

ETKİLEŞİMLİ HAVAALANLARI İÇİN GELİŞ YOLU ÖNERİSİ

Özlem ŞAHİN MERİÇ

Anadolu Üniversitesi
Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi
osahin5@anadolu.edu.tr

Geliş Tarihi: 24 Şubat 2014, *Kabul Tarihi:* 30 Haziran 2014

ÖZET

Yoğun trafik talebini karşılamak üzere aynı terminal hava sahası içerisine kurulan yakın konumlardaki havaalanlarının hava trafik operasyonları birbirini etkilemektedir. Bu şekilde birbirini etkileyen, geliş ve kalkış operasyonlarının yer aldığı havaalanı grubu “etkileşimli havaalanları” olarak tanımlanabilmektedir. Etkileşimli havaalanlarında artan trafik talebine verilebilecek hava trafik hizmetlerinde tüm havaalanlarına etkin ve verimli trafik akışına olanak sunacak hava sahası yol yapısının kurulması gerekmektedir.

Bu çalışmada, etkileşimli havaalanında verimli trafik akışını sağlamak amacıyla Toplama Noktası Sistemi (TNS) paralel ve seri rota yapıları kullanılarak geliş yol önerisi sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Etkileşimli Havaalanı, Toplama Noktası Sistemi, Seri Toplama Noktası Sistemi, Paralel Toplama Noktası Sistemi, Geliş Yolu.

THE PROPOSAL OF THE ARRIVAL ROUTE FOR THE METROPLEX AIRPORTS

ABSTRACT

To meet the heavy traffic demand, two or more airports could be located closely. In this case, the air traffic operations of adjacent airports are interdependent. A group of two or more adjacent airports whose arrival and departure operations are interdependent is referred a metroplex. At the metroplex airports in order to give air traffic service for high traffic demand, the terminal airspace route structure which provides operative and efficient traffic flows should be required.

In this study, in order to ensure efficient traffic flow at metroplex airports, the arrival route proposal will be presented by using the serial and parallel combinations of Point Merge System.

Keywords: Metroplex Airport, Point Merge System, Serial Point Merge System, Paralell Point Merge System, Arrival Route.

1. GİRİŞ

Hava trafik talebinin giderek artması ile ortaya çıkan kapasite problemleri, mevcut hava sahasının ve alt yapının en etkin şekilde kullanımını gerektirmektedir. Özellikle metropolitan bölgelerdeki yoğun trafik talebi geliş ve kalkış operasyonları birbirini etkileyen iki veya daha fazla havaalanından oluşan bir havaalanı sisteminin hizmet vermesiyle çözülebilmektedir. Clarke ve ark. yaptıkları çalışmada, birbirleri ile etkileşen havaalanlarını bir sistem olarak değerlendirerek metropleks havaalanları olarak tanımlamaktadır [1]. Diğer bir çalışmada ise metropleks, geliş ve kalkış rotaları birbirine bağımlı,

birbirine yakın iki veya daha fazla havaalanı topluluğu olarak tanımlanmaktadır [2]. Benzer şekilde birbirini etkileyen geliş operasyonlarının yer aldığı bu çalışma içerisinde metropleks “etkileşimli” ifadesi ile kullanılacaktır.

Terminal hava sahasında hizmet verilen hava trafik sayısında devamlı bir artış olması mevcut hava sahasının en verimli şekilde kullanımını gerektirmektedir. Dünya genelinde uçuşun tüm safhalarında kullanılan Saha Seyrüsefer (Area Navigation-RNAV) tekniklerinin uygulanması ile hava sahasının verimli kullanılmasına imkân tanınmaktadır. RNAV sistemlerin kullanılmaya

başlanması ve buna ilaveten uçak üzerinde performans izleme ve uyarı sistemlerinin (Required Navigation Performance-RNP) de mevcut hale gelmesi ile Performansa Dayalı Seyrüsefer (Performance Based Navigation-PBN) ortaya çıkmıştır. Kısacası PBN; RNAV ve RNP den meydana gelmektedir. RNAV ve RNP sistemleri temelde birbirine benzerlik göstermektedir. Bu iki sistem arasındaki temel fark, RNP uygulamasında uçakta performans izleme ve ikaz sisteminin bulunmasıdır.

Aletli uçuş prosedürleri geleneksel prosedürler, RNAV prosedürler ve PBN prosedürler (PBN öncesi RNP prosedürler) olmak üzere sınıflandırılmaktadır [3]. PBN uçuş prosedürleri uçaklara, yere dayalı seyrüsefer yardımcılarını üzerinden uçmak yerine direkt rotalar kullanarak operasyonlarını gerçekleştirme olanağı sağlamaktadır. Aynı zamanda direkt uçuşlar ile uçuş mesafesi kısalmakta, yakıt ve zaman tasarrufu sağlanarak çevresel etkiler de minimuma indirilmiş olmaktadır. Buna ilave olarak hava trafik kontrolörlerinin uçağı yönlendirmek için çok fazla sayıda vektör talimatı vermesine gerek kalmamaktadır. Kontrolörler ve pilotlar arasındaki iki yöllü frekans meşguliyet süresi azalmakta ve bunun sonucunda kontrolör ve pilot iş yükünde önemli derecede azalma hedeflenmektedir [4].

