

UYDU TABANLI YAKLAŞMA İNİŞ SİSTEMLERİ

Sefer ATAŞ ¹	Osman KOÇ	Deniz ALTIN
Mehmet Emre ÇİFTÇİBAŞI		Başak Gonca ÖZDEMİR
Mustafa KILINÇ		Alper YEŞİLYURT
Savunma Sanayii Müsteşarlığı	Hava Kuvvetleri Komutanlığı	STM A.Ş

ÖZET

21. yüzyılda dünyanın ulaştığı teknolojik seviye, yaklaşma iniş sistemleri konusunda da paralel olarak yeni bir çağ başlatmıştır. Tüm dünyada sivil ve askeri hava araçlarının iniş ve kalkışlarında halen kullanılan Hassas Yaklaşma Radarı ve Aletli İniş Sistemi gibi sistemler, orta ve uzun vadede uydu sinyallerini kullanan yeni sistemlerle güncellenecektir. Söz konusu yeni sistemlerin geliştirilmesinde çevresel şartların etkilerini azaltarak sinyal kalitesini artıracak çeşitli yer kesimi ve hava aracı aviyonik birimlerinin ve ilgili algoritmaların geliştirilmesi gerekmektedir. Türkiye ve tüm dünya için yeni bir araştırma konusu olan söz konusu sistemlerde, mevcut ve gelecekteki uydu kümeleriyle birlikte çalışabilirlik önem arz etmektedir. Bu çalışmada uydu tabanlı yaklaşma iniş teknolojilerine genel bakışla birlikte sistemlere yönelik teknik bilgiler verilmiş, Uydu Tabanlı Destek Sistemi (UTDS) ve Yer Tabanlı Destek Sistemi (YTDS)'nin örnek uygulamalar ile birlikte askeri kullanımda sağladıkları operasyonel avantajlar detaylandırılmış, ileri teknolojilerin kullanıldığı yaklaşma türleri hakkında genel bilgiler verilmiş, İHA'larda UTDS/YTDS kullanımı ve otomatik kalkış ve iniş desteğinin önemi ile birlikte operasyonel kullanımı etkileyen faktörlere ve askeri ve sivil yaklaşma iniş sistemlerinin birlikte çalışabilirliğine yer verilerek Türkiye'nin gelecekte iyi bir konumda olması için yapılması gereken çalışmalar ve taslak UTDS/YTDS yol haritası sunulmuştur.

GİRİŞ

Günümüzde askeri ve sivil amaçlı geliştirilmiş seyrüsefer, hassas yaklaşma ve iniş sistemleri, hava araçlarının zorlu hava ve arazi koşullarında operasyonel kabiliyetlerini ifâ etmelerini sağlamaktadır. 1900'lü yılların başlarından itibaren kullanılmaya başlayan ve günümüzde farklı seviyelerde operasyonel olarak kullanılmakta olan yaklaşma, iniş sistemleri ve seyrüsefer destek cihazları (ILS, PAR, NDB, VOR, TACAN, vb.) güvenilir çözümler sunmaktadırlar.

Günümüzde kullanılmakta olan yaklaşma, iniş sistemleri, seyrüsefer destek cihazları ve ilgili alt birimlerine ilişkin üretici desteğinin giderek azalması, belirtilen sistemlerin kapsama alanının ufuk görüş açısı ile sınırlı olması ve havacılık uygulamalarında ihtiyaç duyulan yüksek güvenilirlik ve hazır olma durumu gereksinimleri kurulum ve bakım maliyetlerini artırmaktadır. Bunun sonucu olarak, belirtilen maliyetler tüm hava meydanları tarafından karşılanamamaktadır. Ayrıca, mevcut sistemlerin birçoğunun coğrafi kısıtlara sahip olmaları da operasyonel verimlilik, harekât kabiliyeti ve güvenlik açısından kritiklik arz etmektedir. Bu

¹ Savunma Sanayii Uzmanı, E-posta:satas@ssm.gov.tr

nedenlerden dolayı belirtilen sistemlerin yerlerini verimlilik arz eden ve maliyet etkin çözümlere bırakması öngörülmektedir.

Küresel uydu tabanlı seyrüsefer sistemleri (GNSS; GPS, GLONASS, vb.) askeri ve sivil havacılıkta seyrüsefer amaçlı kullanılıyor olsa da, hassas yaklaşma ve iniş sistemlerinin sahip olması gereken hassasiyet, bütünlük, hazır olma ve devamlılık gibi performans isteklerini karşılayamamaktadır. Uydu Tabanlı ve Yer Tabanlı Destek Sistemleri (UTDS, YTDS) bu noktada ihtiyaç duyulan performans isteklerini çeşitli seviyelerde karşılayarak en son gelişmeleri yansıtan ve maliyet etkin çözümler sunan teknolojiler konumundadır. Yurt içinde UTDS ve YTDS sistemlerinin geliştirilmesi yönündeki çalışmalar 2012 yılında Savunma Sanayii Müsteşarlığınca başlatılmış ve halen devam etmektedir [Ataş, 2012; Ataş ve Çiftçiabaşı, 2014; Ataş, Çiftçiabaşı, Kılınç, Koç, Altın, Özdemir ve Yeşilyurt, 2014].

Askeri ve sivil yaklaşma inişlerde kullanılması hedeflenen milli sistemlerin, orta ve uzun vadede kullanıma alınması amacıyla yurt içindeki imkân ve kabiliyetlerin araştırılması yönünde başlayan çalışmalar, sabit ve döner kanatlı hava araçlarının yanı sıra İHA'lara yönelik olarak da derinleştirilmektedir. Uydu tabanlı yaklaşma ve iniş sistemlerinin döner kanatlı platformların deniz platformlarına inişlerinde de yaklaşma ve iniş desteği sağlaması yönünde dünyadaki çalışmalar incelenmektedir.

