikkat verilmesi gerektiğini ve en aktif tarama modelinin iniş aşamasında mevcut olması gerektiğini belirtmiştir.



Şekil 18: Psikolojik seçim akışı için beş uçuş aşamasında AOI 'AST' içindeki tekrar ziyaret sayısı ve ilişkili standart hatalar.

Kaydedilen tekrar ziyaret sayısının (Şekil 17 ve Şekil 18'de gösterilen) kullanılması ve tüm uçuş aşamaları boyunca katılımcıların sıralamasının her iki durumda da (Şekil 13 ve Şekil 15'teki sabitlenme sayısı ile Şekil 17 ve Şekil 18'deki tekrar ziyaret sayısı) yüksekte düşüğe doğru sıralanması, yüksek performanslı katılımcıların hedef sabitlenmeleri gerçekleştirdiği ve daha çevik bir tarama modeli sergilediği sonucuna varılmasını sağlamıştır.

Buna göre, psikolojik seçim sırasında belirlenen katılımcı sıralaması, sabitlenme ve tekrar ziyaret sayıları açısından göz takip cihazı sonuçlarıyla korelasyon göstermektedir.



Şekil 18.1. Psikolojik seçim akışı için beş uçuş aşamasında AOI 'OC' içindeki tekrar ziyaret sayısı ve ilişkili standart hatalar.

Şekil 19'da kutu grafiği ile sunulan sonuçlar, yüksek performanslı katılımcıların AST AOI içinde istatistiksel olarak en anlamlı sabitlenme sayısına sahip olduğunu doğrulamaktadır.



Şekil 19. AOI 'AST' içindeki sabitlenme sayısı için kutu grafiği

"AST" AOI içindeki tekrar ziyaret istatistikleri ile ilgili olarak, Şekil 20 sonuçları ve üç katılımcı grubu arasındaki sıralamayı göstermektedir.



Şekil 20. AOI 'AST' içindeki tekrar ziyaret sayısı için kutu grafiği.

Karşılaştırmanın bir sonraki adımında, EM verileri uçuş tarama seçim sonuçlarına göre belirlenen katılımcı grupları ve sıralamalarıyla (Tablo 5 - Uçuş tarama seçim sonuçları) karşılaştırıldı. Psikolojik seçim akışında olduğu gibi, istatistiksel analiz denendiğinde, tek yönlü ANOVA, sabitlenme sayıları açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermedi; bu durum, VFR uçuşları sırasında önemli olmayan bir AOI olan EI AOI dışında aynı kaldı. OC AOI içindeki tekrar ziyaret sayısındaki katılımcılar arasındaki farkların istatistiksel doğrulanması durumu, sabitlenme sayısı ile neredeyse aynıdır. Uçuş tarama sonuçları ile laboratuvar ortamındaki testler (bu durumda EM metrikleri) arasında bir korelasyon bir kez daha doğrulanamadı. Bu, psikolojik testlerin uçuş tarama sonuçlarının tahmin edicisi olarak kullanılması durumunda da geçerliydi (bkz. 5.2).

5.4 Ağa Dayalı EM Metrikleri Sonuç Analizi

Önceki bölüm, geleneksel EM metriklerinin (sabitlenme ve tekrar ziyaret sayısı) askeri akademi pilot adaylarının uçuş seçim süreci için bir tahmin aracı olarak kullanılmasının, katılımcıların uçuş seçim sıralamalarıyla herhangi bir korelasyon göstermediğini ortaya koymuştur. Ayrıca, sakkad stratejisinin varlığına dair kesin bir kanıt bulunmamış ve test katılımcıları arasındaki farklar belirlenememiştir; bu nedenle, daha ayrıntılı bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmuştur.

Ağın temsili, Mandal ve Kang⁽¹⁹⁾ tarafından önerilen tasarım ilkeleri benimsenerek gerçekleştirilmiştir. Sabitlenme dizisi için girdi, EF'lerin (Eye Fixation) sayısı olduğu için, ortalama sabitlenme sayısını içeren tabloyu sağladık ve üç karakteristik katılımcıyı seçtik.

Bu üç katılımcı, toplam sabitlenme sayılarına göre kendi gruplarını (Yüksek performans, Orta performans ve Düşük performans) temsil etmektedir. Denklem (v) ve (vi) kullanılarak Tablo 6'da verilen durum elde edilmiştir.