RNAV ve RNP uygulanmasından meydana gelen PBN ile daha esnek terminal prosedürleri ve rotaları sağlanmaktadır. Uçaklar, standart aletli geliş yollarını (STAR-Standart Arrival Route) kullanarak son yaklaşma yol noktasına (Waypoint-WP) ön tanımlı yol ile dahil olabileceğı gibi vektör talimatı ile de dahil olabilir. Son yaklaşma noktasına dahil oluş şekillerine göre RNAV STAR'lar, Açık STAR ve Kapalı STAR olmak üzere iki çeşittir. Kapalı STAR'lar, ilgili prosedürün son yaklaşma safhasına herhangi bir kontrolör müdahalesi olmaksızın belirlenen RNAV yol ile tamamlanması şeklinde tanımlanır. Açık STAR da ise, uçaklar son yaklaşma noktasına radar vektörü ile dâhil olmaktadır. Kontrolör talimatı olmaksızın uçaklar rüzgâr altı bacağındaki mevcut rotalarını muhafaza etmek durumundadır. Kapalı STAR uygulaması kullanıcıların tercih ettiği bir yöntemdir [5].

RNAV prosedürler içinde geliş trafiklerini sıralama açısından yeni bir teknik olan Toplama Noktası Sistemi (PMS-Point Merge System) uygulaması ile geliş trafik akışları herhangi bir eksen üzerinde değil, belirli bir toplama noktası üzerinde toplanmaktadır. Toplama Noktası Sistemi, daha önceden tanımlanmış, toplama noktasına eşit uzaklıkta olan ve yolun kısaltılması veya uzatılması için kullanılan bacaklar (sıralama bacakları) ile elde edilmiş özel Hassas RNAV (P-RNAV-Precision RNAV) yol yapısına dayalıdır [6].

Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı'nın (International Civil Aviation Organization-ICAO) Devamlı Alçalma Operasyonları (CDO-Continuous Descent Operations) Manüel'ine göre Toplama Noktası Sistemi geliş trafik akışını sıralamada kullanılan yöntemlerden birisidir [7]. Toplama Noktası Sistemi, çalışma içerisinde TNS kısaltması ile ifade edilecektir.

TNS ile uçaklar daire yayı olarak belirlenen RNAV rotayı takip etmektedir [7]. Böylelikle önceden belirlenmiş sıralama bacakları üzerinde gecikmesi sağlanarak, sırası gelen uçak iniş için toplama noktasına gönderilecektir. TNS, RNAV STAR olarak da tanımlanabilir [8].

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu çalışmada öncelikli olarak terminal hava sahasında RNAV uçuş prosedürlerinin kullanımı ile elde edilen yararlar ve RNAV rota yapısına dayalı uçuş prosedürlerinin yoğun hava trafik talebi olan bölgelerde etkileşimli havaalanlarına uygulanması göz önüne alınarak bir literatür tarama çalışması yapılmıştır. Hartsfield Jackson Atlanta Uluslararası Havalimanı'nda Smith (2005) tarafından yapılan çalışmada RNAV prosedürlerin terminal hava sahasında kullanımı ile iki yöllü kontrolör pilot haberleşmesinde %40 azalma sağlandığı sonucuna varılmıştır. [9]. Boursier ve ark. (2006), yaptıkları çalışmada, TMA içindeki geliş trafik akışlarını birleştiren yöntemin kısıtlarının ve yararlarının değerlendirilmesini amaçlamıştır. Bu doğrultuda, önceden tanımlanmış ve belirli bir noktaya eşit uzaklıktaki bacakları kullanarak, trafikleri belirli bir nokta üzerinde sıralanması araştırılmıştır. Uçaklara açık vektör (baş talimatı) talimatı vermeye gerek kalmayacağı ifade edilmiştir. Bu yeni yöntemin, günümüzde kullanılan vektör tekniğine göre daha uygulanabilir, rahat, emniyetli olmasına rağmen daha az esnek olduğu belirtilmiştir. Boursier ve ark. yaptığı çalışmada tekniğin adı yer almasa da, bu yeni tekniğin ileri de Toplama Noktası Sistemi (PMS-Point Merge System) olarak adlandırıldığı görülmektedir [10]. Boursier ve ark. (2007), yaptığı bir diğer çalışmada, TMA'daki geliş trafik akışlarının herhangi bir vektör talimatı kullanmaya ihtiyaç duymadan bir noktaya toplanması için kullanılan RNAV yol yapısına dayalı bu tekniğin, kontrolör iş yükünde ve iki yöllü haberleşmede azalma sağladığını, aynı zamanda kontrolörler arasında öngörüsü yüksek, daha açık şekilde görev dağılımı olduğunu belirtmişlerdir [11].

Atkins ve ark. (2008), çalışmasında şu anda San Francisco körfezi etrafındaki havaalanları operasyonlarında olduğu gibi, birbirine yakın havaalanları arasındaki bağımlılığın kapasite ve verimliliğin azalmasıyla sonuçlanan etkileşimli durumlar için ilk gözlemleri sunmaktadır. San Francisco körfez de üç büyük havalimanı San