TEKNOLOJİLERE GENEL BAKIŞ

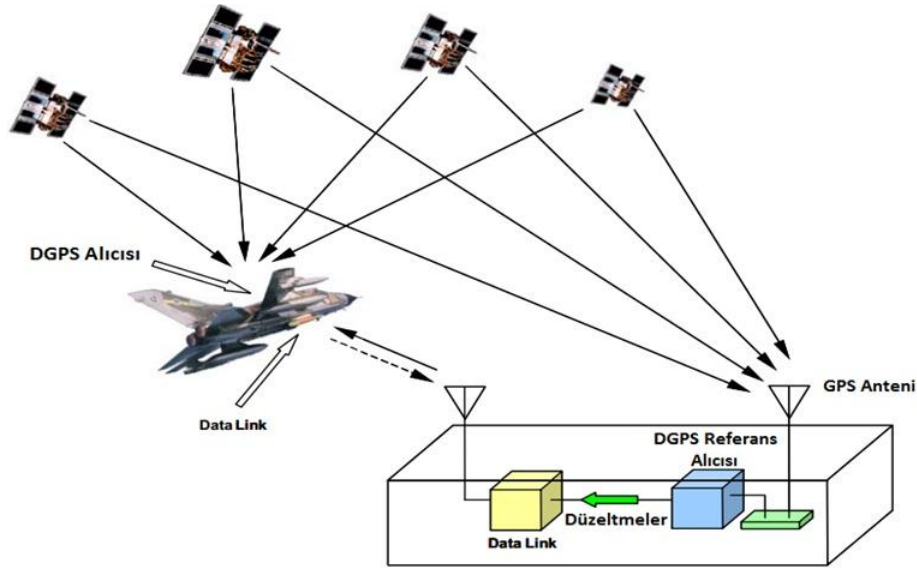
GNSS uydu takımlarının operasyonel olarak kullanılabilir hale gelmesi ile kara, hava ve deniz platformlarında uydu tabanlı seyrüsefer kullanımı mümkün hale gelmiştir. Günümüzde temel olarak kullanılmakta olan GNSS uydu takımları, ABD tarafından işletilen Global Positioning System (GPS) ve Rusya Federasyonu tarafından işletilen Global Navigation Satellite System (GLONASS)'dır. Bununla birlikte, Avrupa (GALILEO) ve Çin (BEIDOU) tarafından da, GPS ve GLONASS sistemleri ile birlikte çalışabilir olan GNSS uydu takımları geliştirilmektedir. (Tablo 1)

Tablo 1: Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemleri (GNSS)

Sistem	GPS	GLONASS	GALILEO	BEIDOU
Durum	Operasyonel	Operasyonel	Geliştirilme Aşaması	Geliştirilme Aşaması
Ülke	ABD	Rusya	AB	Çin
Yörüngelere Göre Uydu Sayısı (2014 yılı itibarıyla)	31 MEO uydusu	29 MEO uydusu	4 MEO uydusu	5 GEO, 5 IGSO, 4 MEO uydusu

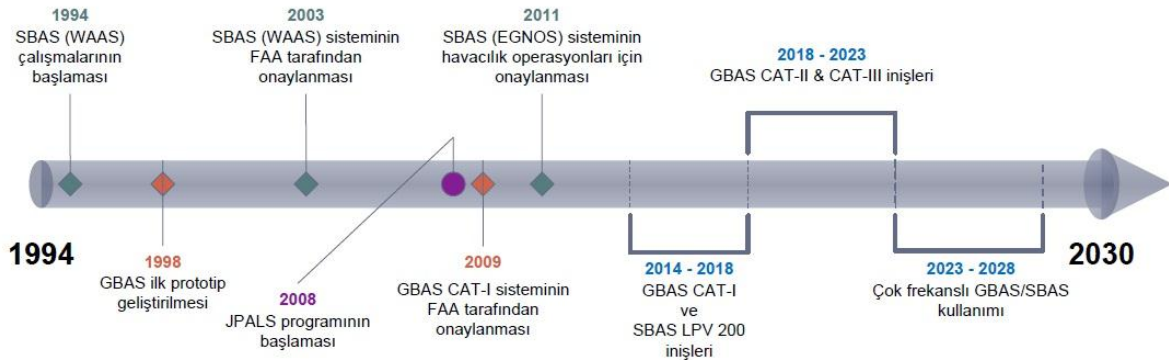
GNSS sistemlerinin tek başına kullanımı bütünlük (integrity) başta olmak üzere, devamlılık (continuity), hazır olma durumu (availability), hassasiyet (accuracy) ve uyarı süresi (time to alert) gereksinimlerinin sağlanmasında yeterli olmamaktadır. Bu nedenle, hassas yaklaşma ve iniş operasyonları için destek sistemleri kullanılarak GNSS bilgisinin düzeltilmesi, hata miktarlarının azaltılması ve performans gereksinimlerinin karşılanması sağlanabilmektedir.

Bu amaçla, temel olarak DGNSS (Differential Global Navigation Satellite System) kullanılmaktadır. DGNSS'te, konumu bilinen referans veya kontrol alıcıları kullanılarak GNSS hataları ölçülmekte ve düzeltme bilgisi kapsama alanı dâhilindeki kullanıcılara (ör: İHA'lar) ulaştırılmaktadır [Sabatini ve Palmerini, 2008]. (Şekil 1)



Şekil 1: DGNSS Sistem Mimarisi [Raines, 2010]

DGNSS temeline dayanan ve hava araçlarının ilgili operasyonları için gerekli düzeltmeleri sağlayan iki temel destek sistemi bulunmaktadır; Yer Tabanlı Destek Sistemi (YTDS) ve Uydu Tabanlı Destek Sistemi (UTDS). Bu sistemlere yönelik dünyada gerçekleştirilen çalışmaların ana hatlarına ilişkin yol haritası aşağıda yer almakta (Şekil 2), bu sistemlere ait genel bilgiler ilerideki başlıklarda verilmektedir.



Şekil 2: Dünya'daki YTDS ve UTDS Çalışmalarına Ait Yol Haritası

SİSTEMLERE YÖNELİK TEKNİK BİLGİLER

Uydu Tabanlı Destek Sistemi

UTDS, GNSS hata kaynaklarına yönelik olarak diferansiyel düzeltme ve bütünlük bilgilerinin oluşturulmasını ve bu bilgilerin aktarıcı görevi yürüten uydular aracılığıyla kapsama alanı içerisindeki kullanıcılara ulaştırılmasını sağlamaktadır. UTDS, tüm uçuş aşamalarında kullanıcılara destek sunmaktadır. Son yaklaşma ve iniş aşamalarında hassasiyet, bütünlük, hazır olma durumu ve güvenilirlik parametrelerinde iyileştirmeler sağlayarak APV-I ve II seviyesinde yaklaşma ve iniş prosedürlerini mümkün kılmaktadır. UTDS sistemine ilişkin mimari aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3).



