

RADYO DALGALARI İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

GİRİŞ

Hava taşımacılığının askeri ve sivil amaçlar doğrultusunda gelişimi ile birlikte hava koşullarından bağımsız uçuş güvenliğini sağlayıcı sistemlerin kurulması gereksinimi doğdu. Bu gereksinimi karşılamak amacıyla uçak içerisinde uçuş yolları boyunca yerde ve havaalanlarında radyo dalgalarının özelliklerini kullanan elektronik sistemler kurulmaya başlandı. Gelişmekte olan havacılık ve elektronik teknolojisi ihtiyaçlar doğrultusunda birleşerek havacılık elektroniğinin temelleri atılmış oldu. Radyonun haberleşme amaçlı uçağın içine yerleştirilmesi ilk defa 1909 yılında olmuştur. O günlerde hava yer haberleşmesi düşük frekansta çalışan radyo telegraphy ile sağlanıyordu. 1930'larda yerini radyo telefona bıraktı. 2. Dünya Savaşı öncesi haberleşmede alçak ve yüksek frekans bantları kullanılıyordu. Uçaklar yüksek frekansla sinyal gönderiyordu. Yer istasyonları ise düşük frekansta yanıt veriyordu. Uzun mesafeli iletişimlerde yer istasyonları da yüksek frekansta sinyal gönderiyordu. DALGA NEDİR? Bir ipi ele alalım bir taraftan ipi titreştirdiğimizde diğer taraftaki kişi bunu algılar yani enerji aktarılır. Titreşim hareketiyle madde aktarımı olmadan enerjiyi bir yerden başka bir yere ileten şekil değişikliklerine dalga denir. Dalga hareketinde aktarılan yalnız enerjidir. Madde aktarımı ya da ortamın ilerlemesi söz konusu olmaz. Bu nedenle göldeki ördek ilerlemez, olduğu yerde yukarı-aşağı hareket eder.

DALGALARIN SINIFLANDIRILMASI

1) Titreşim Doğrultularına Göre • Enine Dalgalar: Deprem, yay, su, elektromanyetik dalgalar. • Boyuna Dalgalar: Ses, deprem, yay, su dalgaları. 2) Taşıdıkları Enerjiye Göre • Mekanik Dalgalar: Deprem, yay, su ve ses dalgaları. • Elektromanyetik Dalgalar: Işık, radyo dalgaları, mikrodalga, kızılötesi ışık, morötesi ışık, X - ışınları, gama ışınları. Dalga Boyu Dalganın ardışık iki tepe noktası ya da ardışık iki çukur noktası arasındaki uzaklığa dalga boyu denir λ ile gösterilir. Aynı ortamda oluşturulan dalgaların dalga boyu, dalgayı üreten kaynağa göre değişir. Ancak aynı dalga başka bir ortama geçtiği zaman dalga boyu değişir. Periyot Dalgalar yayılırken bir sonraki dalga bir öncekinin yerine geçmesi için belli bir süre geçer. Bu süre kaynağa bağlıdır. Dalga üzerindeki herhangi bir noktanın bir tam titreşim yapması için geçen süreye periyot denir ve T ile gösterilir. Periyot birimi saniyedir. Frekans Frekans birim zamanda dalga kaynağının oluşturduğu dalga sayısına frekans denir, f ile gösterilir. Birimi s-1' dir. s-1 aynı zamanda hertze eşittir. Bazı hareketlerin frekansları çok yüksek olabilir. Örneğin bir sinek saniyede yaklaşık 600 kez, bir arı ise saniyede yaklaşık 400 kez kanat çırpır. Periyot ile frekans birbiri ile ilişkili iki niceliktir. Periyot ile frekans arasında: $T \cdot f = 1$ bağıntısı bulunmaktadır. Mekanik dalgalar Yayılmaları için mutlaka bir madde ortamına ihtiyaç olan dalgalara mekanik dalgalar denir. Su dalgaları, ses dalgaları, deprem dalgaları, yaylarda iplerde oluşturulan dalgalar bazı mekanik dalgalardır. Elektromanyetik dalgalar Yayılmaları için madde ortamı gerekmeyen dalgalara ise elektromanyetik dalgalar denir. Radyo dalgaları, televizyon, cep telefonu sinyalleri, görülebilir ışık ve X ışınları bazı elektromanyetik dalgalardır. **ELEKTROMANYETİK DALGALAR**

İngiliz fizikçi James Maxwell, 1865 yılında seslerin havadan uzak mesafelere ışık hızına yakın hızda (saniyede 300.000 km) yollanmasını sağlayacak elektromanyetik dalgaların diğer adıyla radyo dalgalarının varlığını keşfetmişti. Alman bilim adamı Hertz ise Maxwell'in bu tezini geliştirdi ve deneylerle ispatladı. Bu gelişmelerin ardından bilim camiası sırasıyla X-ışınını, radyo dalgalarını ve gama ışınlarını da bulmayı başardılar. Elektromanyetik Spektrum, elektromanyetik dalgalarını frekans değerlerine göre sıralayan bir gösterim biçimidir. Elektromanyetik dalga, kablosuz iletişimde bilgi taşıyan anlamlı sinyallerin bir frekans kullanılarak uç birimler arasında taşınmasıdır. Bilginin taşınması elektromanyetik (EM) ışınım yoluyla gerçekleşir. EM dalga birbirine dik elektrik ve manyetik bileşene sahip olup boşlukta düz bir çizgi boyunca ışık hızıyla hareket ederler. EM dalganın frekans ve dalga boyu ile ifade edilen iki önemli bileşeni vardır. Frekans ve dalga boyu çarpımı ışık hızını verir. Uzun dalga-düşük frekans, kısa dalga-yüksek frekanstır. Frekans bir sinyalin saniyede kaç defa kendisini tekrarladığıdır. Saniyedeki tekrar sayısı hertz olarak ifade edilir. EM dalgalar frekans aralıklarına (dalga boylarına) göre sınıflandırılır. Dalga Tipleri 1) Yer Dalgaları Yavaş yavaş zayıflayıp tamamen sönüncüye kadar yeryüzü eğrisini takip eden dalgalardır. Yeryüzüne paralel olarak yayılırlar. Yer dalgalarının yayılmalarını etkileyen faktörler: • Toprağın tipi (Toprak ne kadar nemli ise menzil o kadar artar.) • Frekans (Frekans azaldıkça menzil artar.) • Verici gücü (Vericinin gücü ne kadar yüksek ise menzil de o oranda artar.) 2) Gök dalgaları Atmosferin iyonosfer katlarına çarpıp

yansıyarak tekrar yeryüzüne dönen dalgalarıdır. İyonosfer atmosferin en dış katmanıdır ve yerden yaklaşık 70-90 KM arasında bir mesafededir. Bu katmanın yüksekliği sabit olmayıp zamana ve mevsime göre değişkenlik gösterir. Gündüzleri ise geceye göre daha alçak seviyededir. Gök dalgalarının menziline etkileyen faktörler: • İyonosfer katmanının iyonlaşma miktarı ne kadar fazla ise menzil o oranda azalır. Örneğin gündüzleri duyulamayan birçok kanal geceleri duyulabilir, • Vericinin gücü, • 30 MHz'in altındaki frekanslarda gök dalgalarının menzili artar, 30 MHz üzeri frekanslarda ise iyonosferden yansıyamaz ve uzay boşluğuna yayılır, • Verici anteninden gönderilen dalganın yansıyabilmesi için iyonosfere belli bir açı altında gelmesi gereklidir. Büyük açılarda iyonosfer katmanlarına ulaşan gök dalgaları, bu katmanlar tarafından yutulur, • Verici anteni ne kadar yükseğe yerleştirilirse menzil o oranda artar. 3) Optik Dalgalar Doğrusal olan ve iyonosfer tabakasından yansımaksızın iyonosfer tabakasını delip geçerek uzaya ulaşan yüksek frekanslı dalgalarıdır. Frekans değeri 30 MHz'den büyük olan dalgalarıdır. Optik dalgaların alıcılar tarafından alınabilmesi irtifaya bağlıdır.

HAVACILIKTA RADYO FREKANSI TEKNOLOJİSİ UYGULAMALARI

Radyo Frekans dalgaları uçaklar arası ve uçak-yer istasyonu arasındaki haberleşmeyi sağlar. Telsiz iletişimi, uçakların kalkış, uçuş ve iniş durumlarında uçak operasyonlarının ayrılmaz bir parçasıdır. Pilotlar ve yer ekibi kargo yükleme, yakıt durumu, hava taşıtlarının durumu ve park alanı durumu hakkında bilgi alışverişlerini RF dalgaları üzerinden telsizler ile yapar. Hava trafiği kontrolörü iletişim kurmak için belirli bir frekans kullanır. Bagaj takip etiketlerinde bulunan RF teknolojisi, bagaj takip işlemlerinde sağladığı kesinlik ve performans nedeniyle popüler hâle gelmiştir. Entegre devre, veri depolama ve kayıt işlemlerini gerçekleştirir. RFID etiketleri check-in işlemlerinden sonra yolcuların biletlerini iptal etmeleri durumunda bagajlarını takip etmeleri bakımında kolaylık sağlamaktadır. Bakım mühendisleri uçakların bakımlarını yaparken elektronik kayıt işlevi gören RFID etiketleri ile panel hakkında bilgileri veya modülün bakım geçmişi görüntüleyebilmektedir.