Francisco, Oakland ve San Jose, dört tane bölgesel havaalanı Hayward, San Carlos, Palo Alto, Reid Hillview ve Moffett Federal Airfield bulunmaktadır. Etkileşim olgusu, San Francisco Körfez alanında uçuşta gecikme ve verimsizliğe neden olarak açık şekilde kendini göstermektedir. Çalışma nitel ve nicel metroplex tanımı ve terminalojisinin anlatılmasıyla devam etmektedir. Son olarak, ölçülebilir metroplex tanımı için bir çerçeve sunulmuştur [12]. Ivanescu ve ark. (2009), hava trafiği geliş akışlarının toplanması için vektör ve toplama noktası tekniklerini tanımlayarak, tek pist konfigürasyonuna uygulanması ile bu iki teknik arasındaki farkları araştırmıştır. Geleneksel vektör tekniğine göre PMS tekniğinin önemli avantajları bulunmuştur. Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda, kontrolörün verdiği talimat sayısının TNS tekniği ile hızlı zaman simülasyonda %30, gerçek zamanlı simülasyonda ise ~%40 azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda havayolu işleticilerinin TMA'daki uçak başına 170 ± 14 kg yakıt kazancı olmakla birlikte, günde üretilen CO₂ miktarının yaklaşık 270 ton azaldığı ifade edilmiştir [13]. Leihong ve ark. (2011), etkileşimli operasyonları, birbirini tamamlayan havaalanları arasındaki bağımlılık olarak tanımlamaktadır. Çalışmada paralel, ardışık ve kesişen olmak üzere üç tip etkileşimli düzen için link-node simülasyon modeli SIMMOD aracı kullanılarak geliştirilmiştir. Çalışmanın amacı bu üç tip düzen için kapasite tahmini ve verimlilik değerlendirmesinin yapılmasıdır. Ortaklaşa kullanılan noktalar ve birbirinden ayrılan noktalar kullanılarak yapılan operasyonlar ve aynı zamanda koordinasyonun olduğu ve koordinasyonun olmadığı operasyonlar karşılaştırılmıştır. Ayrılan noktaların kullanılması durumunda giriş noktasındaki tıkanıklık ihtimalinin azalması nedeniyle etkileşimli verimliliğin belirli bir seviyede arttırılabileceği sonucuna varılmıştır. Bunun aksine, tıkanmış nokta havaalanında ise, ayrılan noktaların Terminal Radar Yaklaşma Kontrol'daki (Terminal Radar Approach Control-TRACON) karmaşıklığı ve TRACON'daki gecikmeleri arttırabileceği ve koordinasyon ile sistem verimliliğini arttırılabileceği ortaya çıkmıştır. Karmaşıklığı azaltmak için, kontrolör uçuşları yol safhasına çekebileceği gibi farklı operasyonlar arasındaki ayırmayı uyumlu hale getirerek sistem verimliliğini de geliştirebilecektir. Ancak geçici kontrol kullanılması durumunda, hava trafik kontrol sisteminin dört boyutlu (4D) yörünge gerekliliklerini karşılaması gerekmektedir [14]. Clarke ve ark. (2012), etkileşimli terminal hava sahası içindeki operasyonların değerlendirilmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Terminal hava sahası içindeki gecikmelerin azalması üzerine yapılan bu çalışma en önemli entegre kavramların geçici planlama ve rota ayırması olduğunu ortaya çıkarmıştır. Simülasyon analizler ile, planlama ve rota tasarımının birlikte uygulanmasında geliş trafik sıralamasındaki gecikmenin yaklaşık %80 oranında, sadece planlama uygulanması durumunda ise gecikmede %60'dan daha fazla oranda azalma

olduğu sonucuna varılmıştır [1]. AhmadBeygi ve ark. (2013), çalışmasında günümüzde etkileşimli havaalanları için tıkanıklığı hafifletmek ve sistem kapasite seviyesi artışını sağlamak için performans dayalı seyrüsefer kullanımına odaklanmıştır. Kapasite artışı RNAV ve uçuş rotasında daha fazla tahmin edilebilirlik sağlayan RNP prosedürlerin kullanımı ile sağlanmaktadır. Bu çalışmada NewYork metropleks ve Chicago metropleks araştırılmıştır. NewYork metropleks içindeki en büyük ticari havalimanı olan LGA, EWR, JFK ve bu havalimanlarına yakın en yoğun hub olan TEB incelenmiştir. NewYork TRACON bu dört havalimanına hizmet vermektedir. JFK, EWR ve LGA da yayımlanmış RNP yaklaşımları mevcuttur. Bu yaklaşımların çoğunluğu ILS yaklaşımlarının daha yüksek minimaler ile uygulanmasından meydana gelmektedir. AhmadBeygi ve ark., çakışmalardan dolayı fazla kullanılmayan JFK 13 L pisti için yeni RNP yaklaşması tasarlanmıştır. Chicago metropleks içinde de iki tane yoğun havalimanı bulunmaktadır. Bunlar; O'Hare (ORD) ve Midway (MDW) havalimanıdır. ORD akışları ile çakışmaları hafifletmek için PBN yaklaşması MDW 13C pistine tasarlanmıştır. Trafik akışındaki çakışmaların çözümü için uçakların tümünün bu uçuş rotasında uçuş kabiliyetinin olması gerekmektedir. Metropleks içindeki çakışmalar PBN kabiliyetli uçakların yeni rotaları kullanmasıyla çözülebilir; fakat günümüzde karma ekipmanlı uçakların olması nedeniyle ekipmanlı ve ekipmansız trafik akışlarının ayrılması, geçici ayrı rota tahsisleri ve belirli bir zaman sürecinde sadece ekipmanlı trafikler için girişin tahditlenmesi geçici çözüm olarak sunulmaktadır [15]. Timar ve ark. (2013), terminal hava sahası içindeki bir ya da daha fazla etkileşimli hava alanı için mevcut yetersizlikleri araştırmıştır. Bu etkileşimli havaalanı operasyonlarındaki eksiklikleri için mevcut SID ve STAR ve RNAV SID STAR a dayalı kuyruk sistemi yaklaşımına dayalı modeller oluşturularak simülasyonda değerlendirmesi yapılmıştır. Bu iki model karşılaştırıldığında, özellikle doymuş trafik talebinde RNAV SID ve STAR ların önemli avantajları olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışma alanı olarak incelenen Kuzey Kaliforniya için RNAV SID ve STAR uygulaması ile ilave yol geçişleri sağlanmış ve ayrılan/birleşen noktalarda kapasite yaklaşık olarak %50'den hemen hemen %100'e kadar artış göstermiştir [2].