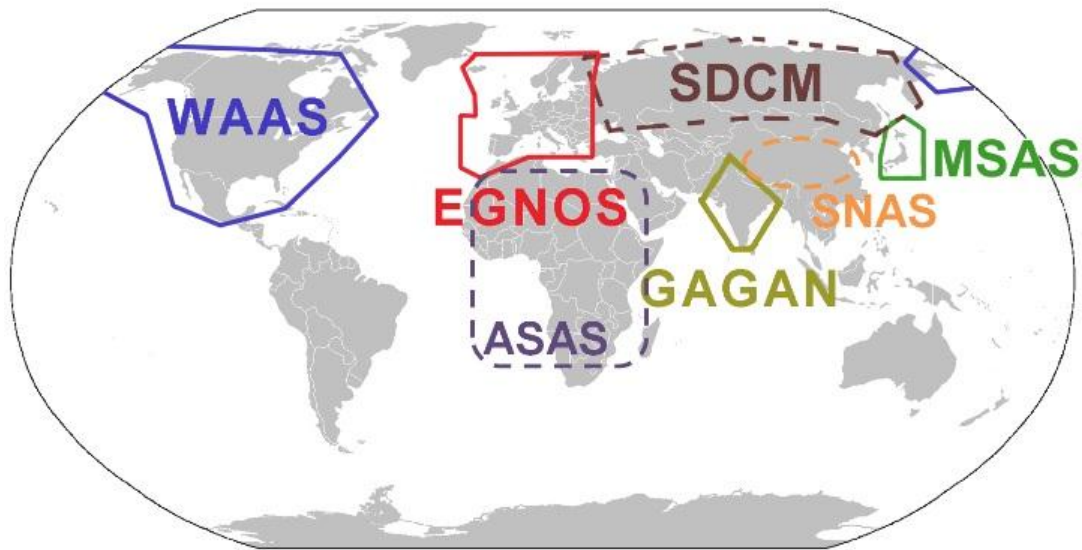
Şekil 3: UTDS Taslak Sistem Mimarisi

Mevcut yaklaşma sistemleri ile kıyaslandığında UTDS'nin sağladığı avantajlar aşağıda listelenmiştir;

- Geniş Kapsama Alanı,
- Düşük Bakım ve İdame Maliyetleri,
- Tüm Uçuş Fazlarında Kullanım,
- Esnek Yaklaşma ve İniş Rotaları,
- Verimlilik ve Maliyet Etkinlik,
- Çevresel Şartlardan Bağımsız Çalışma,
- Geniş Kullanım Alanı.

Dünya'da UTDS Kullanımı

Günümüzde sivil havacılıkta kullanılmakta olan WAAS (ABD), EGNOS (AB), MSAS (Japonya), GAGAN (Hindistan) ve geliştirilme aşamasında olan SDCM (Rusya), SNAS (Çin) ve ASAS (Afrika) sistemlerinin kapsama alanları aşağıda gösterilmiştir. (Şekil 4)



Şekil 4: Dünya'da UTDS ve Kapsama Alanları (Düz çizgi: operasyonel, Kesikli çizgi: geliştirilme aşaması)

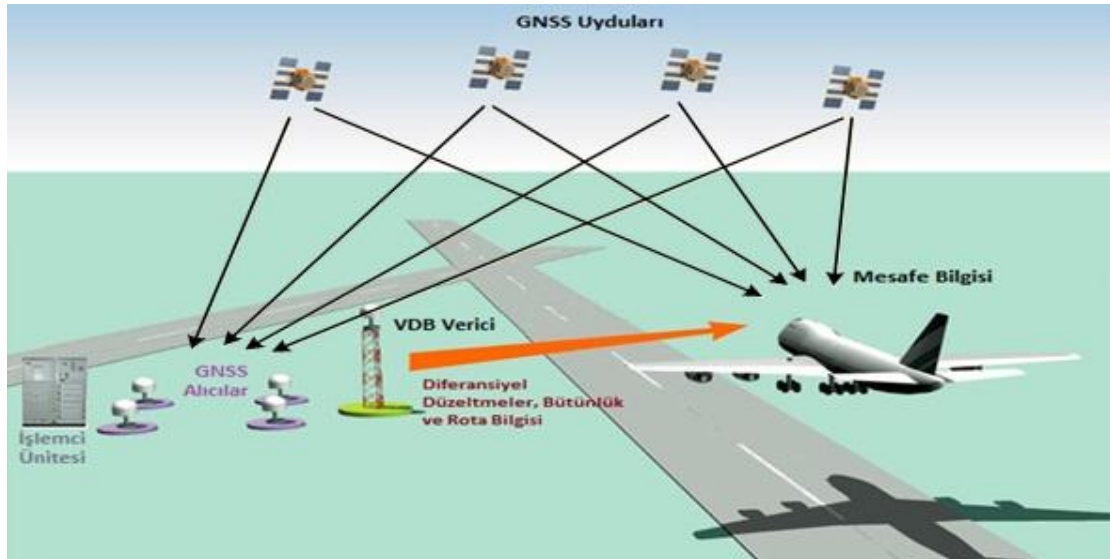
Diğer UTDS Kullanım Alanları

Dünya’da UTDS’ye yönelik yaklaşma ve iniş operasyonları haricinde kullanım alanları aşağıda belirtilmektedir.

- Askeri Uygulamalar,
- Tarım,
- Yapı ve İnşaat Uygulamaları,
- Kara Taşımacılığı,
- Denizcilik,
- Demiryolu,
- Zaman Standardı,
- Diğer Sivil Uygulamalar.

Yer Tabanlı Destek Sistemi

Yer Tabanlı Destek Sistemi (YTDS), yer istasyonu tarafından oluşturulan yüksek hassasiyetteki diferansiyel GNSS düzeltme bilgileri ile bütünlük bilgilerinin yer kesiminde bulunan radyo veri bağları ile kapsama alanı (yaklaşık 40 km-23 NM) içerisindeki kullanıcılara ulaştırılmasını sağlamaktadır. YTDS taslak sistem mimarisi aşağıda verilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5: YTDS Taslak Sistem Mimarisi [ENRI, 2014]

Mevcut hassas yaklaşma sistemleri ile kıyaslandığında YTDS'nin sağladığı avantajlar aşağıdaki şekilde belirtilebilir;

- Tüm Pistlere Hizmet,
- Tüm Hava Araçlarına Hizmet,
- Birden Fazla Hava Meydanına Hizmet,
- Düşük Kurulum Maliyeti,
- Düşük Bakım ve İdame Maliyeti,

- Pilotlar İçin Düşük Eğitim Maliyeti,
 - Çevresel Kısıtlardan Etkilenmemesi,
 - Esnek Teker Koyma Noktası,
 - Esnek Yaklaşma ve İniş Rotaları,
 - Esnek Hava Trafik Yönetimi,
 - Diğer Hava Araçlarından Etkilenmeyen Sistem Mimarisi.
- YTDS çalışmaları doğrultusunda YTDS kurulumu olan ve yakın gelecekte sistem kurulumu planlanan havaalanları aşağıda gösterilmektedir (Şekil 6)