Seyrüsefer, havacılıktan önce denizcilikte kullanılan gemilerin bir noktadan diğer bir noktaya gidişine verilen ifadedir. Havacılığın gelişmesi ile birlikte seyrüsefer kelimesi havacılık terimleri içinde yer almıştır. Kelime anlamı olarak bir uçağın kalkış aşamasından iniş aşamasına kadar takip edeceği güvenli ve en kısa yolu ifade eden terim olarak kullanılmaktadır. Daha sonra 1920'lerde aydınlatma yeteneklerinin de gelişmesiyle özellikle posta uçaklarına yardımcı olmak için Amerika'nın belirli yerlerine rotalarını belirten aydınlatma kuleleri kuruldu. Bu sistemin ötekinden pek de bir farkı olmayıp yine pilotun gözlemine bağlı bir sistemdi. Fakat 20'lerin sonunda gelişen anten teknolojisiyle uçaklara pilotun yanı sıra sensör de denilen harici "gözler" takılmaya başlandı. Bu gözler yerdeki, ışık değil ama Radyo dalgalarını saçan kulelerdeki kullanarak yer bulmaya yardımcı olmaya başlamıştı. Bu sensörler kuleden aldığı bilgiyi kullanarak çeşitli göstergelerle pilota aktarıyordu. II. Dünya Savaşı'na kadar Fransa, Güney Amerika ve Kuzey Afrika'da dönen değil fakat sadece dört yönde dalgalar yayarak yön bulmaya yardımcı olan işaret kuleleri kurulmuştu bile. Ayrıca yine 20'lerin sonunda hava araçlarında orta ve düşük frekansla çalışan sistemler yaygınlaşmıştı. II. Dünya Savaşı sonrasında havacılığın özellikle askeri alandaki önemi daha da çok anlaşıldı. Bunun üzerine gelişmiş ülkeler aviyonik sanayine yaptıkları yatırımları arttırdı. NDB(İng: Non-directional beacons),VOR (İng: VHF Omni-directional Ranging) gibi yön bulmaya yarayan sistemler geliştirildi. Fakat doğru bir yer tespiti için bu işaret kulelerine olan mesafenin de ölçülmesi gerekiyordu. TACAN bu görevi tek başına yapan ilk sistemlerden olmuştur. TACAN hem bir işaret kulesine olan yönelimi hem de aradaki mesafeyi ölçerek hava taşıtının yerini tam olarak bulabiliyordu. Sivil ve askeri amaçlı kullanımlar arası farklılıklar yüzünden bazı sistemler birleştirilerek kullanılıyordu. (Örneğin VOR-TAC ve VOR-DME (İng: Distance measurement equipment - Mesafe ölçme aracı)) Havacılık endüstrilerinin de kuruluşundan itibaren seyrüsefer sistemlerinin gelişimi artık çok daha başka olmuştur. Mesela Amerika'nın Ulusal Güvenlik yatırımlarıyla da desteklenen uzay araştırmaları sonucu, yer tayini artık sadece karadaki noktalardan değil de uzayda koordinatları devamlı düzenlenen uydulardan yapılmaktadır. GPS (İng: Global Positioning System- Küresel yer bulma sistemi) halen gelişmekte olan, sivil ve askeri kullanıma da açılmış bir yer bulma sistemidir. Diğer ülkeler de kendi uydularını kullanarak buna benzer sistemleri geliştirmeye çalışmaktadır – örneğin GALILEO (Avrupa Birliği), GLONASS (Rusya),BEIDOU (Çin). [2] Havacılıkta temel olarak 4 farklı seyrüsefer yöntemi kullanılmıştır. Bunlar; 1. Harita Okuma Tekniği (Kara Seyrüseferi): Pilot konum ve pozisyon bilgisini üzerinde uçtuğu konumu harita ile karşılaştırma yaparak bulmaktadır. Bu sayede ulaşmak istediği noktayı, görerek uçuş şartlarında ve harita ile yer şekillerini karşılaştırarak gerçekleştirmektedir. 2. Gökyüzü Cisimleriyle (Celestial) Seyrüsefer: Belirgin gökyüzü cisimlerini (güneş, gezegen, ay, yıldızlar) kullanarak yapılan seyrüseferdir. Ufuk ile cisim arasında yer alan açının ölçülmesi prensibiyle gerçekleştirilir. Seyrüsefer sırasında en çok kullanılan gökyüzü cismi ise güneştir. Ayrıca özel olarak belirlenmiş 57 yıldız ile de gerçekleştirilir. 3. Hesaplamalı Seyrüsefer (Dead Reckoning): Mesafe, hız, yön, zaman, rüzgâr gibi faktörlerin bilinerek hiçbir seyrüsefer yardımcısı kullanılmadan bilinen bir noktadan belirli bir süre sonra istenilen noktaya gitmeyi hedefleyen seyrüsefer türüdür. Bu yöntem ilk olarak pusulanın icadı ile denizcilikte kullanılmaya başlanmış olup havacılığın gelişmesi ile hava araçlarında da kullanılmaya başlanmıştır. 4. Radyo seyrüseferi: Hava aracının yer tabanlı (VOR, NDB, DME, VDF) ve uzay tabanlı (GPS, GLONASS, Galileo) sistemlerden aldığı radyo sinyalleri aracılığıyla yaptığı seyrüsefer tipidir. Günümüzde aktif olarak kullanılan yer tabanlı seyrüsefer yardımcılarını yerine uzay tabanlı seyrüsefer yardımcılarının kullanılması için gerekli çalışmalar devam etmektedir. Seyrüsefer sistemlerinin çalışma prensiplerine göre sınıflandırılması Seyrüsefer sistemlerinin tamamı; radyo sinyallerinin yayılma zamanının ölçülmesi veya iki işaretin yayılma zamanları farklarının bulunması prensibine dayanır. Dairesel sistemler Yer istasyonu ile uçak arasında elektromanyetik dalganın gidiş-geliş süresinin ölçülmesi prensibine dayanır. $t=2D/c$ dir. Bu formülde; c: elektromanyetik dalganın hızı, D: uçak ile istasyon arası uzaklıktır. Radar ve DME istasyonları bu prensiple çalışır. Hiperbolik sistemler Uçak en yakın istasyon çok uzakta ise iki ayrı istasyonun birbiriyle eş zamanlı çalışan sinyallerini alıp ikisi arasındaki zaman farkını ölçerek değerlendirir. Ölçüm aynı anda iki istasyonda yayınlanan işaretin uçak tarafından alınarak, iki işaret arasındaki zaman farkının okunmasına dayanır. $t=(D1-D2)/c$ dir. Bu formülde; D1 ve D2: uçak ile istasyonlar arasındaki uzaklıktır. OMEGA ve LORAN sistemleri bu prensiple çalışırlar [9]. Açısal Sistemler İşaretin gidiş dönüş zamanı yerine, istasyona veya uçağa göre dairesele ve açı ölçülmesi prensibine dayanır. ILS ve VOR bu prensiple çalışır

Seyrüsefer sistemlerinin kullanıma göre sınıflandırılması Uzak mesafelerde kullanılan seyrüsefer sistemleri 300 NM ve yukarısı uzun mesafeli yolculuklarda çöl veya deniz üzerinde kullanılan seyrüsefer sistemleridir. 5-10 NM arası hata toleransı vardır [4], VLF, LF, veya MF bant frekansları kullanılır. Hiperbolik sistemler bu gruba girer (LORAN, OMEGA). Orta mesafelerde kullanılan seyrüsefer sistemleri 300 NM'den daha kısa mesafeli yolculuklarda hava trafik yolları üzerinde seyreden uçaklar tarafından kullanılır. Hata toleransı birkaç derecedir. MF, VHF, UHF bant frekansları kullanılır. VOR ve DME sistemleri bu grupta bulunmaktadır. Kısa mesafelerde kullanılan seyrüsefer sistemleri Orta mesafelerde kullanılan seyrüsefer yardımcıları kısa mesafeler için de kullanılır (VOR, DME gibi). Ancak bunun yanında inişte kullanılan bazı ek sistemler de mevcuttur (ILS, MLS). Bunlarda hata payı oldukça düşürülmüştür. Birkaç yüz metre veya daha az bir hata payı söz konusudur. GNSS (Global Navigation Satellite System) A.B.D. GPS, Rus GLONASS ve AB Galileo uydusu sistemleri ile bunların desteğinde her türlü navigasyon gereksinimlerini karşılamak amacıyla oluşturulmuş uzay ve yer tesislerine (WAAS, EGNOS vb.) GNSS (Global Navigation Satellite Systems) adı verilmektedir. GPS (Global Positioning System): ABD Savunma Dairesi tarafından geliştirilmiş, uyduya dayalı yer belirleme ve zaman transfer sistemidir. Bu sistem, yüksek doğrulukta, yer, hız ve zaman bilgilerini, 24 saat boyunca GPS alıcısı olan herhangi bir kullanıcıya ulaştırır. Sistem genel olarak uzay, kontrol ve kullanıcı olmak üzere üç bölümden oluşur. GPS Çalışma Prensipleri: GPS'in işleyişi, konumları çok iyi bilinen uydular ile GPS alıcısı arasındaki mesafenin ölçümüne dayalıdır. Uydularda birer atom saati bulunur ve uydular, GPS alıcısına zaman, uydunun konumu, transmisyon süresi gibi bilgileri kodlanmış olarak gönderir. Alıcı, bu bilgilerden faydalanarak enlem, boylam, irtifa ve zaman bilinmeyenlerini çözer ve bu şekilde o anda bulunulan konum ve hızı hesaplar.

GİRİŞ

Genel anlamda goniometre bir elektromanyetik dalganın yayılma yönünün radyo elektrik olarak ölçülmesi prensibine dayanır. Pratikte ise bu dalganın yayımlandığı vericinin yönünün ölçülmesidir. Havacılıktaki uygulamaları iki şekilde karşımıza çıkmaktadır: Yer Goniometresi (VDF): Verici uçak üzerindedir. VHF bandında yayınlanan dalga, VHF bandında çalışan ve kule üzerinde bulunan VDF (VHF Directional Finder) cihazı yardımıyla kule operatörü tarafından okunur ve uçağın kuleye göre yönü saptanır. Daha sonra bu bilgi tekrar VHF bandında pilota iletilir. Uçak Bordo Goniometresi (ADF, NDB): Bir yer istasyonundan MF bandında yayınlanan elektromanyetik dalga, ADF (Automatic Directional Finder) cihazı yardımıyla alınarak yön bilgisi bordodaki göstergeler vasıtasıyla pilota bildirilir (QDM, QDR) VDF VDF, 30 Hz.lik iki sinyal arasındaki faz farkı, yayın yapan vericinin Manyetik Kuzeye göre yönünü belirler. Ayrıca 300-3000 Hz. frekanslı ses sinyali ve 30 Hz.lik sinyal taşıyıcı VHF frekansı ile aynı anda modüle edilir. Alıcıda tekrar bu iki işaret demodüle edilerek gerekli yerlere verilir (gösterge, hoparlör gibi). Taşıyıcı frekansı 118-136 MHz. Arasında seçilir. Hata payı birkaç derecedir. İlk kullanılan seyrüsefer sistemidir. Ya uçağın istasyona ya da istasyonun uçağa göre pozisyonunu verir. ADF ADF, Bir yer istasyonundan LF/MF bandında yayınlanan elektromanyetik dalga, ADF (Automatic Direction Finder) cihazı yardımıyla alınarak yön bilgisi bordodaki göstergeler (ADF, RMI göstergeleri) vasıtasıyla pilota bildirilir (QDM, QDR bilgisi yani istikamet açısı ve geri istikamet açısı). ADF radyo istikamet bulucusu, uçaktan bir radyo göndermecine olan yönü belirtmek için kullanılan bir radyo almasıdır. Transistörlü radyonun bazı istikametlerde zayıf sinyal almasına benzer. ADF ibresi antenin yayın hattına dik olduğu sessizlik durumunu gösterir. Uçakların yayın yapan yer istasyonlarına bağlı olarak yön bulması imkanını sağlayan bir seyrüsefer yardımcısıdır. LF ve MF bandında çalışan bu sistem uçağın bulunduğu pozisyona göre istasyonun yönünü gösterir. VOR VOR, VHF frekans bandında çok yönlü radyo yayını olarak bilinen VOR, uluslararası standartta orta ve kısa mesafe navigasyon cihazı olarak bilinir. Günümüz hava trafik ağı, VHF frekans bandında çalışan ve 300 km 'ye kadar ulaşım menziline sahip olan VOR ve DVOR istasyonları tarafından işaretlenir. VOR istasyonu kendi etrafında birer derece aralıklarla 360 adet, radyal adı verilen doğrusal hat üretir. VHF bandında her yönde yayın yapan verici, kullanıcıya; manyetik kuzeye göre yönünü, seçilen radyale göre pozisyonunu bildirir. Uçakta alınan VOR bilgisi, uçağın uçuş yönünden bağımsızdır. ADF sistemindeki gibi uçak başını ADF istasyonuna yöneltmek amacına hizmet etmez. Sadece pilota uçuş esnasında yön bilgisi verir. 108-118 MHz'lik frekans bandına 0.05 MHz aralıklarla kanallar yerleştirilmiştir. Ancak 108.00-108.05-108.25-108.40 şeklinde 112.00 MHz'e kadar sıralanmıştır. Bunun sebebi 111.90 MHz'e kadar aralarda ILS sisteminin Localizer kanallarının bulunmasıdır. 112.00 MHz'den itibaren 118.00 MHz'e kadar ise VOR kanalları 0.05 MHz aralıklarla yerleştirilmişlerdir. Toplam 160 kanal kullanıma açılmıştır. VOR Prensibi, VOR istasyonunun yayınladığı sinyal bir taşıyıcı dalganın 30 Hz. değerinde birbirinden bağımsız, ancak aynı anda iletilen iki dalga tarafından modüle edilmesi prensibine dayanır. VOR taşıyıcısı, aralarında faz farkı bulunan iki adet audio sinyalinin modülü ile elde edilir. Bu audio sinyalleri 30 Hz. sinüsoidal işaretlerdir. Bunlardan bir tanesi referans, diğeri de değişken (variable) sinyal olarak adlandırılır. Dolayısıyla, referans sinyaline göre değişken fazdaki variable sinyalinin aralarındaki faz farkı uzayda açı bilgisini oluşturur. VOR sinyalini alan bir uçak, alıcısının karakteristiği nedeniyle bu iki sinyali demodülasyon sonucunda elde eder ve aralarındaki faz farkını görür, bu faz farkı da istasyona göre bulunduğu noktadaki açı bilgisidir. Bu açı bilgisinin manyetik kuzeye göre olduğunu tekrar belirtmekte fayda vardır. VOR Tipleri: Aynı amaca hizmet etmekle beraber üç tip VOR istasyonu ile karşılaşmak mümkündür. Bunlar: CVOR (Normal VOR), TVOR (Terminal VOR) ve DVOR (Doppler VOR) şeklindedir. VOR cihazları Yol ve kavşak noktalarında Yaklaşma ve alçalma, bekleme amacı ile kullanılırlar. VOR cihazlarında da, standart 1020 Hz+-50 Hz frekanslı tanıtma frekansı kullanılır. Tanıtma işareti bulunduğu bölge, coğrafi yer adı, meydan adı gibi yerlerden belirlenir. Genel olarak üç harften oluşan tanıtma grubu kullanılır. Yine tanıtma işaretinin hızı dakikada 7 kelimedir. Kullanılan harf grubu mors kodu ile yayımlanır. Anten Tipleri; VOR yayınlarını uzaya iletmek için, tüm verici cihazlarda olduğu gibi antene ihtiyaç vardır. Daha önceki ifadelerde bahsedildiği şekilde, çapraz beslenen dipoller ve omnidirectional antenlerden oluşan bir anten kombinasyonuna ihtiyaç vardır. Bugüne kadar yapılan çalışmalar sonucunda geliştirilen üç anten tipi bilinmektedir; a) Baskılı Anten (Printed Circuit Antenna): Elektronik devrelerin temel yapısını oluşturan, bir yüzü bakır kaplanmış epoxy esaslı levha üzerinde anten bölümleri oluşturularak yayın