Bu çalışmada aynı terminal kontrol sahası içerisinde yer alan ve tek yaklaşma kontrol ünitesi tarafından yönetilen iki havaalanı etkileşimli havaalanları statüsünde değerlendirilecek ve bu yapı içerisinde iki havaalanının aynı konfigürasyonundaki pistlerine geliş imkânı sağlayacak RNAV rota yapısına dayalı TNS geliş yolu model önerisi sunulacaktır.

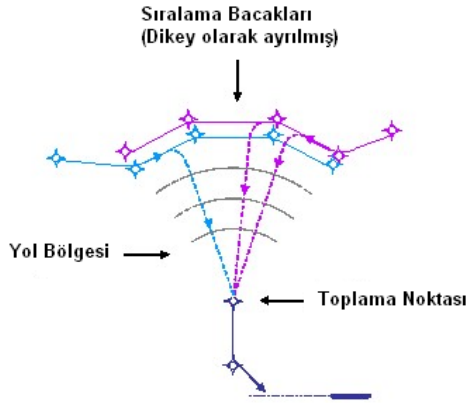
3. YÖNTEM

Etkileşimli havaalanlarında doymuş trafikte mevcut yetersizlikleri ortadan kaldırarak kontrolörün trafik yönetimini kolaylaştırmak ve mevcut terminal hava sahasını daha verimli kullanmak için RNAV rota yapısına dayalı TNS uçuş prosedürü tasarımı bu çalışmada yöntem olarak belirlenmiş ve MicroNav Best radar simülatörü kullanılarak genel model tasarım önerisinin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.

TNS, geliş trafik akışlarını sıralama bacaklarından toplama noktasına yönlendirerek trafik sıralamasına olanak tanıyan bir tekniktir. Bu teknik, yoğun hava trafiği altında Uçuş Yönetim Sistemi (FMS-Flight Management System) tarafından sağlanan yatay rehberliği kullanarak tasarlanmaktadır ve yapısal özellikleri devamlı alçalmaya olanak tanımaktadır.

TNS, daha önceden tanımlanmış, toplama noktasına eşit uzaklıkta olan ve yolun kısaltılması veya uzatılması için kullanılan bacaklar (sıralama bacakları) ile elde edilmiş özel P-RNAV yol yapısına dayalıdır (Şekil 1) [16]. Bu doğrultuda, RNAV STAR olarak da tanımlanabilir [17].

Hava trafiğinin sıralanması, toplama noktasına direkt yönlendirilmeyi ifade eden “direct-to” talimatı kullanımı ile sağlanmış olur [16].



Şekil 1. TNS elemanları [16].

TNS'nin rota yapısında paralel ve seri kombinasyonlar gibi seçenekler tanımlanmaktadır. Bu seçenekler aşağıda açıklanmaktadır.

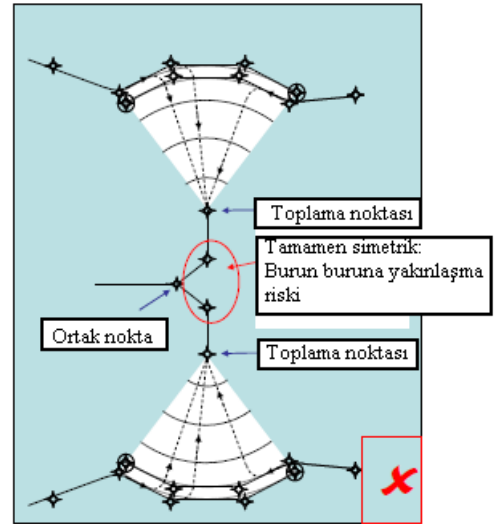
TNS'nin paralel kombinasyonu:

Giriş noktasının birden fazla olması ve bu noktalar üzerinden gelen trafik akışlarının birleşmesi durumunda, tek bir TNS'nin sıralama bacaklarının sayısının artırılması yerine, birden fazla TNS'nin kombinasyonu öngörülmektedir. Bu durumda, her birinin tek toplama noktası fakat hepsinin ortak bir çıkış noktası olacaktır. Bu şekilde sonuçlanan yol

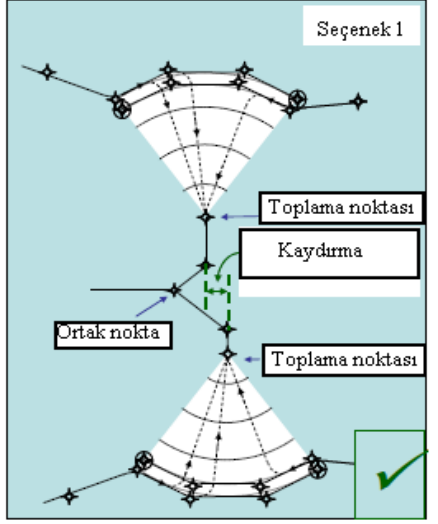
yapısı, TNS'nin paralel kombinasyonuna karşılık gelmektedir.

Sıralama bacağına terk eden trafikler arasında uzunlamasına ayırma sağlanacaktır. Bu durumda birbirini izleyen iki uçak, farklı TNS'yi kullandığında uçaklar arasında uzunlamasına ayırma olduğu kabul edilecektir. Bu nedenle; bu gibi rota tasarımlarında, sadece her bir TNS içinde (bacaklar ve toplama noktası arasında) değil, aynı zamanda kombine rota yapısındaki herhangi sıralama bacağı ile ortak nokta arasında, toplama noktasına eşit mesafe uzaklık sağlanmalıdır. Ortak çıkış noktasına aynı mesafe uzaklık sağlandığında, birbirini izleyen iki uçak arasındaki ayırmanın görsel değerlendirilmesi kolaylaşacaktır.