Şekil 6: Dünya'da Operasyonel Olarak Kullanılan YTDS Sistemleri

UTDS ve YTDS'nin Askeri Kullanımda Sağladıkları Operasyonel Avantajlar

Askeri ve sivil yaklaşma iniş uygulamaları doğrultusunda UTYS ile desteklenmesi öngörülen temel görevler aşağıda belirtilmektedir [Murphy ve Imrich, 2008]:

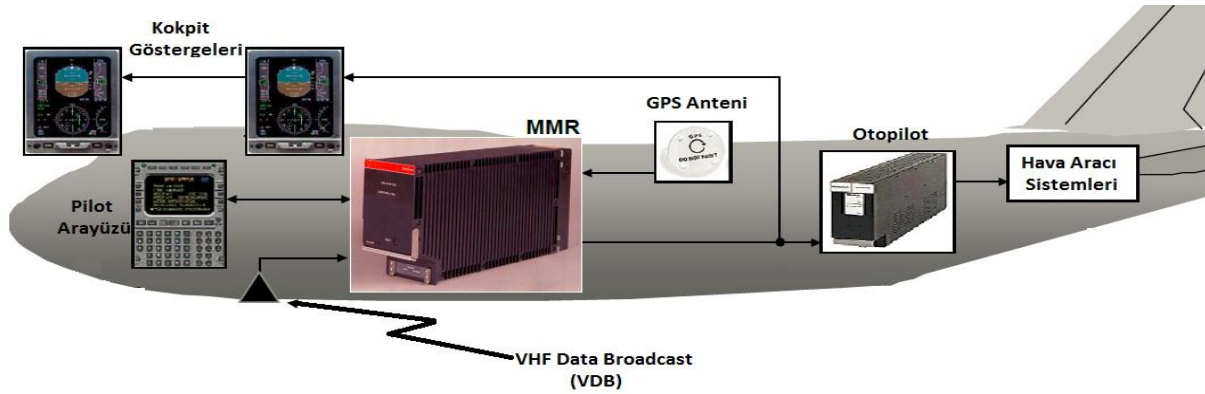
- Esnek yaklaşma gerektiren operasyon koşulları,
- UTYS kullanımı olan NATO havaalanlarına gerçekleştirilecek inişler,
- İniş destek sistemi veya iniş için gerekli işaretlerin, koşulların bulunmadığı (helikopter iniş alanı, arazi, vb.) operasyonlar,
- İnsansız hava araçlarının gerçekleştireceği otomatik inişler,
- Diğer yaklaşma ve iniş sistemlerinin yetersiz kaldığı hava koşullarında gerçekleştirilecek inişler,
- UTYS kullanımına başlanmış ulusal/uluslararası sivil havaalanlarına gerçekleştirilecek inişler.

Yukarıda belirtilen yaklaşma ve iniş desteğine ilişkin görevlere ek olarak UTYS sistemleri askeri alanda hassas konumlama ve bütünlük ihtiyacı bulunan aşağıda listelenen diğer uygulamalarda da çözümler sunmaktadır:

- Kara, deniz ve hava platformlarının hassas seyrüseferi,
- Füze güdümü, hedef bulma,
- Arama kurtarma operasyonları,
- Havadan malzeme ve personel atma operasyonları,
- Havada yakıt ikmali, vb.

UTDS/YTDS Hava Aracı Kesimi

UTDS/YTDS Hava Aracı Kesimi, yer kesimi vericilerinden yayınlanan düzeltme/bütünlük bilgilerini ve kendi GNSS sinyal ölçümlerini kullanarak hava aracının düzeltilmiş pozisyonunun, bu pozisyonun yerden gönderilmiş olan yaklaşma rotası ile kıyaslanması sonucu ortaya çıkan yatay ve dikey sapmaları hesaplayan aviyonik birimlerden oluşmaktadır. ILS, MLS, GBAS ve olası olarak SBAS tabanlı hassas yaklaşma operasyonlarını mümkün kılan hava aracı için Çok Modlu Alıcı (Multi Mode Receiver-MMR) da uluslararası standartlara uygun olarak geliştirilmektedir. Askeri operasyonlar kapsamında kullanılacak olan UTDS/YTDS hava aracı kesimi, sivil UTDS/YTDS hava aracı kesimi ile benzer şekilde çalışmaktadır. Hava aracında bulunan çok modlu alıcı vasıtasıyla GNSS uydularından gelen PPS (P(Y) code) sinyalleri ve yer kesiminden kriptolu olarak gönderilen bilgiler kullanılarak gerekli hesaplamalar gerçekleştirilmektedir. (Şekil 7)



Şekil 7: UTDS/YTDS Hava Aracı Kesimi Mimarisi [Raines, 2010]

İLERİ TEKNOLOJİLERİN KULLANILDIĞI YAKLAŞMA TÜRLERİ

Askeri ve sivil havacılıkta kullanılan yaklaşma türleri, genel anlamda Yaklaşma, APV ve Hassas Yaklaşma olarak üç başlıkta incelenmektedir (Şekil 8).

Yaklaşma (Non Precision Approach)

Dikey yönlendirme sağlayamamaktadır. Geleneksel olarak VOR, NDB, vb sistemleri kullanılırken, yatay yönlendirmenin gerçekleştirildiği LNAV ve LP prosedürleri de mevcuttur.

LNAV (Lateral Navigation): Yatay yönlendirme için GNSS ve/veya UTDS (SBAS) kullanılmaktadır.

LP (Localizer Performance): Yatay yönlendirme için UTDS kullanılmakla beraber bu sayede, daha küçük konum hataları ve açisal yönlendirme elde edilebilmekte ve hava aracı piste yaklaştıkça yatay hassasiyet artmaktadır. Dikey yönlendirme için barometrik altimetre kullanılmaktadır.

APV (Approach with Vertical Guidance)

Yatay ve dikey yönlendirmenin yapıldığı ancak hassas yaklaşma ve iniş için gerekli parametrelerin sağlanamadığı yaklaşımlardır. Hassas yaklaşma ile benzer teknikler kullanıldığı için normal yaklaşımlara kıyasla daha gelişmiş güvenlik sağlamaktadır. Aynı zamanda ILS glide-path kullanılmadığı durumlarda yedek sistem görevi görmektedir.