Tablo 6
Ortalama Sabitlenme Sayısı ve Genel Başarılar

Sıralama	Sabitlenme Sayıları	Katılımcı	grup
1	480	P2	Yüksek
2	478	P4	Performans
3	469	P1	
4	461	P3	
5	427	P5	Ortalama
6	407	P9	Performans
7	372	P6	Düşük
8	345	P8	Performans
9	323	P7	

Tablo 6'ya göre, katılımcı P8 Düşük Performans grubunda yer almaktadır. Psikolojik seçim sırasında da (bu adımı, adayları psikolojik test puanlarına göre gruplandırarak 'psikolojik seçim akışı' olarak adlandırdık, bkz. Tablo 4) Düşük Performans grubunda yer almıştır. Ayrıca, uçuş tarama seçimindeki ortalama performans notu da 7.00'a (Düşük Performans) yakın olmuştur (Tablo 5). Diğer iki katılımcı, P2 Yüksek Performans grubunda ve P9 Orta Performans grubunda yer almıştır (Tablo 5). Her ikisi de uçuş tarama seçiminde aynı gruplarda kalmıştır (Tablo 5).

Şekil 21, Şekil 22 ve Şekil 23, tırmanış uçuş aşaması sırasında, dört AOI için üç katılımcının EM verilerinin ağ görselleştirmesini temsil etmektedir.

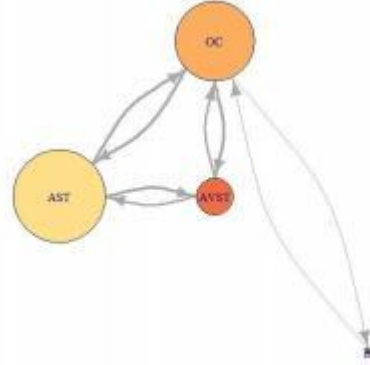
Şekil 21: Katılımcı P2 için, AOI AST birincil AOI'dir çünkü en fazla EF sayısına (daire boyutu) ve en uzun EF süresine (daire rengi) sahiptir. Bu AOI'yi yakından takip eden OC AOI gelmektedir. AVST AOI oldukça daha az önem taşırken, EI AOI neredeyse hiç önem taşımamaktadır.

Şekil 22: Orta Performans katılımcısı P9 için birincil AOI OC'dir. İki AOI olan AST ve AVST oldukça daha az önem taşımaktadır. AVST AOI, diğer yandan EI AOI'den daha kısa bir EF süresine sahiptir; ancak AST, daha uzun EF sürelerine ve daha büyük EF sayılarına sahiptir. Önceki durumun aksine, EI AOI, katılımcı P9 için bazı önem taşımaktadır.

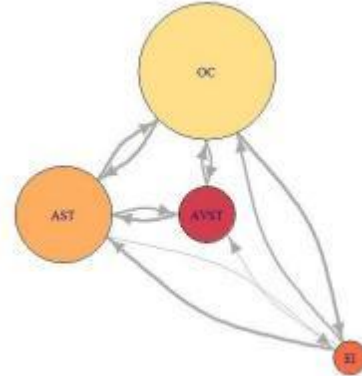
Şekil 23: Katılımcı P8 için birincil AOI OC'dir. Önceki durumlarla karşılaştırıldığında, bu en az önemli "birincil AOI"dir çünkü en az EF sayısına (daire boyutu) ve en kısa EF sürelerine (daire rengi) sahiptir. Bu durumda, AST AOI ikincil öneme sahiptir ve diğer iki AOI göz ardı edilmiştir.

Şekil 21 ile Şekil 23, bazı AOI'ler arasında EF geçiş sayısında fark olduğunu ve bazı katılımcılar için AOI'ler arasında bağlantı bulunmadığını da göstermektedir.

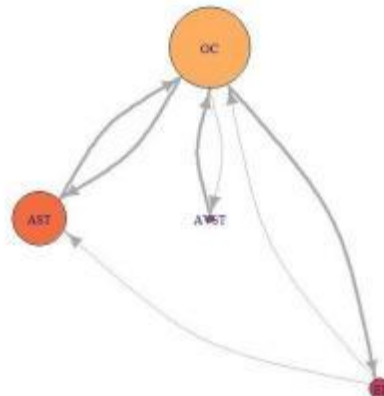
some AOIs and that some connection between AOIs does not exist for some participants.