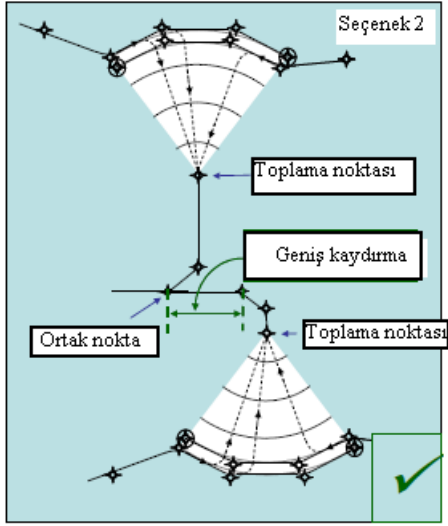
Şekil 2 (a, b, c) de dört geliş akışını tek bir akışta birleştirmeyi destekleyen, simetrik konfigürasyonda iki tane TNS içeren farklı kombinasyonlar gösterilmektedir. Şekil 2a'da toplama noktalarının simetrik şekilde yerleştirilmesi dolayısıyla trafiklerin karşılıklı şekilde ilerlemeleri nedeniyle çakışmaların olabileceğini bu nedenle önerilmeyen bir yöntem olduğu açıklanmaktadır. Şekil 2b'de, toplama noktalarının birbiri ile tam karşılıklı değil, birbirine göre kaydırılmış konumda yerleştirilmesini göstermektedir. Şekil 2c'de ise bu kaydırma miktarının daha geniş olabileceğini ve kullanılabilir yöntemlerden biri olduğu gösterilmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2. Paralel TNS kombinasyon seçenekleri [17].

Aletli İniş Sistemi (ILS-Instrument Landing System) kullanımına benzer olarak, toplama noktaları ve ortak çıkış noktası arasındaki yol yapısı ile ilgili olarak:

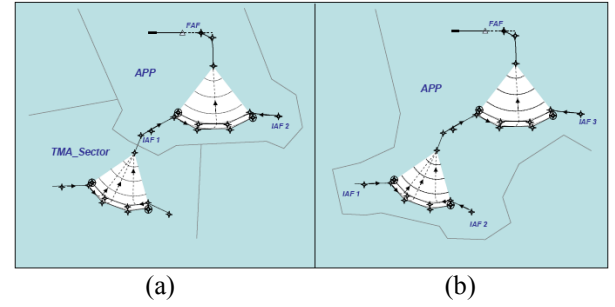
a) Ortak noktaya gelen iki kesişen akış arasında dikey ayırma sağlanacaktır. Farklı TNS'den gelen iki uçağın ortak noktada karşı karşıya gelme pozisyonuna çok yakın şekilde ulaşması durumu da dikey ayırma ile çözülecektir.

b) Ortak noktaya dönüşten önce karşılıklı kesişmeyi önlemek için, iki TNS arasında yatay kaydırma (lateral offset) uygulanacaktır. Bu yatay kaydırma, toplama noktaları ile ortak nokta arasındaki bölümlerin uzunluğunun ayarlanması ile sağlanabilir. Bu konfigürasyonda uçaklar halen geçiş noktası dönüşü olarak tanımlanmış ortak noktaya kesişen pozisyonda uçmaktadır. Karşılıklı kesişme riskini

azaltmak için, tasarımda Şekil b ve c 'de gösterildiği gibi ortak eksen ile kesişme noktaları kaydırılabilir [17].

TNS'nin seri kombinasyonu:

Geliş akışlarının doğası gereği birleşmesi nedeniyle, TNS'nin rota yapısının ardışık şekilde tasarımının yapılması öngörülebilir. Bu tasarım TNS seri kombinasyonu olarak tanımlanmaktadır. Aşağıda Şekil 3a ve 3b'de gösterildiği gibi, yaklaşımda belirli kısıtlamalar olabilir veya uzatılmış terminal saha/terminal sahada ve yaklaşma control ünitesi arasında bölünmüş TNS tekniği kullanılabilir. Bu konfigürasyonlar henüz test edilmemiştir [17].



(a)

(b)

Şekil 3. Seri TNS için seçenekler [17].

4. ETKİLEŞİMLİ HAVAALANLARINDA MODEL YAKLAŞIMI

Çalışmada, içerisinde birden fazla etkileşimli havalimanının bulunduğu terminal hava sahasının daha verimli şekilde kullanılması amaçlanmış, TNS prosedürün seri ve paralel kombinasyonları birlikte düşünülerek kombine TNS model yaklaşımı genel bir model olarak önerilmiştir.

Terminal hava sahasının tek sektör olduğu kabul edilerek simülasyon ortamında sınırları çizilmiştir. Etkileşimli havaalanlarının tanımında da olduğu gibi havaalanlarının geliş ve kalkış trafiklerinin birbirini etkilemesi ve yaklaşma prosedürlerinin birbirine bağımlı olması nedeniyle yaklaşma kontrol hizmetinin tek yaklaşma kontrol ünitesi tarafından üstlendiği düşünülmüş ve tasarım süreci bu doğrultuda ilerletilmiştir. Bu amaç doğrultusunda belirlenen terminal hava sahası içerisine aynı pist konfigürasyonuna (06/24) sahip etkileşimli iki havaalanı yerleştirilmiştir. Havaalanları ABCD ve KLMN harf grubu ile gösterilmektedir. Simülasyon ortamında havaalanlarına ait iniş pisti 20NM'lik yaklaşma uzantısı şeklinde verilmiştir. İki havaalanı arasında 20NM'lik mesafe vardır. Havaalanları konumunun birbiri ile etkileşimli olmaları öngörüsü ile konfigürasyon bu şekilde belirlenmiştir.

TNS prosedürün özelliği farklı yönlerden gelen trafiği tek noktada toplamaktır. Bu nedenle öncelikli olarak terminal hava sahasına farklı yönlerden gelen trafiğin toplanması amacıyla giriş noktaları yerleştirilmiştir.