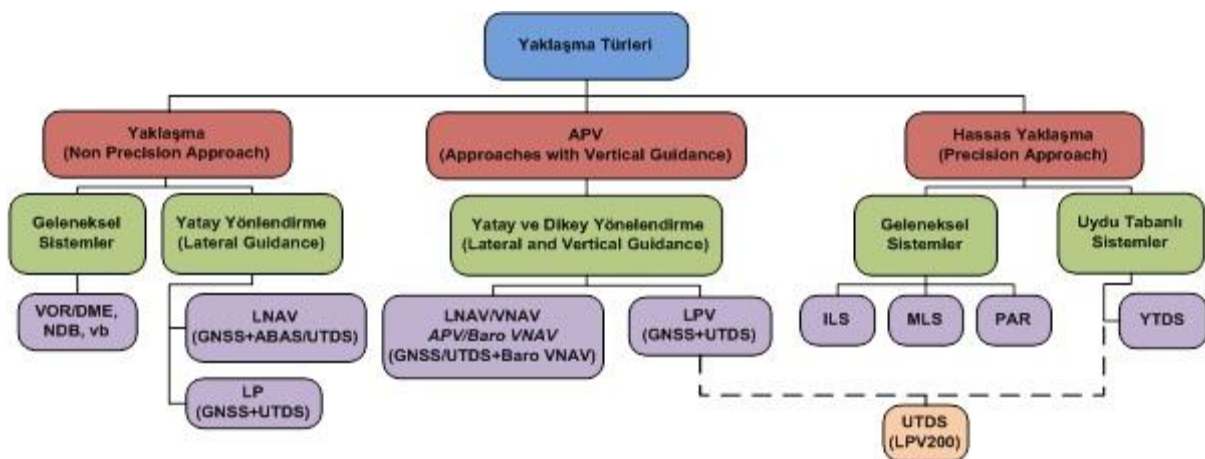
LNAV/VNAV (Lateral Navigation / Vertical Navigation): Yatay yönlendirme GNSS ve/veya UTDS aracılığıyla sağlanırken, dikey yönlendirme ya barometrik altimetre ya da UTDS aracılığı ile sağlanmaktadır.

LPV (Localizer Performance with Vertical Guidance): Yatay ve dikey yönlendirme için UTDS kullanılmaktadır ve sadece UTDS özelliği taşıyan alıcılar ile gerçekleştirilebilmektedir.

Hassas Yaklaşma (Precision Approach)

Yatay ve dikey yönlendirmenin hassas olarak ve operasyon kategorisine göre belirlenmiş olan minimum değerler doğrultusunda gerçekleştirildiği yaklaşımlardır. Yatay ve dikey hassas yaklaşma, on-board seyrüsefer bilgilerinin pilot tarafından kullanılması veya radar ekranından elde edilen bilgilerin kontrolör tarafından telsiz muhaberesi ile pilota aktarılmasıyla gerçekleştirilir. Hassas yaklaşma prosedürlerinde geçerli olan minimum değerler aşağıda gösterilmektedir (Tablo 2).

Hassas yaklaşma için ILS, MLS ve PAR gibi geleneksel sistemler ile YTDS ve UTDS gibi uydu tabanlı sistemler kullanılmaktadır. UTDS kullanılarak gerçekleştirilen LPV200 prosedürleri ile ILS CAT-I seviyesi yaklaşımlarda elde edilen minimum limit değerlere yakın değerler elde etmek mümkündür. Bu nedenle LPV200 yaklaşımları, APV ve hassas yaklaşma arasında yer alan ve "ILS CAT-I benzeri" bir yaklaşma çeşidi olarak değerlendirilebilir. Hassas yaklaşma için YTDS kullanılması durumunda ise CAT-I, CAT-II ve CAT-III seviyesi yaklaşma ve iniş gerçekleştirilmesi mümkündür. Günümüzdeki YTDS sistemleri ile CAT-I seviyesi prosedürler uygulanabilmekte ve CAT-II/CAT-III seviyesi prosedürlerin uygulanabilmesi için çalışmalar devam etmektedir.



Şekil 8: Yaklaşma Kategorileri

Tablo 2: Yaklaşma Kategorilerine Göre Karar Yükseklikleri ve Görsel Gereklere [ICAO, 2008]

Kategori		Asgari Alçalma İrtifası (MDA) Karar İrtifası (DA) Karar Yüksekliği (DH)	Görsel Gereklere (RVR)	Hassasiyet Yatay %95	Hassasiyet Dikey %95	Uyarı zamanı (Time to alert)	
NPA		MDA \geq 350 ft	Hava meydanı ekipmanlarına bağlıdır	220 m (720 ft)	Uygulanabilir Değil	10 s	
APV		DA \geq 250 ft		16.0 m (52 ft)	20m (66 ft)	10 s	
LPV200		DH \geq 60 m (200ft)		16.0 m (52 ft)	8.0m (26 ft)	6 s	
Hassas Yaklaşma	CAT-I	DH \geq 60 m (200ft)	Görüş \geq 800m veya RVR \geq 550m	16.0 m (52 ft)	6.0m to 4.0m (20ft to 13 ft)	6 s	
	CAT-II	30 m (100ft) \leq DH \leq 60 m (200ft)	RVR \geq 300 m	5 m (\approx 16 ft)	2.9m (\approx 9 ft)	2 s	
	CAT-III	A	0 m \leq DH \leq 30 m (100ft)	RVR \geq 175m	5 m (\approx 16 ft)	2.9 m (\approx 9 ft)	2 s
		B	0 m \leq DH \leq 15 m (50ft)	50 m \leq RVR \leq 175 m			
C		DH = 0 m	RVR = 0 m				

İHA'LARDA UTDS/YTDS KULLANIMI VE OTOMATİK KALKIŞ VE İNİŞ DESTEĞİ

Türkiye'de İHA geliştirilmesi ve Türk Silahlı Kuvvetleri (TSK) envanterine girmesi yönünde çalışmalar, dünyadaki gelişmelere paralel olarak 1980' li yılların sonunda başlamıştır. TSK envanterine gerçek anlamda giren ilk İHA sistemi, General Atomics / ABD firması üretimi GNAT-750'dir.

1990'lı yıllarda başlatılan yerli İHA üretim çalışmaları, son dönemde daha da yoğunlaşmıştır. Özellikle 2004 sonrasında gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde, ülkemizde İHA sistemleri konusunda faaliyet gösteren geniş bir sanayi altyapısı oluşmaya başlamıştır. Hâlihazırda yürütülmekte olan ve yakın zamanda başlatılması planlanan İHA projeleriyle bu altyapının daha da kuvvetlendirilmesi ve genişletilmesi planlanmaktadır.

Bu kapsamda milli İHA'ların envantere girmesi sürecinde bu İHA'lara otomatik kalkış ve iniş desteği sağlayacak milli yaklaşma iniş sistemlerinin geliştirilmesi de önem arz etmektedir.

İHA Sistem konfigürasyonu;

- Platform,
- Faydalı yük (Payloads),
- Haberleşme ve veri link sistemleri ile
- Yer sistemlerinden (Ground Systems) meydana gelmektedir.

Yer Sistemleri kapsamında;

- Yer Kontrol İstasyonu (GCS),
- Otomatik kalkış ve iniş sistemi (ATOLS) ve
- Embedded Trainer başlıkları altında sıralanmaktadır.