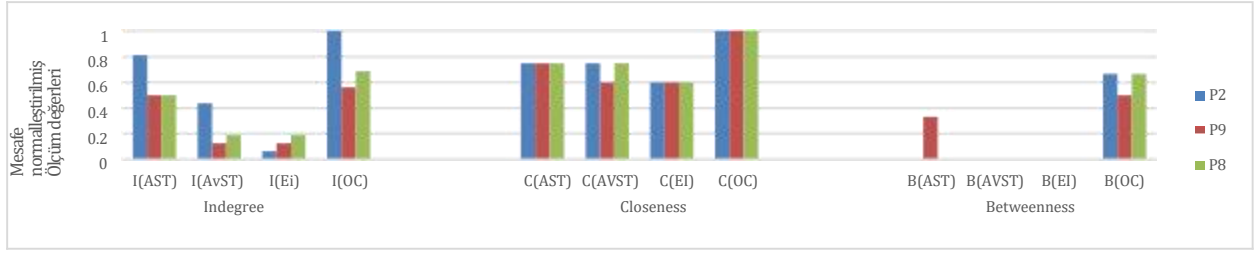
Şekil 21. Tırmanış sırasında Katılımcı P2 için EM verilerinin ağ görselleştirmesi.



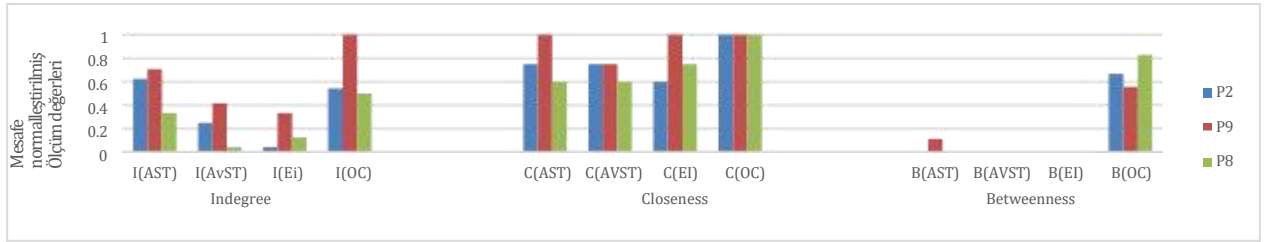
Şekil 22. Tırmanış sırasında Katılımcı P9 için EM verilerinin ağ görselleştirmesi.



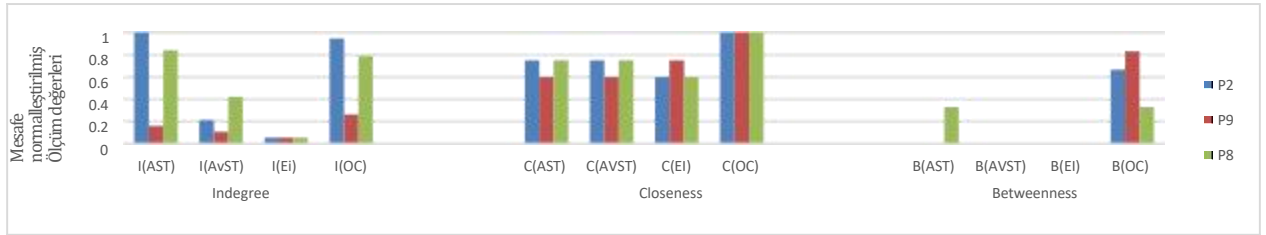
Şekil 23. Tırmanış sırasında Katılımcı P8 için EM verilerinin ağ görselleştirmesi.



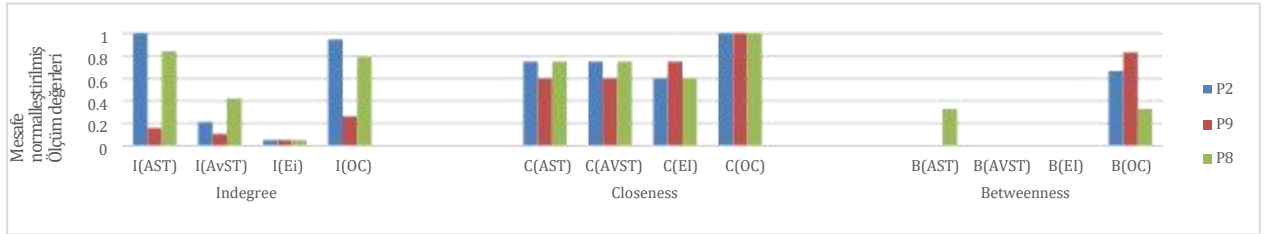
FŞekil 24a. Kalkış uçuş aşaması sırasında AOI'ler için mesafe normalleştirilmiş ölçüm değerleri