Giriş noktalarına gelen trafiğin, yol kontrol ünitesi tarafından yeterli ayırma sağlanarak devredildiği kabul edilmiştir. Simülasyon ortamında giriş noktaları GRIS1, GRIS2, GRIS3, GRIS4, GRIS5, GRIS6, GRIS7, GRIS8 ile gösterilmektedir.

Tercihli pist 06 kabulü yapılmış ve tasarım seçenekleri bu pist başları için sunulmuştur. TNS modelin en önemli elemanlarından birisi olan toplama noktaları çalışma içerisinde T1, T2, T3, T4 olarak gösterilmektedir. TNS prosedüre giriş noktaları ise XA001, XA002, XB001, XB002, XC001, XC002, XC003, XC004, XD001, XD002 olarak gösterilirken, prosedürün son bulduğu noktalar ise X, Y, K, L, M, N, P, Z, T, W olarak tek harf ile verilmiştir.

Araştırmada, uçaklar arasında gerekli olan ayırma kriterleri mesafeye göre belirlenmiş olup, ICAO Dokümanı 4444 Hava Trafik Yönetimi (ATM-Air Traffic Management) standartları gereğince radar kabiliyetinin de izin vermesi durumunda TMA içinde yaklaşma kontrol hizmetinde ufki radar ayırması asgari 3 NM olarak kabul edilmiştir [18]. Sıralama bacakları arasındaki mesafe, ayırma kriteri de göz önüne alınarak 2 NM olarak belirlenmiştir.

Çalışma bölgesinin terminal hava sahası olduğu göz önüne alınarak ayrıca TNS prosedürlerinde hız tahditi uygulamasının önemli olduğu düşünülerek terminal hava sahasına giren trafiklerin maksimum 250 kts'ı muhafaza etmesinin uygun olacağı kabul edilmiştir. Terminal hava sahasına giriş yapan uçaklar için genel bir hız tahditi uygulanıyor olmasına rağmen trafik durumunu daha homojen bir hale getirmek ve kontrolör açısından trafik yönetiminde öngörünün artırılarak durum farkındalığı yaratmak amacıyla TNS prosedürüne giren uçaklar için ayrı bir hız tahditi uygulaması düşünülmüştür. Hız tahditi uygulaması yapılırken Ekim 2013 tarihli Türkiye AIP'sinde belirtilen hız sınırlamaları göz önüne alınarak bu prosedür için asgari 220 kts olarak belirlenmiştir [19].

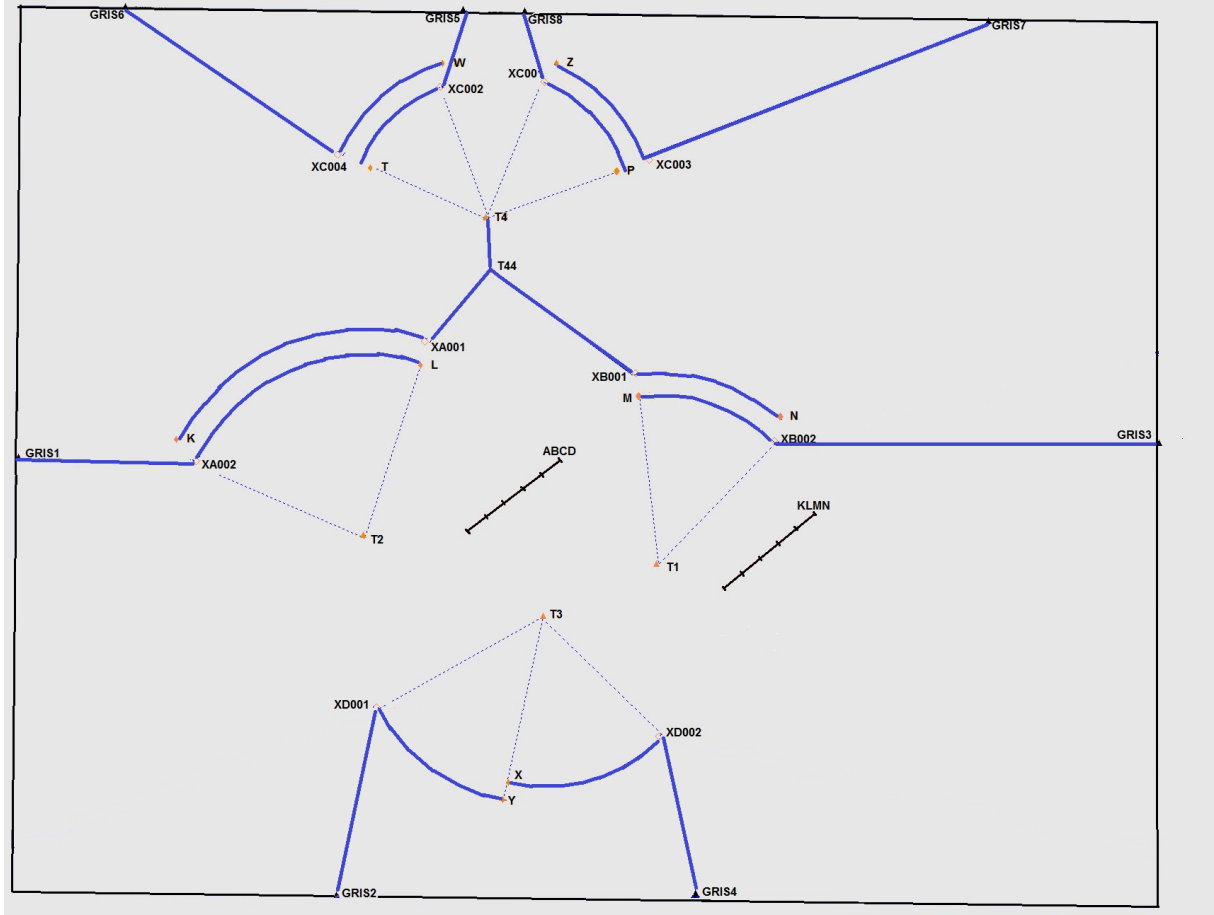
ABCD ve KLMN etkileşimli havaalanlarının 06 pistine farklı yönlerden gelen trafikleri sıralı bir şekilde toplamak için T1, T2 ve T3 toplama noktalarına sahip TNS model yerleştirilmiştir. T1 ve T2 toplama noktasına kuzey, doğu ve batı yönünden gelen trafikler toplanırken, T3 noktasına ise güney yönünden gelen trafik akışı toplanmaktadır.