yapmaya hazır hale getirilmiş antenler. b) Silindirik Slot Anten: Silindirik bir iletken levhanın üzerine açılan slotlar vasıtasıyla oluşturulan anten tipi mevcut olup bu slotlar çapraz dipoller olarak kullanılır. c) Alford Loop Tipi Antenler: Omnidirectional anten ve etrafında kare şeklinde 4 loop'dan oluşan anten tipi vardır ve bu looplar karşılıklı çapraz bağlanacak dipolleri oluştururlar. Doppler VOR; VOR (Very High Frequency Omnidirectional Radio Range) ICAO tarafından tavsiye edilmiş ve kısa ve orta menzilli uçaklara rehberlik etmek üzere uluslararası kullanıma sunulmuş bir radyo seyrüsefer yardımcısıdır. Uzaktan kontrol edilebilir ve izlenebilir. DVOR radyo seyrüsefer yerleşimleri VOR radyo seyrüsefer yerleşimlerinin geliştirilmişidir ve geniş tabanlı anten sistemi Doppler etkisini kullanır, böylece oldukça doğru yatay sinyal sağlanabilir. DVOR Çevre faktörlerinin oldukça kötü olduğu, ormanlık ve dağlık bölgeler ile yüksek gerilim hatlarının bulunduğu bölgelerde kullanılmak üzere dizayn edilmiş cihazlardır. Bu cihazlar, standart VOR cihazlarının aynısı olup variable sinyali tek bir çapraz dipol dizisinden yayınlanmaz. Merkezde bulunan omni anteninin etrafında daire şeklinde sıralanmış bulunan 36 veya 48 adet anten dizisinden oluşan anten sistemi kullanılır.

DME-ILS-MLS TARİHÇE

1950–1960 arası ise jet motorunun uçaklarda kullanılmaya başlandığı yıllardır. Bu dönemde “Aviyonik” kavramı seyrüsefer sistemlerinin standartlaşması olarak karşımıza çıkmaktadır. Böylece uçaklarda kullanılan elektronik seyrüsefer yardımcıları aviyonik konsepti altında toplanmıştır. Bu sistemler genel olarak Otomatik Yön Bulucu (ADF), VOR (uçanın yer istasyonuna göre açısını gösterir), TACAN (taktik hava seyrüsefer sistemi), ILS (aletli iniş sistemi), INS (ataletsel seyrüsefer sistemi) ve gelişmiş otomatik pilot sistemleridir. Aviyonik sistemlerden elde edilen veriler pilota analog göstergelerle iletilmiştir. Bu dönemde seyrüseferin hatayı en aza indiren elektronik cihazlarla yapılmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır. DME (Distance Management Equipment) Pilota yer istasyonu ile uçak arasındaki uzaklığı veren ve UHF bandında yayın yapan bir sistemdir. Genelde VOR ile birlikte kullanılır. Böylece pilot aynı anda hem yön hem de uzaklık bilgisini elde etmiş olur. Bu tür bir sistemde pilotun VOR frekansını seçmesi otomatik olarak ona bağlı DME frekansını da seçmesini sağlar (VOR/DME). Sistem yaklaşımlarda kullanılıyorsa iki istasyon arasındaki uzaklık 100 ft’ten fazla, seyrüsefer için kullanılıyorsa 2000 ft’ten fazla olmamalıdır. Hem uçakta hem de yer istasyonunda (transponder) alıcı ve verici anteni vardır. Uçanın gönderdiği soru sinyalleri yer istasyonunda değerlendirilir ve farklı bir frekansta cevap sinyali olarak uçağa gönderilir. Yer istasyonunda soru sinyalinin değerlendirilmesi 50msn de gerçekleşir. Soru ile cevap sinyali arasında 63 MHz’lik frekans farkı vardır. Sistemin çalışma prensibi, sinyalin gidiş-dönüş süresinin ölçülmesine dayanır. İletişimde darbe modülasyonu kullanılır. Pilot, DME frekansını seçtikten sonra ilk soru sinyalleri darbe çiftleri şeklinde yer istasyonuna gönderilmeye başlanır. Uçak bu durumda arama aşamasındadır. DME istasyonunun cevap sinyalleri yakalanıncaya kadar uçak, saniyede 150 defa darbe çifti göndermeye devam eder. Cevap sinyali yakalandıktan sonra ise izleme aşaması başlar. Gönderilen darbe çifti sayısı bu aşamada saniyede 10-30düzeylerine düşer. DME çalışır iken optik dalgalar hâkimdir. Maksimum menzil 200 NM’dir. İstasyonun tam üzerinden geçildiğinde DME istasyonu uçağın irtifasını NM biriminde gösterecektir. Müsaade edilen hata payı ortalama 0,5 NM’dir. Pratikte bu oran 0,2 NM mertebelerindedir. Sistemin avantajları: • Kısa menzilli seyrüseferlerde (menzil

RADAR SİSTEMLERİ TARİHÇE

İlk Deneyler Radar ile ilgili ilk ciddi çalışmalar 1930'larda başladı fakat temel fikirlerin kökeni elektromanyetik deneyler gerçekleştiren Alman fizikçi Heinrich Hertz tarafından yürütülen deneylere dayanır. Hertz İskoç fizikçi James Clerk Maxwell'in teorik çalışmalarını deneysel olarak ispatlamaya çalışıyordu. Maxwell ışığın ve radyo dalgalarının hepsinin aynı temel kanunlara tabi elektromanyetik dalgalar olduğunu formüle etmişti. Maxwell'in çalışmalarının sonucu olarak elektromanyetik dalgaların metal nesnelere yansıdığı ve yalıtkan maddelerde ise kırıldığı ortaya çıkıyordu. Hertz 1888 yılı içinde 66 cm boyunda (455 MHz) radyo dalgaları kullanarak bu özelliği gösteren deneyler yaptı. II. Dünya Savaşı öncesinde radar geliştirmekte olan pek çok ülke, savaşla birlikte diğer tespit yöntemleri ile birlikte radarları da denemeye başladı. Bu yöntemler arasında uçak motorlarının çıkardığı akustik gürültüyü dinleme ve ateşleme ile oluşan elektriksel gürültüyü dinlemekte bulunuyordu. Araştırmacılar ayrıca kızıl ötesi algılayıcılarla da denemeler yaptılar. İlk Askerî Radarlar 1930'lar boyunca radyo dalgalarının yansımaları ile uçak tespit etme sekiz ülke tarafından birbirinden bağımsız ama neredeyse eş zamanlı olarak askerî amaçlı deneniyordu. Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere, Almanya, Fransa, Sovyetler Birliği, İtalya, Hollanda ve Japonya bu konuda çalışma yapan ülkelerdi. II. Dünya Savaşı başında her ülke kendine has radar cihazlarına sahipti. 1930'larda radyo teknolojisinin öncülüğü VHF bandında başladı ve hakiki bir başarı sağladı. II. Dünya Savaşı Boyunca Gelişmeler 1940'da İngilizler magnetron kavramını Amerikalılara gösterince çalışmaların merkezi Cambridge'deki MIT Işınım laboratuvarı oldu. Mikrodalga radarların başarılı gelişimi askerî ihtiyaçlardaki öncelik ve başarılı bilim adamlarının toplanması sayesinde olmuştur. 1940'tan 1945'e kadar geçen beş senelik dönemde yüzden fazla radar sistemi geliştirilmiştir. Savaş Sonrası Savaştan sonra radar gelişiminde ilerleme nispeten yavaş oldu. 1940'ların son yarısı savaş sırasında başlatılmış olan geliştirmelerin devamına sadık kalınarak geçti. Bunlardan ikisi, monopulse takip radarı ve hareket eden cisim radarları (MTI – moving target indication). Bu iki radarı geliştirmek yıllar aldı. 1950'lere gelindiğinde daha gelişmiş radar sistemleri ortaya çıkmaya başladı. Öyle ki açısal olarak kesinlik 0.1 miliradyana kadar indirgenebildi. Doppler cisimlerin hızının yanı sıra yüksek çözünürlük resim elde etmek için de kullanıldı (polislerin hız tespitinde kullandığı gibi). Ayrıca doppler hava durumu radarlarında fırtınaların tespit edilmesi ve tehlikeli wind-shear efektlerinin görüntülenmesi içinde kullanılıyor. Dijital Çağ 1970'lerden sonra dijital teknoloji inanılmaz bir hızla gelişim göstermeye başladı. Radarlar artık hedef ayırımı da yapabilir hâle geldi. Radarlar sayesinde deniz üstünden esen rüzgârların hızı ölçülebiliyordu. 1980 geldiğinde uydular uzaktan algılama için radarlar ile donatılmıştı. Deniz yüzeyindeki yapılar, buzulların durumu ve diğer çevresel etkiler gözlemlenebilir hâle geldi. 1990'lara gelindiğin radarlar ile yağış yoğunluğu dahi tespit edilmeye başladı. Bir uçak ise 3,700 km uzaktan tespit edilebilir hâle gelmişti. Dünyadan sonra radarlar yönlerini diğer gezegenlere de çevirdi öyle ki Venüs'ün üç boyutlu resimlerini elde edebildik. Radar Sistemlerinin Sınıflandırılması Radarlar Askerî ve sivil olmak üzere ikiye ayrılır. Askerî radarlar hava savunma radarları, savaş alanı radarları, hava trafik kontrol radarları olmak üzere üçe ayrılır. sivil radarlar ise hava trafik kontrol radarları ve muhtelif radarlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Hava savunma radarları başlığı altında: • Hava gözetim radarı • Devriye uçağı radarı • Atış kontrol radarı Savaş alanı radarları başlığı altında: • Savaş alanı gözetim radarı • Gemi yöngüdüm radarı • Havan topu bataryası tespit radarı • Atış kontrol radarı Hava trafik kontrol radarları: • En-route radarı • Hava gözetim radarı • Hassas yaklaşma radarı • Yer kontrol radarı • Meteoroloji radarı Muhtelif Radarlar: • Meteoroloji radarı • Hız ölçüm radarı • Otomatik frenleme radarı • Hasarsız malzeme inceleme radarı • Yer radarı Hava Trafik Kontrol Radarı (ATC Radar) Hava trafik kontrol radarları hem askerî hem de sivil amaçlarla kullanılır. Havaalanlarında sabit olarak kurulan bu radarlar modern uçaklara da takılır. Uçaklarda çok amaçlı kullanılır. Meteorolojik bilgiler sağlar, ayrıca çarpışma önleme ve yöngüdüm (navigation) gibi işlevleri de vardır. Hava trafik kontrol radar terimi, hava trafik yönetiminde (Air Traffic Management, ATM) sivil ve askerî hava trafiğini güvenceye almak ve izlemek için kullanılan tüm radarları bir kapsayıcı terimdir. Bunlar genellikle yerine getirdiği görevde çok yüksek derecede uzmanlaşmış sabit radarlardır. Hava trafik kontrol radarlarının sıkça kullanılan örnekleri aşağıdadır: • En-route radarları (En-Route Radars) • Hava gözetim radarları (Air Surveillance Radar, ASR) • Hassas yaklaşma radarları (Precision Approach Radar, PAR) • Havaalanı yer kontrol radarları (Surface Movement Radar, SMR) • Özel meteoroloji radarları En-Route Radarları Bu radar sistemleri hava