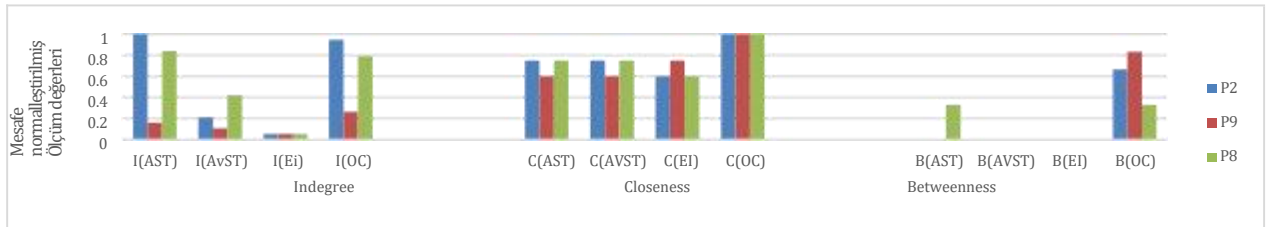
Şekil 24b. Tırmanış uçuş aşaması sırasında AOI'ler için mesafe normalleştirilmiş ölçüm değerleri.



Şekil 24c. Düz ve Seviyeli uçuş aşaması sırasında AOI'ler için mesafe normalleştirilmiş ölçüm değerleri.



Şekil 24d. Dönüş uçuş aşaması sırasında AOI'ler için mesafe normalleştirilmiş ölçüm değerleri.



Şekil 24e. Beş uçuş aşaması boyunca AOI'ler için mesafe normalleştirilmiş ölçüm değerleri."I("AOI")", "C("AOI") ve "B("AOI") sırasıyla normalleştirilmiş indegree, closeness ve betweenness değerlerini ifade eder. Farklı katılımcılar farklı renklerle temsil edilmektedir.

Şekil 24a'dan e'ye kadar olan bar grafikleri, her üç katılımcının beş uçuş aşaması boyunca dört AOI'nin görelî önem ölçütlerini göstermektedir.

EAOI'lerin Görelî Önem Ölçütlerinin İncelenmesi

Beş uçuş aşamasında her bir katılımcının AOI'lere ilişkin görelî önem ölçütlerini Şekil 24a'dan 24e'ye kadar incelemek, her bir katılımcı için bazı eğilimleri göstermektedir ve bu da sakkad stratejilerinin varlığını düşündürmektedir.

Yüksek performanslı katılımcı P2, AST ve OC AOI'leri için yüksek indegree ve closeness değerlerine sahipti. Öte yandan, AST AOI için betweenness değerleri, iniş aşaması dışında önemsizdi (Şekil 24e). OC AOI için betweenness değerleri ise sabit kaldı. Tablo 6'ya göre, P2 en yüksek sabitleme sayısına sahipti. Şekil 21'den (P2) EF sürelerinin yüksek olmadığını gördüğümüzde, bakış sürelerinin oldukça kısa olduğunu söyleyebiliriz. Bu katılımcının yalnızca AST AOI'ye öncelik verdiğini göz önünde bulundurursak, belirgin bir sakkad stratejisine sahip olduğunu söyleyebiliriz.

Orta performanslı katılımcı P9, dikkatini tüm AOI'ler arasında eşit şekilde dağıtmaya çalıştı, bu durum Şekil 22'de (P9) açıkça görülmektedir. Şekil 24a'dan e'ye kadar olan grafikler, tüm uçuş aşamalarında tüm AOI'ler için en yüksek indegree ve closeness seviyelerine sahip olduğunu göstermektedir (dönüş sırasında indegree dışında). Onun merkezilik değerleri, gözlemlenen tüm AOI'ler için yüksek olmanın yanı sıra, tüm uçuş aşamalarında neredeyse aynıydı. Ayrıca, AST AOI için bazı betweenness değerlerine de ulaşmıştır. Onun sakkad stratejisi de ayırt edilebilir durumdadır.

Düşük performanslı katılımcı P8, her bir AOI için her beş uçuş aşamasında farklı önem ölçütlerine sahipti (Şekil 24a'dan 24e'ye). Sakkad stratejisinde baskın AOI, indegree ve betweenness değerlerine dayanarak OC AOI idi. Bazı durumlarda, OC AOI için indegree değeri tüm katılımcılar arasında en yüksek seviyede idi (Şekil 24b, 24c, 24e), ancak kalkış ve dönüş sırasında en düşük seviyede idi. En düşük sabitleme sayısına sahip olması (Tablo 6) ve EF sürelerinin düşük olması (Şekil 23), istenen AOI'lere dikkat etmediğini ve sakkad stratejisinin eksikliğini gösterir.