İHA'ların güvenli kalkış ve inişlerinde büyük önem arz eden ATOLS birimlerinde yedekli mimari kullanılmaktadır. Öncelikli ATOLS sistemi olarak RF tabanlı DGPS mevcut olup,

DGPS'in yedeği olarak lazer tabanlı veya radar tabanlı sistemlerle İHA'nın konum bilgisini yerden İHA'lara aktararak İHA'ları yönlendiren iniş kalkış sistemleri yer alabilmektedir.

ATOLS birimleri referans istasyonun aldığı GNSS sinyallerini düzelterek, hassas konum bilgisini İHA'ya öncelikle RF, yedek olarak lazer link ile aktarmaktadır. İHA uçuş kontrol bilgisayarı düzeltilmiş GNSS konum bilgisine uygun olarak İHA'nın hareketli yüzeylerini kontrol etmekte ve hava seyriyefer yönlendirmesini gerçekleştirmektedir.

Milli geliştirilecek UTDS ve YTDS algoritma ve birimlerimizin, milli İHA'larımızın geliştirme ve tedarik sürecinde aşağıdaki gösterilen (Şekil 9) otomatik iniş kalkışı mümkün hale getirmesi hedeflenmektedir.



Şekil 9: ANKA İHA Otomatik İnişi

OPERASYONEL KULLANIMI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Havacılık sektörü gibi güvenliğin yüksek önem taşıdığı alanlarda ve hayati önem arz eden operasyonlarda, UTDS ve YTDS gibi GNSS tabanlı sistemlerin kullanımı esnasında GNSS sinyallerinin sağlıklı ve sürekli bir şekilde kullanılabilmesi büyük önem arz etmektedir. GNSS sinyallerinin sürekliliği ve/veya kalitesini ve dolayısıyla UTDS ve YTDS'nin operasyonel kullanımını etkileyen faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

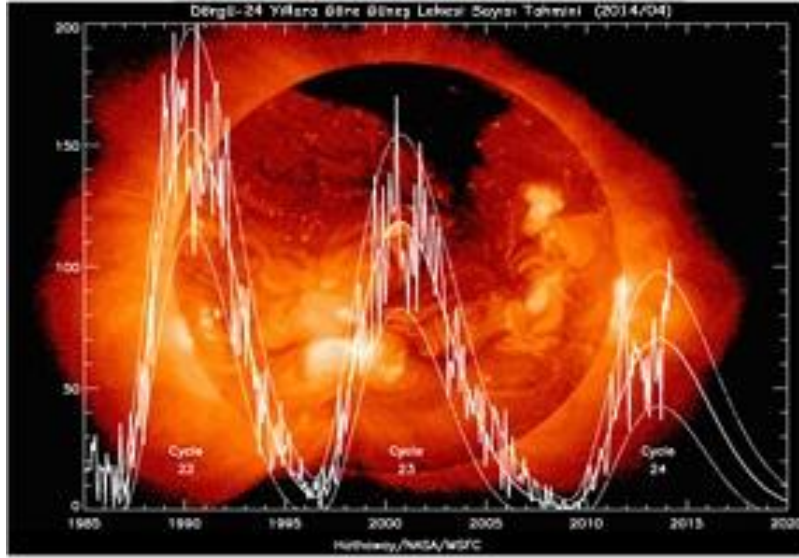
GNSS Uydu Performansı

GNSS uydularını kontrol eden yer istasyonlarındaki GNSS hata kaynaklarından (multipath, zaman ve frekans referans hataları, kalibrasyon farkları, vb), insan hataları ve sistem arızalarından dolayı uyduların yeterli performansı sağlayamaması GNSS sinyal kalitesini etkileyebilmektedir. Benzer şekilde, uydu kümelerinin idamesini yapacak gerekli kaynakların bulunamaması, fırlatma hataları veya uydu kaybedilmesi sebebiyle gerekli uydu sayısının sağlanamaması da uydu sinyal performansının bozulmasına ve hatta uydu kapsamının yeterli olmaması nedeniyle sinyal kaybına neden olabilmektedir.

Atmosferik Hava Şartları

Atmosferik etkiler, GNSS sinyallerinin sürekliliği ve kalitesi üzerinde etkisi olan etkenlerin başında gelmektedir. Atmosferik su buharının %99'unu barındıran troposferdeki gaz yoğunluğu ve güneşten gelen radyasyon sebebi ile serbest kalan elektronları barındıran iyonosferdeki elektron yoğunluğu nedeniyle bu katmanlardan geçen GNSS sinyalleri

kırılmakta ve GNSS konumlama hassasiyeti etkilenmektedir. İyonosferdeki elektron yoğunluğunun düzensiz dağılım gösterdiği alanlarda ise GNSS sinyallerinde meydana gelen dalgalanmalar nedeniyle sinyallerde ciddi ölçüde azalma ve hatta tamamen kaybolma meydana gelebilmektedir. Güneşten gelen radyasyon miktarında ve buna bağlı olarak iyonosferdeki elektron yoğunluğunda meydana gelen periyodik değişimler güneş aktivitesine bağlı olup bu periyodik değişimler, “güneş döngüsü” (solar cycle) olarak adlandırılmaktadır. Ortalama 11 yıllık bir süreye sahip olan güneş döngüleri, bu dönemlerde güneş üzerinde meydana gelen “güneş lekeleri” (sun spots) oluşumları izlenerek takip edilebilmektedir. Döngü 24’e ve daha önce gerçekleşmiş olan iki döngüye ait güneş lekeleri sayıları aşağıda verilmektedir (Şekil 10).



Şekil 10: Döngülere Göre ve Döngü 24'e Ait Güneş Lekesi Sayısı Tahmini [NASA, 2014]

Sinyal Etkileşimleri

GNSS sinyallerinin gücü alıcılara ulaştığında çok düşük seviyede olduğu için sinyal gücü daha yüksek olan ve GNSS sinyalleri ile aynı frekansı kullanan diğer sinyaller, GNSS sinyallerini kolaylıkla baskılayabilmektedir. GNSS sinyalleri ile aynı frekansta çalışan herhangi bir elektromanyetik ortamın etkileşime neden olması veya etkileşim amacı ile kullanılma ihtimali bulunmaktadır. Uydu iletişim ekipmanlarından kaynaklı parazit yayınlar, portatif elektronik ekipmanlar (örn; cep telefonları vb), GNSS frekansı dışında çalışması gereken elektronik ekipmanlardaki arızalar sonucu GNSS frekans çakışması gibi kaynaklar nedeniyle kasıtlı olmayan etkileşimler meydana gelebilmekte, GNSS sinyallerinin kullanımının engellenmesi amacıyla kasıtlı olarak müdahale edilmesi durumunda ise GNSS sinyalleri karıştırılabilmekte ve/veya aldatılabilmektedir. Karıştırma, belirli bir coğrafi alan içerisindeki GNSS sinyallerinin kullanılamaması veya bu sinyallerin hassasiyetinin azaltılması amacıyla yüksek güçte ve belirli özelliklere sahip sinyaller yayan cihazlar (GPS karıştırıcılar, vb) kullanılmasıdır.