trafiğini havaalanı yakınlarında değil, özellikle havaalanından 450 km varan uzaklıklarından itibaren gözetler. Bu bakımdan, tam bir Türkçe karşılığı olmasa da “Seyir Hâlindeki Uçakları İzleme Radarı” olarak adlandırılabilir. Genellikle NATO D- bandında çalışır. Dakikada 4 ila 6 gibi göreceli bir dönme hızına sahiptir. En-Route radarları bir ikincil radarla bağlaşıp çalışan birincil radarlardır. Hava Gözetim Radarları (Air Surveillance Radar, ASR) Hava gözetim radarları, kule operatörlerinin, havaalanı çevresi için ECAC (European Civil Aviation Conference, ECAC) tarafından belirtilmiş sahada tüm uçuş hareketlerini izlemek ve sürekli artan hava trafiğini güvenli, düzenli ve hızlı bir şekilde sağlamak için ihtiyaç duydukları radarlardır. Hava gözetim radarları bir havaalanının sorumlu olduğu hava sahası bölgesi içinde seyreden uçakların tamamının hareketleri hakkında bilgi sağlar. Bu bilgilerle kule operatörleri sürekli artan hava trafiğini güvenli, düzgün ve hızlı yönetirler. Hassas Yaklaşma Radarı (Precision Approach Radar, PAR) Sadece bir sektörde çalışan hassas yaklaşma radarı havaalanına inişe geçen bir uçağın kötü hava şartlarında güvenle inebilmesini sağlayan bir radardır. Hassas yaklaşma radarı havaalanlarında kullanılan, uçakların kötü hava koşullarında alana güvenle inmelerini sağlayan bir özel radardır. Uçaklar radar tarafından en son yaklaşma ve iniş evresinde algılanır ve eşlik edilir. Uçağın ideal iniş rotasından sapması hâlinde pilot telsizle ya da kumanda darbeleriyle oto-pilotla uyarılır. Ağırlıklı olarak askerî havaalanlarında tesis edilmiştir. Sivil havaalanlarında ise pek bir önemi kalmamıştır. Bu radar iniş pistinin merkez hattının sağ veya sol tarafında 180 m’ye kadar bir açıklık içinde kurulur ve uzaktan kumanda edilir. Havaalanı Yer Kontrol Radarı (Surface Movement Radar, SMR) Havaalanı yer kontrol radarı sis ya da kötü görüş koşullarında havaalanı yüzeyini tarayarak buradaki uçak ve kara vasıtalarının yerlerini tespit eder ve bu bilgileri kule operatör odasındaki bir ekranda görüntüler. Günümüzde havaalanları gözetiminde en çok kullanılan radar havaalanı yer kontrol radarıdır (HYKR). Bir HYKR’ının gözetim alanı, apronlar dışında kalan iniş-kalkış pistleri ve uçak servis taşıtlarının kullandığı yollar ve manevra alanlarıdır. Özel meteoroloji radar uygulamaları Meteoroloji radarının hava trafik yönetimi için hayati bir önemi vardır. Bununla beraber, havaalanı bölgesinde çalışmak üzere hava trafik kontrolü için tasarlanmış özel meteoroloji radarları da vardır. Meteoroloji radarları son yıllarda yağış ölçümleri ve tehlikeli hava koşullarının önceden bilinmesi konusunda çok önem kazanmıştır. Muhtelif Radarlar Radarlar kaçınılmaz olarak bir belirlenmiş menzilden ölçüm (ya da yer tayini) yapılması gereken her yere tesis edilir. Böylece sivil amaçlı çok geniş bir alanda kullanılan radarlar da geliştirildi. • Meteoroloji radarı • Hız ölçüm radarı • Otomatik Frenleme radarı • Hasarsız malzeme inceleme radarı • Yer radarı

GİRİŞ

UÇUŞ YÖNETİM SİSTEMLERİ (FMS)

Flight management system (FMS); uçuş planı, seyrüsefer, performans yönetimi, uçuş rehberliği ve uçuş işlemlerini izlemek için pilotlar tarafından kullanılır. Pilot uçuş planını ve diğer gerekli uçuş verilerini girmek için multifunction control display unit (MCDU)'ler ve glareshield (kaş hizası) paneli üzerindeki flight control unit (FCU)'i kullanarak gerçekleştirir. Uçuşla ilgili işlemler MCDU ve electronic instrument system (EIS) yoluyla izlenir. Uçuş yönetim sistemi (FMS), seyrüseferi düzenlemek, yakıt verimliliğini artırmak ve mürettebatın iş yükünü azaltmak için dizayn edilmiştir. Bilgisayarlar, yanlamasına rehberlik (lateral guidance (LNAV)) kullanarak kompleks rotalar boyunca uçağın uçuşu için kullanılır. Uçuş yönetim sistemi (flight management system), FMS pilotların yapması gereken bütün kompleks navigasyon hesaplamaları dahil; kalkış, düz uçuş ve inişe kadar olan tüm uçuşu kontrol edebilmektedir. Bu sayede pilot; yakıt tüketiminden, rüzgârdan ve tahmini uçuş süresinden haberdar olur. En ekonomik uçuş profilini ve gidilecek yere olan en hızlı rotayı seçebilir.

UÇUŞ YÖNETİM BİLGİSAYAR SİSTEMLERİ FMCS;

seyrüsefer, yatay rehberlik (LNAV), dikey rehberlik (VNAV), uçuş planlaması ve uçak performansının fonksiyonlarını yerine getirir. FMCS'nin seyrüsefer, rehberlik ve performans yönetimi fonksiyonlarının birleştirilmesi operatörün tüm uçuşu önceden planlamasını kolaylaştırır. FMCS; minimum maliyetli tırmanma, düz uçuş ve alçalma profillerini hesaplar. Uçuş Planı Uçuş planı, bir hava aracının planlanan uçuşuna dair özel bilgileri sunma işlemidir. Uçuşun IFR veya VFR olmasına bakılmaksızın uçuş planı verilmelidir. Bir uçuş planı; hava aracı tanıtması, uçuş kuralları ve uçuş tipi, hava aracı tipi, sayısı ve türbülans kategorisi, donanım/teçhizat, kalkış meydanı, takoz çekme zamanı, seyir hızı/hızları, seyir seviyesi/seviyeleri, takip edilecek yol, varış meydanı ve toplam uçuş süresi, yedek meydan/meydanlar, yakıt miktarı, toplam kişi sayısı, acil durum ve seyrüsefer teçhizatı gibi bilgileri içermelidir Seyrüsefer Seyrüsefer, bir uçağı pozisyon, yön, zaman ve mesafe çözümleri ile bir yerden ötekine götürme işlemidir. Seyrüsefer veri tabanı FMC belleğin yüküdür. Uçuş alanları için seyrüsefer verilerini içerir. Pilot, bir uçuştan önce uçuş planının tamamını ayarlamak için seyrüsefer veri tabanını kullanabilir. FMC uçuş süresince uçağın pozisyonunu hesaplar. Hesaplama yapmak için atalet referans (inertial reference) fonksiyonlarını ve mevcut ise radyo seyrüsefer yardımcılarını kullanır. FMCS aynı zamanda uçağın pozisyonunu hesaplamak için FMC ve GPS'i hesaplayabilir. FMC, girilmiş pozisyon ile hesaplanan pozisyonu karşılaştırır. Bir fark varsa ortak gösterge sistemi (common display system (CDS)) üzerinde gösterir. Uçuşta FMC, uçağın mevcut pozisyonunu hesaplamak seyrüsefer veri tabanından verileri otomatik olarak seçmek ve seyrüsefer radyolarını ayarlamak için kullanılır. FMC, sensör verilerinden hesapladığı pozisyon ile ADIRU atalet enlemesine pozisyonu düzeltir. Bu FMC pozisyonu enlem (latitude) ve boylam (longitude) terimleri ile hesaplanır. Performans FMC içindeki performans veri tabanı uçak model ve motorları için veriler içerir. Uçuş mürettebatı FMC'ye Uçak brüt ağırlığı (airplane gross weight), seyir irtifası (cruise altitude), maliyet endeksi (cost index) verilerini girer. FMC fonksiyonları hesaplamak için ekonomik hızlar, en iyi uçuş irtifası, alçalma noktasının zirvesi verilerini kullanır. Ortak gösterge sistemi, hedef hızları (target speeds) ve irtifaları gösterir. Rehberlik Rehberlik alt fonksiyonu, enlemesine ve diklemesine rehberlik fonksiyonları için verileri hesaplayarak DFCS ve A/T sistemlerine rehberlik kumandaları sağlar. Hesaplamalar, rehberlik alt fonksiyonu bir aktif rota (enlemesine uçuş planı) ve aktif dikey uçuş planı (performans plan) aldığı zaman başlar.

KONTROL GÖSTERGESİ

Uçuş personeli kontrol gösterge ünitesini uçuş verilerini girmek, gösterge ve uçuş modlarını seçmek için kullanır. Ayrıca ADIRU (IRS ünitesi) alignment başlatmada kullanılır. Kullanıcılar CDU'yu kullanarak FMCS ve diğer sistemlerin testini yaparlar. FMS (uçuş yönetim sistemi)'de temel olarak bilgi girişlerini CDU (kontrol ve gösterge ünitesi) ile yapmaktadır. DİJİTAL UÇUŞ KONTROL SİSTEMİ Oto pilot-uçağın durumunu otomatik olarak kontrol eder. Uçuş yönetici-uçuş ekibine uçağın durumunu manuel olarak kontrol etmek için görsel veri sağlar. İrtifa ikazı-seçilen irtifanın dışına çıkıldığında uçuş ekibini uyarır. Hız trim-itme(thrust) gücü yüksek ve hava durumu düşük olduğunda uçağı kararlı hâle getirir. Mach trim-uçak hızı yüksek olduğunda uçağın burnunun aşağı eğilmesini engeller. Mod kontrol paneli (MCP) uçuş ekibi ve uçuş kontrol bilgisayarları arasındaki birinci ara yüzdür.

OTOGAZ SİSTEMİ

Otomatik gaz sistemi mod kontrol paneli (MCP), A/T şalteri, CDU girdileri bileşenlerden kaynaklanan mod isteklerine cevap olarak motor çekiş gücü 'nü (thrust) kontrol eder. Otomatik gaz kolu sistemi kalkıştan inişe (touch down) kadar çalışır. Pilot, DFCS ve otomatik gaz kolu sistemini uçağı otomatik olarak uçurmak için kullanır.

ATALET REFERANS SİSTEMİ

Atalet referans sistem (IRS), kullanıcı sistemlere atalet seyrüsefer bilgisi sağlar. Pozisyon ve konum verilerinin hesaplanmasında IRS birinci kaynaktır. İki tane IRS referans sistem vardır. IRS elektronik sensörler ve mekanik olmayan lazer cayroları içerir. IRS sensörler ve cayroları kullanarak uçağın üç ekseninde hareketini ölçer. Sensörlerden gelen sinyaller kullanarak konum, gerçek ve manyetik baş açısı, ivmelenme, dikey ve yer hızı, track, rüzgâr ve uçağın enlem ve boylam pozisyonu hesaplanarak elde edilen değerler uçuş göstergelerine verilir. IRS ayrıca oto-gaz ve uçuş kontrol bilgisayarına da hesaplama değerlerini gönderir.

ELEKTRONİK UÇUŞ GÖSTERGE SİSTEMİ(EFIS)

EFIS, uçağın pek çok seyrüsefer sistemi için gösterge sağlar. EFIS tarafından sağlanan göstergeler; yunuslama ve yatış için renkli göstergeler, seyrüsefer haritaları, hava durumu, radyo irtifası, karar yüksekliği ve uçuş yol bilgisidir. EFIS ayrıca ADF/VOR istikamet ve stall uyarı bilgisi sağlar. Sayısal elektroniğin gelişmesi ile günümüz ticari hava araçlarının hemen hemen hepsi ve genel havacılıkta kullanılan hava araçlarının büyük çoğunluğu kokpit göstergelerinde elektronik göstergeleri kullanmaktadır. Glass (Cam) kokpit olarak adlandırılan yeni teknoloji ile birden çok göstergenin bir ekran aracılığı ile gösterilmesi olanaklı olmuştur. Elektronik kokpit göstergelerinin gelişmesinin en büyük etkilerinden biri de kokpit personeli ihtiyacının azalmasıdır. Bu sayede kokpit içinde ayrıca bir uçuş mühendisine olan ihtiyaç ortadan kalkmıştır.