6. Tartışma

Bu araştırmanın ilk bölümünün sonuçları, sabitleme ve tekrar ziyaret sayıları ile askeri akademide pilot aday seçimi sürecinin ilk aşaması olan psikolojik seçim performansı arasında pozitif bir korelasyon olduğunu göstermiştir.

Sonuç olarak, psikolojik seçim sırasında Yüksek Performans olarak değerlendirilen katılımcılar, göz takip deneyinde daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir çünkü AST AOI içinde daha fazla sabitleme yapmışlardır. Ancak, bu durum daha iyi bir tarama tekniğine sahip olduklarının bir teyidi değildir.

Referans literatürde, Katoh⁽⁴¹⁾, pilotların iniş sırasında en kısa bakış sürelerini sergilediklerini belirtmiştir. Bu bulgu, iniş sırasındaki görsel tarama desenlerinin uçuşun diğer dönemlerinden belirgin şekilde farklı olduğunu düşündürmektedir. Sabitleme sayılarıyla ilgili olarak, AST AOI içinde iniş aşaması sırasında yapılan sabitleme sayısını gösteren grafiklerdeki sütunlar (Şekil 13) ve OC AOI içindeki sabitlemeleri gösteren grafiklerdeki sütunlar (Şekil 15) aynı durumu işaret etmektedir. Katoh⁽⁴¹⁾ ayrıca, inişlerin hem enstrümanlara hem de dış görüşe dikkat gerektirdiğini önermiştir. Bu nedenle, pilotların daha aktif görsel tarama desenlerine sahip olmaları gerekmektedir. Aktif tarama desenleri hipotezinin teyidi, Şekil 17 ve Şekil 18'de verilen tekrar ziyaret sayıları olabilir.

Tırmanış ve düz uçuş aşamaları dışında, tüm diğer aşamalarda Yüksek Performans katılımcılarının OC AOI içinde en yüksek tekrar ziyaret sayılarına sahip oldukları görülmektedir (Şekil 18). Orta Performans katılımcıları daha az, Düşük Performans katılımcıları ise en az sayıda tekrar ziyaret yapmıştır. Özellikle, Kalkış ve İniş aşamalarındaki sütunlar, Düşük Performans katılımcılarının OC AOI içinde düşük sayıda tekrar ziyaret yaptığını göstermektedir. Bu durum, Kasarkis, Stehwen, Hickox ve Aretz⁽³¹⁾ tarafından önerildiği gibi, istenmeyen bir pilot yeteneğidir.

Sabitleme sayısını (Tablo 1'de gösterilen birçok çalışmada standart bir yaklaşım olarak kullanılan) ve tekrar ziyaret sayılarını içeren EM metriklerinin analizi, uçuş tarama sonuçlarıyla bir korelasyon kanıtlanamamıştır. Psikolojik seçim sonuçlarıyla bir korelasyon bulunmuş olsa da, bu tek başına gelecekteki pilotları seçmek için yeterli değildir. Psikolojik testlerin yapıldığı sınıf ortamı ile kokpit ortamı aynı değildir. Canlı eğitim, kişilik özelliklerinin (özgüven, stres altında karar verme) ön plana çıktığı yerdir. Tam psikolojik seçim sıralaması, ayrıca Kişilik Envanteri ve Psikomotor testlere de bağlıdır. Bu çalışmada verilen sınıflandırma, daha önce açıklanan Bilişsel test veri düzenine dayanmaktadır.

Uçuş tarama sürecinde geliştirilen ve sınav görevlisi ile yapılan son uçuşta sergilenen psikomotor beceriler, bir adayın pilot olmaya hak kazanıp kazanmayacağını belirlemede en önemli faktörlerden biridir. Adayların sıralamaları, tüm notlar (uçuş tarama ve psikolojik seçim) dikkate alınarak tahmin edilmektedir.

Referans literatürde tanımlanan prosedürden uyarlanarak olay tabanlı zaman aralıklarında uygulanan yeni DWN yaklaşımı, sakkad stratejilerinin görselleştirilmesini sağladı. Seçilen katılımcıların her biri için bir AOI dizisinin ağ görselleştirilmesi, EM akışının AOI'ler arasında nasıl ilerlediğini gösterdi. Göreceli olarak küçük EF sayılarına ve EF sürelerine rağmen, düğüm temsili modeli sayesinde katılımcılar arasındaki farkları kesinlikle belirleyebildik. Ayrıca, tüm AOI'ler ve üç katılımcı için uçuş aşamaları boyunca normalleştirilmiş önem ölçülerinin çubuk grafiklerle temsili, her bir katılımcının belirgin sakkad stratejisini tanımlamamızı sağladı.