Bir diğer kasıtlı etkileşim türü olan aldatma ise, alıcı tarafından kullanılan gerçek GNSS sinyalinin yerine geçerek alıcının zaman ve/veya konum bilgilerini manipüle etme amacı taşıyan sahte GNSS sinyallerinin kasıtlı olarak yayınlanması veya belirli bölgelerde GNSS sinyal kalitesinin bilinçli olarak azaltılmasıdır.

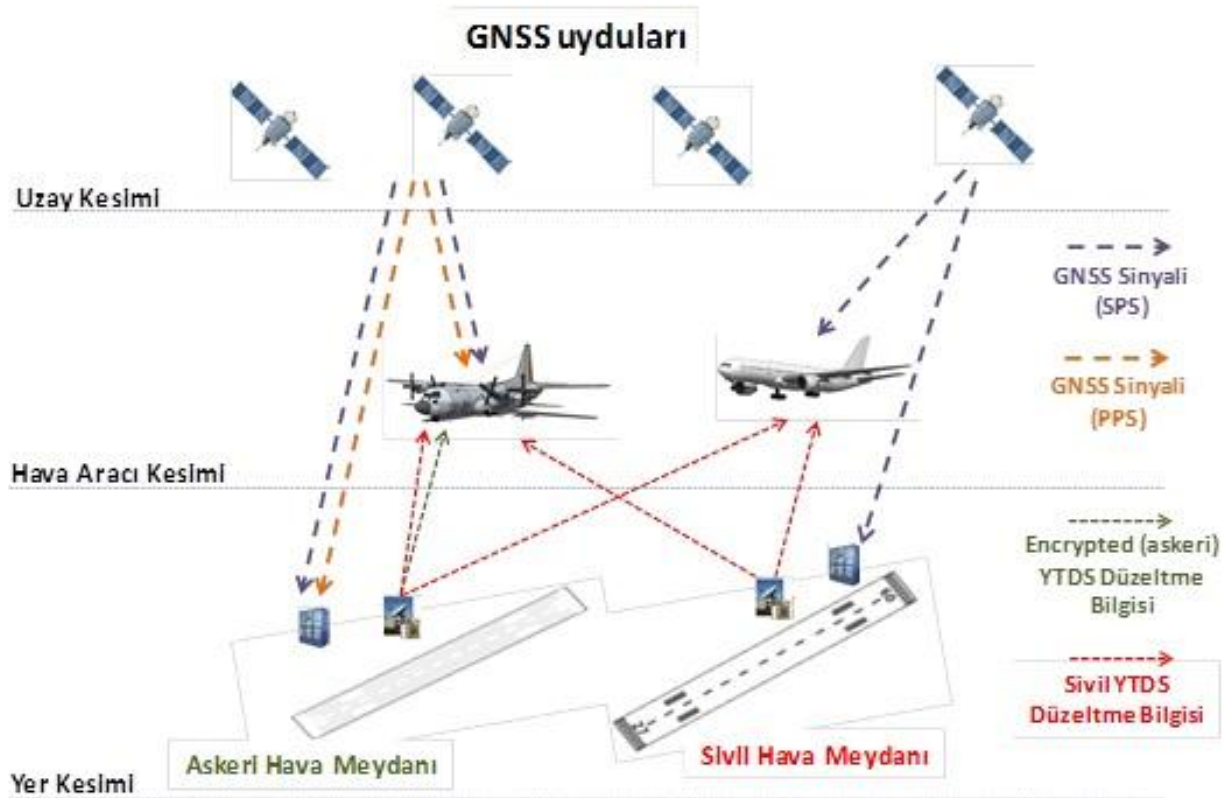
Çevresel Faktörler: UTDS ve YTDS gibi GNSS tabanlı sistemlerin kullanımı esnasında dikkat edilmesi gereken en önemli çevresel etki, GNSS sinyallerinin binalar, vadiler vb fiziksel yapılar nedeniyle engellenebilmesi veya bu yapılar üzerinden yansıyarak (multipath) sinyal

alıcı birimlere ulaşmasıdır. Bu engellenmenin önüne geçmek amacıyla, istasyon ve anten yerleşimlerinin dikkatli yapılması, alıcı birimlerde çoklu kanal ve gelişmiş yazılım çözümlerinin kullanılması ile hata miktarlarının en aza indirilmesi gibi çözümler uygulanabilmektedir.

ASKERİ VE SİVİL YAKLAŞMA İNİŞ SİSTEMLERİNİN BİRLİKTE ÇALIŞABİLİRLİĞİ

YTDS sistemleri günümüzde sivil havacılıkta CAT-I seviyesi hassas yaklaşma ve iniş desteği sağlamaktadır. Askeri ve sivil ortak amaçlı olarak kullanılmakta olan havaalanlarında kurulması planlanan YTDS sistemlerinin hem askeri hem de sivil kullanıcılara hizmet verecek şekilde geliştirilmesi önem arz etmektedir. BÇ konsepti sisteme ilave maliyet ve karmaşıklık getirecek olmasına rağmen yer kesimi ve hava aracı kesimlerinde askeri ve sivil kullanım kabiliyeti kazanımı, üst seviyede verimlilik ve harekât kabiliyeti kazandıracaktır.