GPWS – TCAS – RNAV Gelişen teknoloji ile birlikte uçuş emniyetini ve verimliliği artırmak için yeni sistemler geliştirilmektedir. İlgili ünite de arazi uyarı sistemi, trafik uyarı sistemi ve saha seyrüsefer sistemleri hakkında bilgiler verilmiştir. GPWS (Ground Ground Proximity Warning System – Arazi Yaklaşma Uyarı Sistemi) GPWS kontrollü bir uçuşta araziye çarpmayı önlemek için; hava aracı araziye yaklaştığında veya araziye çarpma ihtimali doğurabilecek olan hava aracının: • Araziye tehlikeli yakınlığı, • Aşırı alçalması, • Alçalma açısı/oranı sapması, • İniş takımlarının toplanmaması gibi etkenlerde uçuş ekibine sesli ve görsel uyarı vermek üzere dizayn edilmiş sistemdir. Bir başka deyişle: Uçuş ekibine potansiyel olarak tehlikeli olabilecek arazi koşullarını tespit edip yeterli uyarı ve bilgi sağlayan ve böylece uçuş ekibinin olası CFIT (controlled flight into terrain – araziye iniş) olayını önlemesi için harekete geçirmeye yönelik bir sistem olarak tanımlanabilir. İlk olarak 1970’ lerde duyurulan sistem iniş takımlarının durumunu ve ILS süzülme açısındaki sapmaları tespit edecek şekilde dizayn edilmiştir. Sonrasında ise araziye çarpmaları önleyecek şekilde evrimleşmiştir. 1997 de ise Honeywell EGPWS (Enhanced GPWS – Gelişmiş GPWS) sistemini geliştirmiştir. Bu sistemde uçağın pozisyonu, uçuş bilgisayarı aracılığı ile GPS üzerinden alınmaktadır. Uyarılar: Aşırı alçalma oranı, yüzeye aşırı yaklaşma, kalkış sonrası irtifa kaybı, glide slope sapması, tavsiye uyarıları ve şiddetli kuyruk türbülansı durumlarında sistem uyarı verecektir. Verilen uyarıların bazıları görsel, bazıları ise hem görsel hem de seslidir. Yasal Zorunluluk Günümüzde kalkış ağırlığı 5700 kg üzerinde olan tüm türbin motorlu uçaklar veya 9’dan fazla yolcu taşıma kapasitesi olan tüm uçaklar GPWS ile donatılmış olmalıdır. Helikopterler ise IFR (instrumental flight rules – aletli uçuş kuralları) dâhilinde uçtuklarında, 3175 kg üzeri ve 9’dan fazla yolcu taşıma kapasitesine sahipse “Arazi Uyarı Sistemi” ile donatılmak zorundadır. TCAS (Traffic Collision Avoidance System – Trafik Uyarı ve Çarpışma Önleme Sistemi) Çarpışmadan kaçınma sistemi olarak da bilinen TCAS, yakın geçiş veya çarpışma ihtimali olan durumlarda iki hava aracının çarpışmasını engellemek ve gerekli ayırma şartlarını sağlayabilmek için kullanılan sistemdir. Havaacılık güvenliğine yönelik olarak hava araçlarında bulunan sistem olası çarpışma öngörülerinde pilota belirli bir süre önceden uyarı vererek gerekli hamleyi yapabilmesini sağlamayı amaçlamaktadır. Bu sistem transponderdan alınan bilgileri işleyerek çalışır. Transponder Mode C ve Mode S üzerinden alınan irtifa, uçuş başı ve mesafe bilgileri uçağın kendi konumu ile karşılaştırılarak olası durumlarda uyarı üretmesini sağlar. 1.03 GHz ve 1.06 GHz frekanslarından sürekli olarak kendi yerini bildirip diğer hava taşıtlarının yerini sorup gelen cevapları işleyen sistem “sorgu – cevap” mantığına göre çalışmaktadır. Transponderı kapalı veya donanımı bulunmayan hava araçlarını görme ve tanımlama kabiliyeti bulunmamaktadır. Alınan İkazlar Temel olarak sistem tarafından pilota iki ikaz verilmektedir. • TA (Traffic Advisory) : 3.3 NM mesafede ve dikey olarak 850 ft ayırma içinde öngörülen geçişler TA ikazı ile pilota bildirilir. İki hava aracının en yakın hâle geleceği andan en fazla 48 saniye öncesinden uyarı verilir. • RA (Resolution Advisory) : 2.1 NM mesafede ve dikey olarak 300-700 ft ayırma içinde öngörülen geçişler ise RA ikazı ile pilota bildirilir. İki hava aracının en yakın hâle geleceği andan en fazla 35 saniye öncesinden uyarı verilir. Pilot RA ikazı aldığı anda belirlenmiş prosedürler gereği tepki vermek ve çarpışmadan kaçınmak zorundadır. Alınan ikaz ve sonucunda yapılması gereken işlem aşağıdaki gibidir: • Pilot TCAS’dan aldığı ikaz sonucu, sistemin istediği manevrayı yapar. (Örneğin sağ tarafa dönüş ve tırmanma) • Hava Trafik Ünitesini bilgilendirir • Çarpışma ikazı atlatılınca hava trafik ünitesini tekrar bilgilendirerek ilgili birimin kontrolü altında uçuş rotasına döner. Yasal Yükümlülük Uluslararası Sivil Havacılık Kurumu (ICAO) küresel anlamda standart oluşturmakla yükümlüdür. Bunun için de Minimum Operasyonel Performans Standartları (MOPS) hazırlar ve üretilecek cihazların sistemde tanımlanan gerekliliklere uygun olmasını sağlar. Genel olarak sistem dünyada üç büyük firma tarafından üretilmektedir. Uygulamaları ve bazı ara yüzleri farklılıklar içerse de cihazlar temel olarak belirlenen standartları sağlarlar ve çarpışmadan kaçınma için aynı yapıda çalışır. Sistemin Geleceği Sistemin ACAS X olarak adlandırılacak yeni forma evrilmesi beklenmektedir. Bu sistemin: • Aktif izleme için direkt olarak TCAS yerine kullanılması planlanmakta, • Paralel yaklaşma gibi bazı zor durumlarda yardımcı olması planlanmakta, • Sensör sayısı artırılarak havalimanı sistemleri ile uyumlu olması planlanmakta, • ADS-B verileri ile senkronize olarak çalışması planlanmaktadır. RNAV (Area Navigation – Saha Seyrüseferi) Geleneksel olarak yapılan uçuşlarda uçuş rotaları seyrüsefer yardımcı cihazları ile birbirlerine bağlanmaktadır. A noktasından B noktasına uçuş yapan hava aracı rotasını VOR, NDB gibi seyrüsefer aletlerine göre planlamakta ancak ilgili iki nokta arasında direkt uçuş

yapamamaktadır. Yukarıda belirtilen hedefler çerçevesinde geliştirilen Area Navigation (Saha Seyrüseferi) olarak tanımlanan uçuş prosedürü ile birlikte noktalar arasında gerekli güvenlik önlemleri ve hesaplamalar gereğince olabildiğince düz/kısa rota elde edilmeye çalışılmaktadır. Böylece klasik anlamda yapılan uçuşta kaybedilen zaman, yakıt işgücü kaybı ve gecikmelerin önüne geçilmeye çalışılmakla birlikte hava trafik akışında iyileştirme ve havacılık emniyetinde üst düzey standartların yakalanması amaçlanmaktadır. Çalışma Prensipleri Global Navigasyon Uydu Sistemlerinin (GNSS) ortaya çıkışı ile birlikte, başta GPS'ten edinilen veriler ışığında daha doğru üç boyutlu ve oldukça hassas iki boyutlu pozisyon bilgisi doğruluğu edinilmiştir. İlgili sistemlerden alınan veriler doğrultusunda uçuş-seyrüsefer bilgisayarı aracılığı ile uçuş gerçekleştirilebilmektedir. RNAV seyrüsefer bilgisayarı aracılığı ile uçuşta kullanılmaktadır. Belirlenen noktalar veya yollar manuel olarak uçuş bilgisayarına girilebileceği gibi elektronik ortamda da güncellenen veri tabanlarından da edinilebilir. Uçuş ekibi girilen yollar ve noktalar aracılığı ile rotayı oluşturur ve uçuşu nispeten kısaltılmış rota üzerinden yapar. Avantajları • Sistemin güvenilirlik düzeyi yüksektir. Böylece hata olasılığı düşmektedir. • Otomatik pilot bağlantısından dolayı uçuş ekibinin iş yükünü azaltır. • Klasik seyrüsefer yardımcı cihazlarının üzerinden geçen rotada uçuş yaparken cihazın üzerindeki sinyalden arınmış belirsizlik konisi (uçanın sinyal alamadığı bölge) ihtimali ortadan kalkar. • Daha esnek rota planlama sağlayacağı için havacılık emniyetine katkıda bulunur.

GNSS (Küresel Uydu Navigasyon Sistemleri)

GNSS (Global Navigation Satellite Systems), Global Uydu Navigasyon Sistemleri için kullanılan tanımlamadır. TDK'ye göre Uydu: "İnsanlarca yapılarak bir gökcsimi çevresinde yörüngeye yerleştirilen ve dolanması sağlanan uzay aracı" olarak tanımlanmaktadır. Temel olarak yer yüzeyinden 19 ilâ 36 km uzaklıktaki uydulardan gelen sinyallerin kullanılarak kullanıcı cihazı konumunun belirlenmesi prensibine dayanır. Gelen sinyaller aracılığı ile enlem, boylam, yükseklik ve cihazın bulunduğu konumun yerel saati tanımlanabilir. Askerî amaçlar için geliştirilen sistem zaman içerisinde sivil kullanıma da açılmış ve birçok alanda kullanılmaya başlanılmıştır. Kullanım alanları içerisinde havacılık da önemli yer tutmaktadır. Hava araçlarında bulunan birçok sistem GNSS teknolojisini kullanarak amaçlanan uçuşu gerçekleştirmek üzere kabin uçuş ekibine gerekli verileri sağlamaktadır. Tarihçe ve Çalışma Prensibi Sovyetler Birliği'nin 4 Ekim 1957 yılında ilk yapay uydu olan Sputnik 1 (Спутник-1) uydusunu yörüngeye oturtmasının ardından başlayan uzay yarışı ile birlikte soğuk savaş döneminin iki süper gücü olarak tabir edilen ABD ve SSCB arasında bu alana yapılan yatırımlar ve araştırma çalışmaları hız kazanmış, uydu teknolojisinin ortaya çıkışının ardından hızlı ivmelenme ile art arda uydular gök yüzünde yerlerini almaya başlamıştır. Nitekim; ABD geliştirdiği GPS sisteminin ilk uydusunu 1978 yılında fırlatarak uydu teknolojisinin yeni bir alanı ile süregelmekte olan uzay yarışına cevap vermiştir. Konumlandırma özelliğine sahip GNSS uyduları için Soğuk Savaş Dönemi'nin iki süper devleti yanı sıra diğer devlet ve birlikler de zaman içerisinde kendi sistemlerini geliştirmişler, gerek bu iki devlete olan bağımlılıktan kurtulmak ve gerekse uzay yarışında bilgi, tecrübe sahibi olmak için çalışmalarını hızlandırmışlardır. Günümüzde GNSS uydularına sahip devlet ve birlikler aşağıdaki gibidir: • ABD: GPS • Rusya: GLONASS • Çin: Beidou • Avrupa Birliği: Galileo • Hindistan: NAVIC • Japonya: QZSS Kullanıcı terminali bağlantı kurduğu uydulardan gelen sinyaller arasındaki gecikme süresinin ışığında bulunan yerin enlem ve boylamını hesaplar. İki boyutlu belirleme için en az üç, üç boyutlu belirleme için ise en az dört uydu ile bağlantı kurulmasına ihtiyaç vardır. Uydudan gelecek tek sinyal atmosferden geçerken kırılmaya uğrayacağından, doğruluğu artırmak için her uydudan iki sinyal alınır ve ikisi arasındaki farklılaşma da hesaplama için yardımcı olmaktadır. Bunun yanında sinyalin uğrayacağı bozulma veya elektronik karıştırma ihtimalinin de önüne geçilmeye çalışılır. Uydular daha sonra GPS sistemi detaylı olarak incelenirken anlatılacağı üzere askerî ve sivil kullanım için iki farklı bantta yayın yaparlar. Sivil kullanımda L1 ve L2 frekanslarını alan kullanıcı cihazı böylece konum belirleme yetisine erişir. Ortalama olarak 7 ila 10 yıl kullanım ömrü olan uydular önceden belirlenmiş yörüngelerde Dünya üzerindeki dönüşlerini kesintisiz olarak devam ettirmekte ve güneş enerji panelleri sayesinde sürekliliği sağlamaktadırlar. Bunun yanında enerji depolayabilmek için depo pil üniteleri ve yörünge düzeltmelerini sağlayabilmek için yörünge roketleri bulunmaktadır. GNSS Uyduları Birbirlerine göre farklı açı değerleri taşıyan uydu sistemlerinin taradığı alanlar ve yerden yükseklikleri farklı tasarlanmış olup son yıllarda ülkeler arasında yapılan anlaşmalar uyarınca sivil kullanımda cihazlar uydulardan alınan bilgileri eşgüdümleyerek birlikte kullanabilme kapasitesine ulaşmışlardır. Tablo 8.1. GNSS Sistemleri Bilgileri MÜLKİYET ABD RUSYA ÇİN AVRUPA BİRLİĞİ HİNDİSTAN JAPONYA Sistem Adı GPS GLONASS BeiDou GALILEO NAVIC (IRNSS) QZSS İrtifa (km) 20.180 19.130 21.150 23.222 36.000 32~39 Periyod (saat) 11.97 11.26 12.63 14.08 23.93 Hassasiyet (m) (Sivil Kullanım) 15 4.5 10 1 10 1 Uydu Sayısı 31 25 23 26 8 4 Kullanım Alanları Askerî Kullanım Konum belirleme muharebe koşulları ve diğer amaçlar için elzem olarak değerlendirilir. Kendi ve dost birliklerin konumlarını belirlemek yanında, düşman hedeflerinin konumlarının belirlenmesi de yapılacak savunma veya taarruz da hayati önem taşımaktadır. Bunun için konum belirlemenin doğruluğuna ait çalışmalar devam etmekte, sahip olunan sistemler sürekli olarak geliştirilmektedir. Günümüz savaş koşullarında balistik özelliklere sahip harp sistemleri gittikçe önemini artırmaktadır. Balistik roketler havadan, yerden ve denizden atılabilmekte, böylece geniş bir yelpazede tüm ülkelerin orduları tarafından kullanılmaktadır. Kısa, orta ve kıtalar arası balistik füzeler orduların yıkıcı güçlerinin bir kısmını oluşturmaktadır. Balistik sistemlerin çalışabilmesi için uydulardan gelen bilgi kritik düzeydedir. İkinci Dünya Savaşı sırasında Almanya tarafından ilk denemeleri yapılan ve sonrasında geliştirilen ICBM (Intercontinental Ballistic Missile – Kıtalar arası Balistik Füze) asgari olarak 5500 km menzile sahip ve nükleer başlık taşıma kabiliyeti için dizayn edilmiştir. Karadan ve denizden atılabılırler. Günümüzde ABD, Rusya, Çin, Hindistan, İsrail ve Kuzey Kore (geliştirme aşamasında) bu sistemlere sahiptir. Seyir füzelerinde