7. Varılan Sonuç

Bu çalışma, psikolojik testler ile sabitleme ve tekrar ziyaret sayıları arasında potansiyel bir korelasyon olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, bu çalışmanın birincil hedeflerinden biri olan uçuş simülasyon ortamında göz takip ölçümlerinin standart psikolojik test sonuçlarıyla korelasyonunu belirleme hedefi kısmen yerine getirilmiştir. Ancak, bu tahmin ediciler (tekrar ziyaretler, sabitlemeler), canlı uçuş performansı ile istatistiksel olarak iyi bir şekilde ilişki göstermemiştir. Bunun sebebi, mevcut örneklemin küçük olmasından kaynaklanıyor olabilir.

Geleneksel yaklaşımların eksikliklerini aşmak ve test katılımcıları arasındaki farkları doğrulamak için indegree, closeness ve betweenness olmak üzere üç hedef önem ölçüsünü içeren ek bir ağ temsili yöntemi uyguladık. Bu yaklaşım, farklı renk ve boyutlara sahip düğümler ile ağırlıklı ve yönlendirilmiş kenarlarla grafik nesnelerinin çizilmesini içeriyordu. Ağ görselleştirmelerini ve normalleştirilmiş önem ölçülerini çubuk grafiklerde, daha önce belirlenmiş sabitleme sayısı ile karşılaştırmak, katılımcılar arasındaki sakkad stratejilerindeki farkı doğruladı. Bu durum, göz takip cihazlarının daha rafine EM metrik görselleştirme yöntemleriyle pilot seçim sürecinde uygulanmasını önermektedir.

8. Sınırlamalar ve Gelecek Çalışmalar

İlk karşılaştığımız zorluk, olay tabanlı zaman aralıklarının (uçuş aşamaları) mı yoksa kaydedilen uçuşun tüm süresi boyunca EM metriklerinin mi değerlendirilmesi gerektiği ikilemi oldu. Kaydedilen uçuşun tüm süresinin kullanılması, sabitleme ve tekrar ziyaretler gibi EF metriklerinin daha büyük bir örneklemini kesinlikle oluşturacaktır. 15 dakikalık sortie süresinin çoğu, özellikle yaklaşan bir olaya (uçuş aşaması) hazırlanmak için uçuş elemanlarını ayarlayan acemi bir pilot için düz uçuşta geçer. Daha önce bahsettiğimiz istem dışı TF'ler, kesinlikle bu sürenin büyük bir bölümünü kapsayacaktır. Üretilen miktar, tekrar ziyaret ölçümünü bunu ortadan kaldırmak için tanıtmamıza rağmen, bazı katılımcılar için sakkad stratejilerinin kalitesi hakkında yanlış sonuçlara yol açabilir. Diğer yandan, olay tabanlı aralıkların daha kısa süresi daha küçük EF sayıları ve muhtemelen geçersiz bir örnekleme bağlantıdır. Olay tabanlı aralıkların tüm uçuş süresi yerine seçilmesi, sorunu çözmek için daha fazla kaydedilmiş deneme gerektirdi. Ek olarak, olay tabanlı aralıkların seçimi, sınav görevlisiyle yapılan uçuşlar sırasında talimatlarla uyumludur. Bizim görüşümüze göre, gelecekteki çalışmalar, önceden belirlenmiş senaryolar içinde yalnızca bir uçuş aşamasını birden fazla deneme ile gerçekleştiren katılımcılarla yapılmalıdır. Bu, odaklarını yalnızca uçuş elemanlarına ve uçuş organizasyonuna değil, kendisine tutacaktır.

Ayrıca, farklı AOI'lerin sayısını seçme sorunu, yalnızca önemlerinin değil, boyutlarının da bir sorunudur. Elektronik uçuş enstrümanları düzeni, daha önce farklı şekil ve pozisyona sahip birkaç enstrümanın entegrasyonunu temsil eder. Bu entegrasyonla, pozisyonlarını ve şekillerini kaybettiler ve dikkat çekmek için başka bir mantık kullanıldı. PFD, uçuş için gerekli verilerin çoğunu sağlar. Çok işlevli ekran MFD, VFR uçuşları için kritik değildir. PFD içinde daha fazla AOI oluşturmak, yalnızca bunların küçültülmesine ve EF sayılarında ek bir azalmaya yol açacaktır. Ayrıca, daha hassas bir göz takip cihazı gerekecektir. Bu alandaki gelecekteki çalışmalar, geleneksel enstrüman düzeniyle dijital olan arasında EM metriklerinin karşılaştırılması olabilir. Uçuş senaryosu kesinlikle Alet Uçuş Kuralları (IFR) altında yapılmalıdır.