Çalışmada geliş trafik akışının özellikle kuzey yönünden daha yoğun geldiği kabul edilmiş ve bu kapsamda TNS prosedürünü besleyen başka bir TNS modelin kuzey yönüne yerleştirilmesinin uygun olduğu görülmüştür. Bu kapsamda kuzey yönünden gelen trafik yoğunluğunun her iki etkileşimli havaalanına yönlendirilmesi amacıyla T4 toplama noktasına sahip ilave bir TNS model seri olarak bağlanmıştır.

T3 toplama noktasına sahip TNS model güneyden gelen trafik akışını her iki etkileşimli havaalanı için toplamaktadır. Bu model yerleştirilirken, her iki havaalanı için paralel TNS kombinasyonu dikkate alınarak tasarım gerçekleştirilmiştir. Paralel kombinasyon tasarlanırken trafiklerin karşılıklı olarak gelmeleri söz konusu olacağı için T1 ve T3 toplama noktaları tam simetrik değil aksine kaydırılarak yerleştirilmesinin uygun olduğu görülmüştür. Aynı zamanda TNS'nin önemli elemanlarından birisi olan sıralama bacak sayısının iki olmasının yeterli olacağı düşünülmüştür, bunun aksine daha yoğun trafik durumunda ise bacak sayısının artırımı yani ilave sıralama bacağı yerleştirilmesi şu anki mevcut pozisyonları açısından mümkün olmaktadır. Paralel TNS kombinasyon uygulaması ile daha fazla trafiğin havaalanlarına sıralı bir şekilde yaklaşmaları amaçlanmıştır. Etkileşimli havaalanları için seri ve paralel TNS kombinasyon modelinin de yer aldığı TNS model önerisi Şekil 4'te gösterilmektedir.

Sıralama bacaklarının toplama noktaları ile arasındaki mesafenin TNS prosedürünün devamı olarak düşünülen Devamlı Alçalma Operasyonlarına (CDO-Continuous Descent Operations) olanak tanınması açısından yaklaşık 20-25NM arası bir değer olması uygun olduğu görülmüştür.

TNS modellerin iç sıralama bacakları için FL110, dıştaki bacaklar için FL100 belirlenmiştir. Böylelikle trafiklerin TNS sıralama bacaklarından son yaklaşma noktasına kadar devamlı alçalmasına imkan tanınmıştır. Sıralama bacaklarının uzunlukları ise trafik yoğunluğuna göre değişiklik gösterebilir. Bu çalışmada tasarım yapılırken bacak uzunlukları dikkate alınmamıştır. Çalışmada özellikle TNS prosedürlerin farklı rota yapısı seçenekleri olan seri ve paralel kombinasyonlarının tasarımı vurgulanmaktadır.



Şekil 4. Seri ve Paralel TNS kombinasyon modeli.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada aynı terminal hava sahası içerisinde yer alan birbirine bağımlı, geliş kalkış operasyonları birbirini etkileyen etkileşimli havaalanları için yeni bir geliş yolu tasarım önerisi gerçekleştirilmiştir. Çalışma yöntemi olarak farklı yönlerden gelen trafiği pist ekseninde değil, tek bir noktada toplayan ve trafikleri beklemeye almadan sadece sıralama bacakları üzerinde gerekli gecikmeleri sağlayarak geliş trafik akışının sıralanmasına olanak tanıyan, yeni bir yöntem Toplama Noktası Sistemi kullanılmıştır. Bu yöntem uygulanırken araç olarak MicroNav Best radar simülatöründen yararlanılmıştır. Toplama Noktası Sistemi RNAV yol yapısına dayalı olup, paralel ve seri kombinasyonları ile oluşturulan farklı rota yapısı seçenekleri mevcuttur. Seri TNS kombinasyonu özellikle aynı terminal hava sahası ya da uzatılmış terminal hava sahası içinde ve yaklaşma kontrol ünitesinde uygulanan belirli kısıtlar için kullanılan bir yöntemdir. Seri TNS kombinasyon ile TNS modeller birbirine ardışık olarak bağlanır ve birbirini bu şekilde besler. Paralel TNS kombinasyonu ise farklı yönlerden gelen yoğun trafik akışını aynı pist üzerinde toplamak için tercih edilen bir yöntemdir.

Bu çalışmada da aynı pist konfigürasyonuna sahip birbiri ile etkileşen iki havaalanının kullanım için en çok tercih edilen pist başına (06) TNS'nin hem seri

hem de paralel kombinasyonları kullanılarak geliş yol tasarım önerisi simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir. Böylelikle bu iki etkileşimli havaalanına özellikle yoğun olduğu kabul edilen kuzey yönü için seri TNS kombinasyon modeli önerilmiştir. Güney yönünden gelen trafik akışını ise her iki etkileşimli havaalanı için tek TNS'de toplayan ve T3 toplama noktasına sahip TNS prosedür ile paralel olarak bağlanan bir model önerisi getirilmiştir. Böylelikle farklı yönlerden gelen trafikler tek nokta üzerinde toplanacak ve bu prosedür ile yaklaşma sıralaması gerçekleştirilerek iniş için hazırlanacaktır.