Askeri ve sivil çoklu kullanım çerçevesinde, hava araçlarında yer alacak aviyonik birimlerin, askeri platformlar için sivil ve askeri kullanıma, sivil platformlar için ise sivil kullanıma yönelik sinyal yapısını desteklemesi mümkün olmalıdır. Askeri platformlar sivil kullanıma yönelik olan SPS (Standard Positioning Service), askeri kullanıma yönelik olarak ise PPS (Precise Positioning Service) GNSS sinyallerini ve bunlara ilişkin düzeltme bilgilerini, sivil platformlar ise SPS ve SPS'e yönelik düzeltme bilgilerini kullanabilmelidir [Sabatini ve Palmerini, 2008]. Buna paralel olarak, sivil hava meydanlarındaki YTDS altyapısının sivil kullanıcılara yönelik operasyonları, askeri hava meydanlarındaki YTDS altyapısının ise hem askeri, hem de sivil operasyonları desteklemesi gerekmektedir. Buna ilişkin detaylı açıklama aşağıda gösterilmektedir. (Şekil 11)



SONUÇ

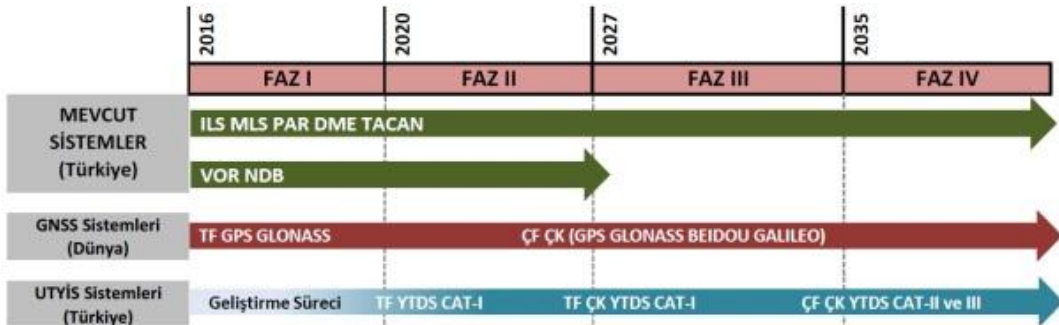
Havacılık sektöründeki gelişmeler sonucunda yaşanan hava trafiğindeki büyüme, operasyonel ihtiyaçların artması ve seyrüsefer altyapılarına yönelik yüksek idame maliyetleri nedeniyle günümüzde yaygın olarak kullanılan ILS, MLS, PAR, VOR, DME, TACAN, vb. sistemler yerlerini operasyonel verimlilik arz eden maliyet etkin çözümlere bırakacaktır.

GNSS ve UTYS tabanlı sistemler bu geçiş sürecine yönelik anahtar kritik teknoloji alanları olarak ortaya çıkmaktadır. UTDS ve YTDS sistemlerinin mevcut yaklaşma, iniş ve seyrüsefer destek sistemlerinin yerine birincil sistem olarak yer alması uzun bir süreci kapsamakla birlikte, orta vadede “back-up” olarak, uzun vadede ise çoklu uydu kümesi ve çoklu frekans kullanımı sonucunda yüksek performans ihtiyaçlarının sağlanması ile birincil sistem olarak kullanılacağı değerlendirilmektedir.

Dünya’da UTDS ve YTDS sistemlerine yönelik yaşanan gelişmeler, gelinen nokta ve geçiş süreci göz önünde bulundurulduğunda, ülkemizin hem kullanıcı hem de üretici tarafında potansiyel paydaş konumunda olduğu ve gerçekleştirilecek orta ve uzun vadeli planlamalar ile fırsatların değerlendirilebileceği öngörülmektedir. Dünya’da mevcut sistemler ve UTYS sistemleri operasyonel kullanım planına yönelik taslak yol haritası aşağıda gösterilmektedir (Şekil 12).

NATO mobil ve sabit yaklaşma iniş sistemlerini halen çeşitli bölgelerde kullanmakta olup UTDS ve YTDS sistemlerinin kullanımına yönelik çalışmalar devam etmektedir. NATO’nun kullandığı PAR sistemlerinin, hava trafik kontrolörlerine bağımlı sistemler olması ve sivil havacılıkta bu sistemlerin yaygın olarak kullanılmaması sebebiyle STANAG 4533 kapsamında YTDS sistemlerinin orta ve uzun vadede bu sistemlerin yerini alacağı öngörülmektedir [NATO, 2005]. Seyrüsefer hizmetlerinde ise sivil amaçlı geliştirilen sistemlerden faydalanılmaya devam edileceği öngörülmekte ve bu süreçte çoklu frekans ve çoklu uydu kümelerinin yaygınlaşması sonucunda UTDS ve YTDS sistemlerinin kullanımının artması mümkün olacaktır.

NATO’nun yaklaşma iniş yol haritasında, bir süre daha standart olarak PAR ve ILS sistemlerinin kullanılması ve bu süreçte uydu tabanlı yaklaşma iniş sistemlerinin sivil ve askeri sertifikasyon süreçlerinin tamamlanması hedeflenmektedir. NATO’nun orta vadede yedek sistem olarak UTDS/YTDS kullanımını artırması, uzun vadede ise çoklu frekans çoklu uydu kümesi konumlandırma sistemlerinin yaygınlaşması sonucunda UTDS ve YTDS sistemlerini birincil sistem olarak kullanabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 12: Mevcut Sistemler ve UTYS'e Yönelik Taslak Yol Haritası

KAYNAKLAR

Ataş, S. 2012. Savunma Sanayii Müsteşarlığı, Uzmanlık Tezi.

Ataş, S. Çiftçiabaşı, M.E., 2014. *Geleceğin Yaklaşma İniş Sistemleri*, Savunma Teknolojileri Konferansı SAVTEK 2014, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 25-27 Haziran.

Ataş, S., Çiftçiabaşı M.E., Kılınç M., Koç O., Altın D., Özdemir B.G., Yeşilyurt A., 2014. *Yaklaşma İniş Sistemlerinde İleri Teknolojiler*, Havacılıkta İleri Teknolojiler Konferansı HİTEK 2014, Hava Harp Okulu Komutanlığı, 18-19 Haziran.

ENRI Electronic Navigation Research Institute, 2014. *A study of safety design and its validation for CAT-III GBAS (GAST-D)*, <http://www.enri.go.jp/eng/research/kenkyu/M-11-03.htm>.

ICAO Annex 6 Part II 7th Edition, 2008. *ICAO International Standards and Recommended Practices, Operation of Aircraft*.

Murphy, T., Imrich, T., 2008. *Implementation and Operational Use of Ground-Based Augmentation Systems (GBASs) - A Component of the Future Air Traffic Management System*, IEEE Proceedings, Vol. 96, No.12, 1936-1958.

NASA Marshall Space Flight Center, 2014. *Solar Cycle Prediction*, <http://solarscience.msfc.nasa.gov/predict.shtml>.

NATO Aerospace Capability Group 5 v2.0, 2011. *Approach and Landing System Joint Working Group Report on NATO GNSS PALS Standard*.

NATO STANAG 4533 Ed.1 Ratification Draft 1, 2005. *NATO Precision Approach and Landing Systems (PALS) Transition Strategy*.

Raines, P., 2010. *A New Era in Precision Navigation*, International Conference on Active Noise Abatement, Frankfurt, 23-24 Eylül.

Sabatini, R., Palmerini G. B., 2008. *Differential Global Positioning System (DGPS) for Flight Testing*, NATO RTO AG-160, Vol. 21, SCI-135.