9. Etik ve Çıkar Çatışması

Yazar(lar), makale içeriğinin etik kurallara uygun olduğunu ve bu çalışmanın yayınlanmasıyla ilgili herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan eder.

<http://biblio.unibe.ch/portale/elibrary/BOP/jemr/ethics.html>

10. Teşekkür

Yazarlar, uçuş simülâtörü deneylerindeki desteklerinden dolayı Neda Milić ve Gojko Vladić'e teşekkür eder.

Referanslar

1. Carretta TR. U.S. Air Force Pilot Selection and Training Methods. *Aviat Sp Environ Med.* 2000;71(9):950–6.
2. Pavlovic B. Instructions for monitoring, assesment and evaluation of Military Academy cadets. Belgrade: Vojnoizdavackizavod; 2009.
3. Wang T-C, Chang T-H. Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a fuzzy environment. *Expert Syst Appl [Internet].* 2007 Nov;33(4):870–80. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957417406002193>
4. AOPA. Technologicaly Advanced Aircraft, Safety and Training. Frederick. Maryland; 2007.
5. Ferri, A.; Kenney, J.T.; Webb LM. Methods and Criteria for the selection of flying personnel. In: Advisory Group for Aeronautical Research and Development. Paris: AGARD 1960; 1953. p. 107.
6. VAN WULFFTEN PALTHE PM. Remarks on psychological and psychiatric methods of selection and assessment of flying personnel. *Aeromed Acta [Internet].* 1954 Jan;3(1):41–4. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3258379>
7. VAN WULFFTEN PALTHE PM. Some observations on the psychology of the aviator. *Aeromed Acta [Internet].* 1952;1(1):23–42. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1>

- 3124138
8. Blascheck T, Kurzhals K, Raschke M, Burch M, Weiskopf D, Ertl T. State-of-the-Art of Visualization for Eye Tracking Data. Eurographics Conf Vis. 2014;1–20.
9. Wang L, Li H, Dong D, Shu X. Relationship between the technical skills and eye-movement indicators of pilots. 19th Trienn Congr IEA. 2015;(August):1–8.
10. FAA. Instrument Flying Handbook [Internet]. Federal Aviation Administration; 2001. 281 p. Available from: <https://books.google.rs/books?id=1FBZtwEACAAJ>
11. Diaz JM, Bil C, Dyer AG, Garcia JE. Visual scan patterns of expert and cadet pilots in VFR landing. 17th AIAA Aviat Technol Integr Oper Conf 2017. 2017;(June).
12. Robinski M, Stein M. Tracking visual scanning techniques in training simulation for helicopter landing. J Eye Mov Res. 2013;6(2):1–17.
13. Yu CS, Wang EMY, Li WC, Braithwaite G, Greaves M. Pilots' visual scan patterns and attention distribution during the pursuit of a dynamic target. Aerosp Med Hum Perform. 2016;87(1):40–7.
14. Yu F, Liu LW, Zhang WG, Xu H. Evaluation of commercial trainer effectiveness based on DEA cross-efficiency model. Int Conf Logist Eng Manag Comput Sci LEMCS 2014. 2014;(Lemcs):588–91.
15. Mackenzie, Glahot G. Eye tracking in the cockpit: a review of the relationships between eye movements and the aviator's cognitive state. Drdc-Rddc-2014-R153. 2014.
16. Maxime Reynal, Yvanne Colineaux, André Vernay FD. Pilot flying vs. pilot monitoring during the approach phase: An eye-tracking study. In: Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction in Aerospace. ACM New York; 2016. p. 1–7.
17. Rudi D, Kiefer P, Raubal M. Visualizing pilot eye movements for flight instructors. Proc - ETVIS 2018 Eye Track Vis. 2018;
18. Mandal S, Kang Z, Millan A. Data Visualization of complex eye movements using directed weighted networks: A case study on a multi-element target tracking task. Proc Hum Factors Ergon Soc. 2016;106–10.
19. Mandal S, Kang Z. Using eye movement data visualization to enhance training of air traffic controllers: A dynamic network approach. J Eye Mov Res. 2018;11(4).
20. Pavlovic B. Flight Screening on V-53 airplane. Zavod V, editor. Belgrade; 2009.
21. Lijing W, Lin C. Eye movement comparison of professional and novice pilots in key actions of takeoff phase. AUS 2016 - 2016 IEEE/CSAA Int Conf Aircr Util Syst. 2016;703–6.
22. McCarley JS, Kramer AF. Eye movements as a window on perception