kullanımın yanı sıra askerî amaçlar doğrultusunda sistemler: • Askerî amaçlı arama kurtarma • İntikal • İstihbarat • Hava savunma • Nükleer patlama gözlem amaçları için de kullanılabilir. Sivil Kullanım Askerî amaçlar için geliştirilen sistemlerin zaman içerisinde sivil kullanıma da açılması ile birlikte birçok alanda gelişmeler yaşanmış ve sistem giderek daha fazla alandaki uygulamalarda kendisine yer edinmiştir. Kısaca diğer alanlardaki kullanım alanlarına örnekler verildikten sonra havacılık alanındaki kullanımı ve günümüzdeki önemine değinilecektir. Günümüzde GNSS teknolojisi: Haritacılık, araçlarda navigasyon uygulaması, küresel bazda saat eşgüdümü, filo takibi, meteorolojik bilgi edinme, deprem izleme, inşaat sektöründe konumlandırma, arama-kurtarma (SAR), denizcilik, havacılık, demir yolları, evcil hayvan takibi, görme engelliler için kolaylaştırıcı unsurlar, otonom robot teknolojisi, sürücüsüz araba gibi birçok alanda kullanım imkânı bulmaktadır. Havacılık ve GNSS Seyrüsefer Geleneksel anlamda harita üzerinde konum ve hedef bulma, radyo dalgaları ile çalışan VOR, NDB, DME, LORAN gibi cihazların gelişen teknoloji ile birlikte eskimesi sonucunda daha hızlı ve kesin bilgi verebilen GNSS tabanlı seyrüsefere geçiş başlamıştır. Uçuş rotası oluşturmaktan, uçuş için edinilebilecek arazi yükseltileri, IFR uçuş yolları, irtifa, yaklaşma usullerinin uygulanmasına kadar birçok bilgi GNSS'den gelen verinin işlenerek ilgili sistemlerle senkronize edilmesi sonucunda gerekli bilgiler alınabilir, prosedürler gerçekleştirilebilir. Arama- Kurtarma Havacılıkta diğer bir kullanım alanı da Arama-Kurtarma (SAR) faaliyetleridir. Kaza kırımı uğrayan araçtan yayılan sinyaller uydu tarafından tespit edilerek ilgili Arama Kurtarma Merkezi'ne bildirilerek faaliyetin başlamasını sağlar. Yeri tespit edilen araç için ekipler bu sayede sevk edilebilirler. ELT (Emergency Locator Transmitter – Acil Durum Konum Vericisi) hava aracının kırım yapması hâlinde 121.5, 243 ve 406 MHz frekanslarından sinyal yaymaya başlar, uydu tarafından tespit edilen sinyal harita üzerinde konumlandırılarak yer ekibine aktarılmış olur. İniş Destek Sistemleri Günümüzde iniş için kullanılan ILS, VOR, TACAN, PAR (Hassas Yaklaşma Radarı) geleneksel sistemleri yanında GNSS verileri ile çalışan Uydu Tabanlı İniş Sistemleri (SBAS) ve Yer Tabanlı Destek Sistemi (GBAS) ile yıldan yıla artan hava trafiğine çözüm bulunulması hedeflenilmektedir. SBAS, GNSS hatalarından oluşabilecek hatalar için düzeltme bilgilerini oluşturarak düzeltilmiş bilginin aktarıcı görevi yürüten yer sabit (GEO) yörüngedeki uydular aracılığıyla kapsama alanı içerisindeki hava araçlarına ulaştırılmasını sağlayan seyrüsefer destek sistemidir. SBAS, tüm uçuş aşamalarında (departure, en-route, yaklaşma ve iniş) kullanıcılara seyrüsefer desteği sunmaktadır. Son yaklaşma ve iniş aşamalarında ILS yaklaşmasında 1. Kategori (CAT-I)'e benzer olarak APV-I ve APV-II olarak adlandırılan yaklaşma ve iniş prosedürlerini mümkün kılmaktadır. GBAS sayesinde GNSS den kaynaklanabilecek hatalar düzeltme işlemi sonrasında hava araçlarına yüksek hassasiyetli veri aktarımını sağlar. Yaklaşık 23 NM içerisindeki tüm kullanıcılara ilgili veriler iletebilir. GBAS sistemi sayesinde ILS yaklaşması 1. Kategori (CAT-I) seviyesinde hassas yaklaşma yapılabilmektedir. İki sistemin geleneksel sistemlere göre avantajları: • Geniş kapsama alanı • Düşük bakım ve idame maliyetleri • Tüm uçuş fazlarında kullanım • Esnek yaklaşma ve iniş rotaları • Verimlilik ve maliyet etkinliği • Çevresel şartlardan bağımsız çalışma • Geniş kullanım alanı • Tüm pistlere hizmet • Tüm hava araçlarına hizmet • Birden fazla hava meydanına hizmet • Düşük kurulum maliyeti • Düşük bakım ve idame maliyeti • Pilotlar için düşük eğitim maliyeti • Çevresel kısıtlardan etkilenmemesi • Esnek teker koyma noktası • Esnek yaklaşma ve iniş rotaları olarak sayılabilir.

GPS

GPS; Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System) Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı'na ait uydulardan oluşan sistemdir. Kullanıcılarına düzenli olarak konum bilgisi ve yerel zamanın tespitinde kullanılan sinyaller yollamaktadır. Proje seyir füzelerinin hedef bulma doğruluğunu artırmak için başlatılmış, zaman içerisinde sivil kullanıma da açılmıştır. Askerî amaçlar için tasarlanan sistemin, günümüzde sivil kullanıcı sayısı daha fazladır. Temel olarak yaklaşık 20,000 km yörünge yüksekliğinde bulunan 24 uydu ile çalışmak üzere tasarlanan sisteme teknolojiye erişilen gelişmeler eşliğinde yeni uydular eklenmiş ve 32 uydu ile hizmet verecek hâle getirilmiştir. Tüm dünyayı kapsayacak şekilde genişleyen kapsama alanı sayesinde çağımızın vazgeçilmez teknolojilerinden biri olarak yerini almıştır. Tarihçe 1978 yılında ilk GPS uydusu fırlatılmıştır. 1985 yılına kadar yörüngedeki uydu sayısı 10'a yükselmiş, 1 tane başarısız fırlatma deneyimi yaşanmıştır. 1990 yılına gelindiğinde ise toplam olarak 19 uydu fırlatılma işlemi yapılmıştır. Daha önce de sık sık vurgulandığı üzere askerî amaçlar için kullanılmaya başlayan uydu sinyallerinin sivil ve diğer ülkelerin kullanımı kısıtlanmıştır. Ancak 1983 yılında rota ihlali yaparak Sovyet Hava Sahası içerisine giren Kore Hava Yolları uçağının Sovyetler Birliği Hava Kuvvetleri tarafından düşürülmesi ile sivil kullanımda GPS sinyallerinin kullanımının hataları önleyeceği ve tehlikeleri azaltacağına vurgu yapılmıştır. Yaşanan olay sonrasında dönemin ABD başkanı Ronald Reagan, GPS sinyallerinin sivil kullanıma da açılacağını açıklamıştır. Bu kullanım izninden yola çıkılarak sivil kullanıma da açık olacak şekilde 1989 ila 1994 yılları arasında 24 adet uydu fırlatılmıştır. Bant genişliğinin büyük bölümü askerî kullanıma ayrılmış, sivil kullanım için ise nispeten düşük kaliteli sinyal yayınlanmıştır. Seçici erişilebilirlik (SA) ilkesi gereğince izin verildiği ölçüde sivil kullanıma izin verilmiştir. Ancak zaman içinde sivil kullanımın ve ihtiyacın artmasıyla birlikte sivil kullanıma sunulan sinyallerin iyileştirilmesi amacıyla 2000 yılında kullanım hassasiyeti 100 m'den 30 m'ye düşürülmüştür. 2004 yılında Avrupa Birliği GNSS sistemi olan GALILEO ile GPS'in senkronize çalışması için Avrupa Birliği ve ABD Hükümeti arasında iş birliği antlaşması imzalanmıştır. GPS sisteminin günümüzde de geliştirilmesine devam edilmekte ve artan kullanıcı ihtiyaçlarını (sivil ve askerî) karşılamak için çalışmalar yapılmaktadır. GPS sistemi yerine ileride kullanılması planlanan OCX (Yeni Nesil Operasyonel Kontrol Sistemi) geliştirme faaliyetleri devam etmektedir. Bunun yanı sıra GPS sinyallerinde karıştırma-önlemenin önlenmesi, doğruluğun artırılması için çalışmalar sürmektedir. Çalışma Prensipleri Kullanıcılar sahip oldukları cihazlar ile GPS uydularından sinyalleri edinirler. Uydulardan gelen sinyal içerisinde hassaslaştırılmış zaman bilgisi de yer almaktadır. Cihaz uydulardan gelen sinyallerdeki gecikme sürelerini ışık hızını da işin içine katarak her uyduya olan uzaklığını hesaplar. Bununla birlikte dünyanın dönüş hızını da içeren bir matris oluşturulur ve kartezyen koordinat hesaplanır. Temel mantık "üçgenleme" yöntemine dayanmaktadır. Cihazın her uyduya olan uzaklığı hesaplanarak değerler birbiri üzerine bindirilir ve kesin konuma ulaşılır. İki uydu ile bağlantı kurulduğunda aşağıdaki şekilde yer alan bilgiye erişilmektedir. Konum bilgisine ulaşabilmek için genellikle açık hava şartları ve en az 4 uydu bağlantısı gerekmektedir. Uyduların yeryüzünü taradıkları açılar üst üste bindiğinden kullanıcı genelde 6 ilâ 8 uyduya bağlanabilir. Bir noktanın doğrudan doğruya dünya üzerindeki konumu (enlem, boylam, yükseklik veya X,Y,Z) belirleniyorsa buna mutlak konum belirleme (Point Positioning) denir. Birden fazla noktanın birbirine göre konumlarının belirlenmesine ise bağıl konum belirleme (Relative Positioning) denir. GPS sistemi temel olarak 3 bileşen üzerinden çalışmaktadır. Bunlar: • GPS uyduları • Yer kontrol istasyonları • Kullanıcı terminalidir. GPS Uyduları: En az 24 uydudan oluşmak üzere tasarlanmış ilk bileşendir. Dünya yüzeyinden yaklaşık olarak 20.000 km yükseklikte bulunmaktadır. Yükseklikleri sebebi ile yeryüzünde geniş bir alanı tarayabilme kabiliyetleri mevcuttur. Uydular her 11 saat 58 dakikada Dünya çevresindeki turlarını tamamlar. Güneş enerji panelleri vasıtasıyla güneşten aldıkları ışığı depolayabilecekleri sistemleri ve yörünge düzeltmelerini sağlamak için ateşleme roketleri mevcuttur. Temel olarak L1, L2 ve M bantlarından yayın yaparlar. Bant frekans değerleri aşağıdaki gibidir: BANT FREKANS L1 1575.40 MHz L2 1227.60 MHz M 5.115 MHz L1 ve L2 sinyallerinin yanı sıra nükleer patlama tespiti, iyonosfer düzeltilmesi, güvenlik sinyali olarak kullanılan L3, L4, L5 sinyalleri de mevcuttur. Sistem geliştikçe temel L1 ve L2 sinyalleri L1C ve L2C olarak evrilmiştir. Yer Kontrol İstasyonları: GPS uydularını sürekli izlemek için kurulan yer istasyonları gerekli hâllerde uydulara müdahale edilmesi ve kontrol işlemleri için kurulmuştur. Uydulara olan uzaklıklarını sürekli olarak denetleyen 5 adet istasyondan