Tasarım kriterleri belirlenirken özellikle trafiklerin devamlı alçalma yapmasına imkân tanıyan mesafe (20-25NM) ve irtifa (FL110-100) değerleri önerilmiştir. Böylece iniş için toplama noktasını terkeden trafikler son yaklaşma noktasına kadar devamlı alçalma yapabileceklerdir.

TNS'nin RNAV rota yapısına dayalı olması nedeniyle trafiklerin noktadan noktaya uçmasına gerek kalmadan seyrüseferini gerçekleştirebilecektir. TNS prosedürün standart kısıtlarının olması kontrolörlerin çalışma şartlarında standartlaşma sağlamaktadır. Aynı zamanda sıralama bacaklarının geliş trafik akışı sıralamasında öngörü getirmesi ile kontrolör farkındalığının artması, herhangi bir vektör talimatı gerektirmemesi sayesinde daha az kontrolör pilot

frekans meşgulliyeti olması, bununla birlikte sıralama bacağından son yaklaşma noktasına kadar devamlı alçalma operasyonlarına imkân tanınması ile yakıt tüketiminde tasarruf sağlaması TNS prosedürün önemli faydalarıdır [4].

Bu çalışmada etkileşimli havaalanları için TNS'nin seri ve paralel kombinasyonu kullanılarak radar simülöründe tasarlanan genel bir gelişim yolu model önerisi sunulmuştur.

6. KAYNAKLAR

[1] Clarke, J.P.,B., Ren L., McClain, E., (2012) "Evaluating Concepts For Operations In Metroplex Terminal Area Airspace", *Journal of Aircraft*, Vol 49, No 3.

[2] Timar, S., Hunter, G., Post, J., (2013) "Assessing The Benefits Of Nextgen Performance Based Navigation (PBN)", *Tenth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar*.

[3] International Civil Aviation Organization (ICAO) Doc 9613, *Performance –Based Navigation (PBN) Manual*, 3. Baskı, 2008.

[4] Meriç, Şahin, Ö., (2011) "Uzantıları Kesişen Pistlerde Gelişim Trafik Sıralaması İçin Bir Benzetim Modeli Önerisi", *Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*.

[5] Şahin Meriç, Ö., Usanmaz, Ö., (2013)"RNAV Rota Yapısında Yenilikçi Bir Metot:Toplama Noktası Sistemi", *Makine ve Mühendis, Cilt 54, Sayı 636, s.46-53*.

[6] Hoffman, E., (2011) "Point Merge: Improving and Harmonising Arrival Operations with Existing Technology", *Eurocontrol*.

[7] International Civil Aviation Organization (ICAO) *Doküman 9931-Continuous Descent Operations (CDO) Manual*, First Edition, 2010.

[8] EUROCONTROL, (2010) "Point Merge Integration of Arrival Flows Enabling Extensive RNAV Application and CDA – Operational Services and Environment Definition", *Eurocontrol Experimental Center, Version 2.0*.

[9] Smith, E., C., (2005) "Impact of RNAV Terminal Procedures on Controller Workload", *IEEE*.

[10] Boursier, L., Favennec, B., Hoffman, E., Trzmiel, A., Vergne, F., Zeghal, K., 2006.

[11] "Integrating Aircraft Flows In The Terminal Area With No Radar Vectoring", *6th AIAA Aviation Technology, Integration and Operations Conference (ATIO)*.

[12] Boursier, L., Favennec, B., Hoffman, E., Trzmiel, A., Vergne, F., Zeghal, K., (2007) "Merging Arrival Flows Without Heading Instructions", *7th*

USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, Barcelona, İspanya.

[13] Atkins, S., (2008) "Observation and Measurement of Metroplex Phenomena", *IEEE*.

[14] Ivanescu, D., Shaw, C., Tamvaclis, C., Kettunen, T., (2009) "Models of Air Traffic Merging Techniques:Evaluating Performance of Point Merge", *9th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference (ATIO)*.

[15] Leihong, L., Park, J.W., Clarke J.P., (2011) "A Simulation-Based Method For Estimating Metroplex Efficiency", *IEEE*.

[16] AhmadBeygi,S., Elliott,M., Lewis, T., Sud, V., (2013) "Capability-Aware Traffic Flow Management For Metroplex Environments", *IEEE*.

[17] Hoffman, E., (2011) "Point Merge: Improving and Harmonising Arrival Operations with Existing Technology", *Eurocontrol*.

[18] EUROCONTROL, (2010) "Point Merge Integration of Arrival Flows Enabling Extensive RNAV Application And CDA – Operational Services and Environment Definition", *Eurocontrol Experimental Center, Version 2.0*.

[19] International Civil Aviation Organization (ICAO) Doc 4444 *Procedures For Air Navigation Services Air Traffic Management*, 15. Baskı, 2007.

[20] Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI) Genel Müdürlüğü, *Havacılık Enformasyon Yayını (AIP)*, (Ekim, 2013)

ÖZGEÇMİŞ

Yard. Doç. Dr. Özlem ŞAHİN MERİÇ

2003 yılında Anadolu Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu Hava Trafik Kontrol Bölümü'nden mezun oldu. Aynı yıl Hava Trafik Kontrol Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2006 yılında Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sivil Havacılık Anabilimdalı'nda yüksek lisansını, 2011 yılında doktorasını tamamladı. İlgi alanları, performans dayalı seyrüsefer, uçuş prosedürleri, gelişim yolu tasarımıdır. Halen Anadolu Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi'nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.