- and cognition. In: *Neuroergonomics: The brain at work*. New York, NY, US: Oxford University Press; 2007. p. 95–112. (Series in human-technology interaction.).
23. Rayner K. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. Vol. 124, *Psychological Bulletin*. US: American Psychological Association; 1998. p. 372–422.
24. Di Nocera F, Camilli M, Terenzi M. A Random Glance at the Flight Deck: Pilots' Scanning Strategies and the Real-Time Assessment of Mental Workload. *J Cogn Eng Decis Mak*. 2007 Dec 1;1.
25. Yu CS, Wang EMY, Li WC, Braithwaite G. Pilots' visual scan patterns and situation awareness in flight operations. *Aviat Sp Environ Med*. 2014;85(7):708–14.
26. Kilingaru K, Nedic Z, Tweedale J, Thatcher S. Smart Evaluation of Instrument Scan Pattern Using State Transition Model During Flight Simulator Training. In 2018. p. 292–301. Available from: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-59451-4_29
27. Lefrancois O, Matton N, Gourinat Y, Peysakhovich V, Causse M. The role of Pilots' monitoring strategies in flight performance. In: *European Association for Aviation Psychology Conference EAAP32*, [Internet]. Cascais, Portugal: European Association for Aviation Psychology; 2016. Available from: <http://oatao.univ-toulouse.fr/> %0D
28. Pieters R. A Review of Eye-Tracking Research in Marketing. *Rev Mark Res*. 2008 Jan 1;4:123–47.
29. Comstock JR, Coates GD, Kirby RH. Eye-Scan Behavior in a Flight Simulation Task as a Function of Level of Training. *Proc Hum Factors Soc Annu Meet*. 1985;29(4):391–5.
30. Dixon KW, Krueger GM, Rojas VA, Martin EL. Visual Behavior in the F-15 simulator for air-to-air combat. Williams Air force Base, Arizona; 1990.
31. Kasarskis P, Stehwien J, Hickox J, Aretz A, Wickens C. Comparison of Expert and Novice Scan Behaviors During VFR Flight. *Proc 11th Int Symp Aviat Psychol*. 2001 Jan 1;
32. Burch M, Beck F, Raschke M, Blascheck T, Weiskopf D. A dynamic graph visualization perspective on eye movement data. *Eye Track Res Appl Symp*. 2014;1:151–8.
33. Newman MEJ. Analysis of weighted networks. *Phys Rev E - Stat Physics, Plasmas, Fluids, Relat Interdiscip Top*. 2004;70(5):9.
34. Opsahl T, Agneessens F, Skvoretz J. Node centrality in weighted networks: Generalizing degree and shortest paths. *Soc Networks* [Internet]. 2010;32(3):245–51. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.socnet.2010.03.006>
35. Csardi G, Nepusz T. The Igraph Software Package for Complex Network Research. *InterJournal*. 2005 Nov 30;Complex Sy:1695.

36. Dudas A. Basic Flying Training [Internet]. First Edit. 2014. 79 p. Available from: <http://www.lulu.com/shop/arpad-dudas/basic-flying-training/ebook/product-21455592.html?ppn=1>
37. VVA. Tehnikapilotiranja-osnovno letenje avionom V-53 [Flying technique- V-53 Basic Flying training manual]. Zemunik; 1980. 70 p.
38. Anders G. Pilot's attention allocation during approach and landing- Eye-and-head-tracking research in an A 330 full flight simulator. In: Proceedings of the 11th International Symposium on Aviation Psychologythe 11th International Symposium on Aviation Psychology. 2001.
39. Vlagic S, Knezevic A, Milutinovic M. Application of commercial available hardware in the making of flight trainer. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY AND DEVELOPMENT OF EDUCATION ITRO 2015 PROCEEDINGS. Zrenjanin, Serbia: Technical Faculty Mihajlo Pupin; 2014. p. 284–7.
40. Gazepoint. gazept.com/product [Internet]. 2020. Available from: <https://www.gazept.com/product/gazepoint-gp3-eye-tracker/>
41. Katoh Z. Saccade amplitude as a discriminator of flight types. Aviat Space Environ Med [Internet]. 1997 Mar;68(3):205–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9056028>