gönderilen sinyaller ile merkez istasyonun uzaklığı tayin edilerek gerekli düzeltme işlemleri sağlanır. İstasyonlar ABD Hava Kuvvetleri sorumluluğunda olup: • Colorado Springs (Merkez istasyon) • Ascension Adası • Diego Garcia • Kwajalein • Hawaii • Cape Canaveral'da konuşlandırılmıştır. Kullanıcı Terminali: Konum bilgisini almak isteyen kullanıcıyı ve kullandığı teçhizatı temsil eder. Farklı hassasiyet ve donanımda cihazlar mevcut olmakla birlikte askerî uygulamalar ve sivil uygulamalar için farklı modeller mevcuttur. Uydu yörünge bilgileri, mesaj bilgileri ve anlık faz farklı ölçümlerini kullanarak gerekli hesaplamaları gerçekleştirir. Böylece kullanıcının bulunduğu enlem ve boylam bilgisini verirler. Kullanım Alanları Askerî Kullanım ABD'nin çıkarlarını korumak ve dünya üzerinde daha etkin olabilmek amacıyla geliştirdiği GPS, daha önce de bahsedildiği gibi öncülü askerî uygulamalar olan bir sistemdir. Günümüzde ABD ve kullanım izni verdiği dost ülkeler, GPS bilgilerine erişebilmekte ve askerî harekât planları dâhilinde kullanabilmektedir. Kara birlikleri tarafından öncelikle bilinmeyen arazide ve gece koşullarında intikal amaçlı olarak kullanılmasının yanı sıra yükseklik bilgisinin de elde edilebilme yeteneği ile zemin farkındalığı yaratmak için kullanılmaktadır. Dost birliklerin takibi için merkezî olarak sistem kullanıldığı için gerektiği hâllerde arama-kurtarma faaliyetinde de işlevseldir. Güncel teknoloji imkânları ile insansız hava araçları (İHA'lar) dünyanın farklı yerlerinde bulunan askerî üslerde uzaktan kontrol altına alınabilme yetenekleri nedeniyle dünya çapında askerî operasyonlarda büyük önem taşıyor. İHA'lar istihbarat, gözetim ve keşif faaliyetlerinde düşman bölgelerini izleme ve gerektiğinde lazer işaretleme kapasiteleri ile yeteneklerini arttırdı. Askerî uygulamada kullanılan İHA'larda, araçların içine yerleştirilen kameralarla birlikte pilotların aracı çatışma bölgesinden uzakta kullanmasına izin veren bir GNSS alıcısı vardır. GPS izleme sistemleri İHA araçlarının görevlerini yerine getirebilmeleri için hayati öneme sahiptir. GPS'in askerî alandaki kullanım alanı geliştikçe operasyonel kabiliyetin artmasına zıt olarak teknolojik bağımlılık artmaktadır. Sistemde meydana gelebilecek bir hata veya veri kaybı, yanlış veri, müdahale hâllerinde faaliyetin sekteye uğrama ihtimalini ortana kaldırmak için var olan sistemler ile uyum sağlanmış veya yeni sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemlerden en yaygın ve kullanışlı olanı INS (Inertial Navigation System -Ataletsel Seyrüsefer Sistemi), 3 boyutlu eksende sensörler ile ivme ve açı bilgilerinin ölçülmesine dayanır. Sinyalin son alındığı konumdan itibaren harita üzerinde hareket (konum değişikliği) INS'den gelen ölçümlere göre konumlandırılır. Sistem dışarıdan gelecek müdahalelere kapalı olması, sinyal kaybı veya hiç alınmaması durumlarında çalışmaya devam etmesi dolayısıyla avantaj sağlamaktadır. Ancak pahalı oluşu, alınan bilgilerin bilgisayarlar tarafından sürekli düzeltmeye muhtaç oluşu yönünden dezavantajlıdır. GPS uyduları tarafından izlenebilen nükleer patlama tespiti de önemli bir kabiliyettir. Sivil Kullanım Önceki ünite de bahsedildiği üzere askerî kullanımın ardından sivillerin de kullanımına açılan GPS sinyalleri zaman içinde yapılan birçok işin/eylemin vazgeçilmez unsuru hâline gelmiştir. Sivilde başlıca kullanım alanları: • Araç navigasyonu • Havacılık • Denizcilik • Bilimsel araştırmalar • Güvenlik • Ağır vasıta yönlendirme • Haritacılık • İletişim • Finansal sistem • Spor ve sosyal alanlar olarak sıralanabilir. GPS Hata Kaynakları GPS ile yapılan ölçümlerde zaman zaman hatalarla karşılaşmaktadır. Bu hatalar alıcı kaynaklı veya sistem kaynaklı olabilirler. Sistem Kaynaklı Hatalar: • Uydu konum hataları • Uydu saat hataları • Atmosferik hatalar • Sinyal yansıma hataları • Anten faz merkezi hataları • Seçimli doğruluk erişimi • Uydu yerleşimi olarak sıralanabilir. Uydu konum hataları uydudan gelen mesajın yanlış yayınlanması ile gerçekleşir. Uydu konum bilgi doğruluğu düşüktür. Uydu saat hataları uydu ve kullanıcı terminalindeki zamanın farklılaşmasından oluşur. Uydu saat bilgisinde doğruya erişebilmek için sapma düzeyi çok düşük atomik saatler kullanılır. Atmosferik hatalar; iyonosfer etkisi, troposfer etkisi ve uydu eğim açısı kaynaklı olabilir. Yer yüzeyinden 18 km yüksekliğe kadar troposfer ve elektromanyetik dalgaları yansıtacak şekilde iyon ve serbest elektronların bulunduğu atmosferin 70 ile 400 km arasındaki kısma iyonosfer olarak adlandırılır. Uydu sinyalleri kullanıcı terminaline ulaşana kadar bu tabakalardan geçer, karşılaştıkları direnç sonucunda gecikmeye uğrar. İyonosfer kaynaklı hatayı gidermek için çift frekans kullanılır. Uydu eğim açısının hataya olan katkısı, düşük eğim açılı gönderilen sinyalin atmosfer tabakasından yansımalarıdır. Ancak konum tespitinde doğruluğu artırmak için daha fazla uyduya bağlantı yapılması gerektiğinden uydu eğim açısı olabilecek en az değerde tutulmalıdır. Sinyal yansıma hataları alıcıya direkt GPS üzerinden gelen sinyallerin yanında yansıma yoluyla gelen sinyallerin de sebep olduğu hatalardır. Yansıma ile gelen sinyallerin kaynakları binalar, su yüzeyleri, doğal yapılar ve diğer yansıtıcı yüzeylerdir. Anten faz merkezi hataları anten yapısından kaynaklanan, L1 ve L2 sinyallerinin antenin geometrik merkezine geliş doğrultusundan bağımsız olarak ulaşması gerekliliğinin sağlanamaması sonucu karşılaşılan hatalardır. Özellikle hassas doğruluk gerektiren işlerde hata düzeltmesi yapılması gerekmektedir. Seçimli doğruluk erişimi, GPS sisteminden yayınlanan sinyalin hassasiyet ve doğruluk derecesinin ABD tarafından değiştirilmesi sonucu gerçekleşir. Uydu yerleşimi, GPS alıcısına giden sinyallerin birbirine yakın olarak kümelenmiş uydular tarafından gönderilmesi sonucunda oluşur. Hatayı gidermek için uyduların uzayda kapsadıkları hacimin artması gerekmektedir. Kullanıcı Kaynaklı Hatalar: Kullanıcı hatalarının başında kullanıcı cihazında harita DATUM ayarlarının yanlış veya eksik yapılması gelmektedir. Dünyanın eğimi sabit olmayıp değişkendir. DATUM "Datum,

herhangi bir noktanın yatay ve dişey konumunu tanımlamak için başlangıç alınan referans yüzeyidir. Datum, yerin şeklini ve boyutunu tanımlayan bir referans sistemidir. Bir datum; elipsoidi, enlem-boylam oryantasyonu ve fiziksel bir orijin ile tanımlanır.” ifadesi ile tanımlanmaktadır. WGS84, ITRF90, ITRF2000 gibi çeşitleri bulunan bu parametrenin GPS’e yüklenmiş harita veya ülkenin kullandığı DATUM ile uyumlu olarak seçilmesi gerekmektedir. Kullanıcı kaynaklı diğer hata GPS antenlerinin yanlış yerleşimi sonucu doğruluğun azalmasıdır. Yansıma yüzeylerine yakın veya kapalı alan içeren yerlerdeki anten yerleşimlerinde GPS uyduları ile olan bağlantı kararsız olabilir veya yansımalar sonucunda farklı değerler okunabilir. Gerek kullanıcı ve gerekse sistem kaynaklı olsun hataları gidermek ve doğruluk düzeyini artırmak için çalışmalar devam etmektedir. Yeni modeller denenmekte, kullanıcının işini kolaylaştıran uygulamalar piyasaya sürölmektedir. Diferansiyel GPS yöntemi, hatayı gidermek için geliştirilen yöntemlerden bir tanesidir. Bu yöntemde yerde sabit bir istasyondan gelen sinyaller de kullanılır. Sistemin Geleceği OCX Yeni Nesil Operasyonel Kontrol Sistemi (Next Generation Operational Control System) adı verilen eylem planı ile GPS teknolojisi ve kullanım alanlarında gelişmeler hedeflenmektedir. Bu gelişmeler ile öncelikle sivil sinyal sayısı 4’e çıkartılmış (L2, L2C, L5, L1C) böylece sisteme olan sivil kullanıcı talebinin karşılanması planlanmıştır. Yeni nesil sistemle birlikte yeni nesil uydular tasarlanma aşamaları sürmektedir. Bu uydularla birlikte sistemin mevcut olanın iki katı uyduyu desteklemesi planlanmaktadır. Bununla kanyonlar, dağlık araziler, şehir içeriindeki kalabalık alanlar gibi kapsama alanının artırılması hedeflenmektedir. Gerçekleşebilecek bir siber saldırıya karşı da sistemin korunması sağlanacaktır. Yeni nesil uydular ile uydu ömürlerinin 15 yıla çıkartılması hedeflenmektedir. Havacılık Havacılık seyrüseferinde de GPS sistemindeki gelişim ile birlikte gelişmeler yaşanması beklenmektedir. Özellikle iniş destek sistemlerinde hassasiyet ve güvenlik artırılmaya çalışılmaktadır. Bunun için gerek havacılık otoriteleri ve gerekse geliştirme çalışmalarını yürüten kuruluşlar yeni sistemler üzerinde çalışmaktadırlar. FAA (Amerikan Havacılık İdaresi) tarafından standartları belirlenerek geliştirilen WAAS (Wide Area Augmentation System, Geniş Alan Artırma Sistemi) ile birlikte hava araçları GPS sistemini uçuşun tüm aşamalarında gerekli güvenlik sınırları içerisinde kullanabilmektedirler. Yer istasyonları ile desteklenen sistem ile ilgili çalışmalar devam etmekte olup yakın dönemde çift frekanstan yayın yapacak hâle getirilmesi hedeflenmektedir.

Amerikan sistemine alternatif olarak ülkelerin kendi uydu sistemlerini geliştirme gereksinimleri öncelikli olarak ulusal güvenlik merkezli askerî uygulama alanları düşünülerek ihtiyaç hâline gelmiştir. Sistemdeki kısıtlama, kısıtlama ihtimali veya uluslararası anlaşmazlıklar hâlinde sistemin kullanılabilir durumdan çıkması ihtimali özellikle silah sanayisi gelişmiş ülkeleri kendi sistemlerini geliştirme yoluna itmiştir. Sistemlerden ilk olarak geliştirilene, uzay konusunda geçmişten itibaren çalışmaları bulunan Rusya'ya ait GLONASS sistemidir. 1976 yılında proje olarak tasarlanan sistem, 1982 yılında uyduların fırlatılmaya başlanması ile 1995 yılında kullanılabilir hâle gelmiştir. Öncelikle Rusya'nın tamamını kapsamak üzere tasarlanmış, yapılan geliştirmeler ve eklenen yeni uydularla birlikte küresel düzeyde hizmet verebilecek kabiliyete kavuşturulmuştur. Küresel kapsama için 24 uyduya ihtiyaç duyan GLONASS sisteminde Rusya'yı kapsama içine alabilmek için gereken uydu sayısı 18'dir. Avrupa Birliği projesi GALILEO uydu sistemi adını 1564-1642 yılları arasında yaşamış olan İtalyan astronom ve fizikçi Galileo Galilei'den almıştır. Avrupa devletlerinin Amerikan GPS ve Rus GLONASS sistemine bağımlılığına ortadan kaldırmak için tasarlanmıştır. Düşük hassasiyet seviyesinde tüm kullanıcılara açık olarak hizmet vermektedir. 1999 yılında Almanya, Fransa ve İtalya tarafından oluşturulan ekip ile fikir ve sonrasında tasarım çalışmaları başlamıştır. Toplam 30 uydudan oluşması planlanan sistemin günümüzde uzayda 26 uydusu mevcuttur. Çin GNSS sistemi olan BEIDOU 2000 yılında Çin ve çevresindeki bazı ülkelerde hizmet verebilecek şekilde hizmete girmiştir. Üç uydudan oluşan ilk sistem BEIDOU-1 olarak adlandırılmıştır. Ardından yapılan geliştirme çabaları ile birlikte 2011 Aralık ayı sonrasında yörüngede bulunan 10 uydudan oluşan BEIDOU-2 sistemine geçilmiş ve Asya Pasifik bölgesinde hizmet verecek şekilde kapsama alanı geliştirilmiştir. BEIDOU-3 sisteminin ilk uydusu 2015 yılında fırlatılmış ve 2018 yılı sonundan itibaren küresel olarak hizmet verebilme kapasitesine erişmiştir. 2020 yılı sonuna kadar yörüngede 35 uydu olması planlanmaktadır. GLONASS Tarihçe Konumlandırma ve navigasyon için uyduların kullanım fikri ilk olarak 1957 yılında Rus bilim adamı V.S. Shebashevich tarafından yapılmıştır. Fikrin oluşmasının ardından devlet desteği ile birçok Rus (Sovyet) kurumunda edinilecek bilgilerin doğruluğu, küresel kapsama koşulları, uydu çalışmaları, hava koşullarından bağımsız sistem geliştirmek için çalışmalar başlamıştır. 1963 yılında düşük yörüngede hizmet vermek üzere Cicada sistemi tasarlanmış ve AR-GE çalışmaları için kullanılmıştır. Cicada ismi ağustos böceğinden gelmektedir. İlk Sovyet navigasyon uydusu Cosmos-192 1967 yılında tamamlanmış ve 23 Kasım 1967 yılında Plesetsk-Rusya'dan fırlatılarak yörüngede yerini almıştır. Cosmos-192 kullanımda kaldığı süre boyunca 100 ve 200 KHz frekanslarında yayın yapmaya devam etmiştir. 1967-1978 yılları arasında Denizaltı Balistik Roket sisteminin kullanması için yürütülen Siklon (Tsiklon) Projesi ile 31 uydu fırlatılmıştır. Sistem düşük süratle seyreden gemiler için kullanılabilir olsa da seyir hızı arttıkça gözlem yapıp uydudan bilgi alabilmek için birkaç saat süreye ihtiyaç duyması sebebiyle amaçlanan verimi sağlayamamıştır. 1979 yılında 4 uydudan oluşan Cicada Sistemi işlevsel hâle gelmiştir. 1990 yılında ülkede yaşanan değişim ve ekonomik krizden dolayı uzay çalışmaları için ayrılan fonlardaki azalma sonucu GLONASS uydu sisteminin işlevsiz hâle gelmesine sebep oldu. 2002 yılında sadece Rusya'yı kapsayacak şekilde, sınırlı kullanım koşullarında sadece 7 uydudan bilgi alınabilir düzeydeydi. Sürekli geliştirilen ve bütçe ayrılan Amerikan sistemi GPS ile karşılaştırıldığında 3-4 yıl kullanım ömrü ve daha düşük doğruluk sağlaması dolayısıyla oldukça kullanışsız ve geride görünüyordu. 2002 yılında "2002-2011 Küresel Navigasyon Sistemi" programına yatırım kararı alınmasının ardından GLONASS sistemi tekrar işlevsel hâle getirilerek GLONASS-K uydularından oluşan sistem tesis edildi. Yüksek hassasiyet ve giderek artan kullanım alanları için GPS sistemi ile senkronize olarak kullanılmaya başlanan GLONASS sistemi için 3 Mart 2012 tarihinde yeniden yatırım kararı alınarak "GLONASS: İdame, Geliştirme ve Kullanım 2012-2020" programı başlatıldı. Sistem GLONASS sistemi uydular, yer kontrol istasyonları ve kullanıcı terminali olmak üzere 3 parçadan oluşmaktadır. Uydular GLONASS sistemi yörüngede bulunan 27 uydudan oluşmaktadır. Bu uydulardan 23 tanesi aktif olarak görevini yerine getirmekte olup 1 tanesi devreye alma aşamasındadır. Birinci nesil olarak değerlendirilebilecek GLONASS uyduları yaklaşık 1250 kg ağırlığında olup çeşitli bloklar/gruplar hâlinde fırlatılmıştır. Fırlatılan ilk grup uydunun hizmet ömürleri sadece 16 ay iken son grubun hizmet ömürleri üç yıla çıkartılmıştır. Birinci nesil uyduların sonucusu 2005 yılında fırlatılmış, böylece başlangıçtan itibaren GLONASS ilk nesilde toplam 56 adet uydu yörüngeye yerleştirilmiştir. Yaşanan kayıplar ve verim alınamayan uyduların yerine yenilerinin yerleştirilmesi

dolayısıyla uydu sayısının oldukça fazla olduğu değerlendirilmektedir. İkinci nesil GLONASS-M uyduları için geliştirme süreci 1990 yılında başlamış, 2003 yılında ise ilk uydu fırlatılmıştır. Yaklaşık 1500 kg ağırlığında olan uyduların boyutları 2.4m x 3.7m x 7.2m'dir. Uydular nikel piller ve 3 adet sezyum saat içermektedir. Toplam 51 adet uydu üretilmiş ve bunlardan 47 tanesi uzaya gönderilmiştir. ISS Reshetnev şirketinin tasarladığı uyduların kullanım ömürleri 7 yıl olarak belirlenmiştir. Bu nesle ait son uydu ise 3 Kasım 2018 tarihinde fırlatılarak bir sonraki nesil uyduların yörüngeye yerleştirme işlemine geçilmiştir. Üçüncü nesil olarak tasarlanan GLONASS-K uydularından ilki 26 Şubat 2011 tarihinde fırlatılarak yeni tasarım da uzaya yer almaya başlamıştır. 900 kg civarında ağırlığa ve 10 yıl olarak tasarlanan kullanım ömrüne sahip olan uyduda nikel piller ve güneş enerji panelleri bulunmaktadır. İlk tasarımından sonra sadece 2 adet uydu fırlatılmış, sonrasında üçüncü neslin GLONASS-V olarak isim değiştirerek yörüngeye yeni uyduların yerleştirilmesi ile devamını sağlaması planlanmıştır. GLONASS-V uydularının 2023-2025 yılları arasında 6 adet olarak yörüngeye yerleştirilmesi planlanmaktadır. Yer Kontrol İstasyonları Krasnoznamen'sk'te bulunan istasyon merkez olmak üzere toplam 12 adet kontrol istasyonu bulunmaktadır. İstasyonların tamamına yakını eski Sovyet topraklarına yerleştirilmiş olup diğer GNSS sistemlerinde de olduğu gibi ölçüm, düzeltme ve sistem kontrol görevlerini yerine getirmektedirler. Kullanıcı Terminali Sistemin küresel olarak hizmet verebilir düzeye gelmesinin ardından üretici firmalar GLONASS uydu verilerini alacak cihazları geliştirmeye başlamıştır. Günümüzde üzerinde GNSS alıcısı olan birçok cihaz GPS ve GNSS verilerini beraber kullanabilmektedir. GALILEO Galileo Sistemi sivil otoritelerin kontrolünde Avrupa Birliği (AB) tarafından tasarlanarak hizmete alınmış küresel konumlandırma sistemidir. Merkezi Çek Cumhuriyeti'nde bulunan sistem Avrupa GNSS Ajansı'na (GSA) bağlı olarak hizmet vermektedir. GALILEO sistemi; uydular, yer kontrol istasyonları ve kullanıcı terminallerinden oluşmaktadır. 23.222 kilometre yükseklikte bulunan sistemde 26 adet uydu bulunmakta ve bunlardan 22 tanesi aktif olarak kullanımdadır. Tarihçe Avrupa Uzay Teşkilatı (ESA) üyesi üç ülkenin 1999 yılında öneri ve tasarım aşamasıyla 2003 tarihinde AB tarafından kurulumu kabul edilen GALILEO sistemi GPS, GLONASS, BEIDOU gibi öncelikle askerî amaçlar için kullanımın aksine öncelikli olarak sivil kullanım için tasarlanmıştır. ABD'nin sahip olduğu GPS sistemi kullanıma açık olarak başta askerî alanlar olmak üzere en yüksek doğruluğu sağlayan GNSS sistemi olarak kullanılırken seçimli erişim dolayısı ile Avrupa Birliği üyesi ülkeler zaman içerisinde kendi GNSS sistemlerini geliştirmenin de gerekli olacağı konusunda fikir birliğine vardılar. Tam erişim prensibi ile tüm kullanıcılara hizmet verecek sistemin devreye alınması konusunda çalışmalara ve ardından sistemin kurulumuna başlanılmıştır. 2011 ve 2012 yıllarında yörüngede hizmet vermek üzere Soyuz Roketleri ile ilk grup uydu fırlatma işlemi tamamlandı. 2014 ve 2015 yıllarında 4 uydu daha uzay yörüngesinde yerini aldı. Uydularda yaşanan saat sorunları sistemin işlevselliğini zaman içinde sekteye uğrattı. Çeşitli ülkelerin de sisteme dâhil olması üzerine GALILEO aktif hâle getirilerek küresel olarak kapsama alanına kavuşturuldu. Sistem Uydular GALILEO uyduları 2020 yılında 30 adet yörüngede olacak şekilde tasarlanmıştır. 675 kg ağırlığında ve 23222 km irtifada bulunmaktadır. Her uydu Dünya çevresindeki dönüşünü yaklaşık olarak 14 saatte tamamlar. 1200-1600 MHz frekanslarında yayın yapan L anteni yanı sıra ölçüm ve düzeltme yapmak için kullanılan S ve C antenleri ile arama-kurtarma görevleri için ayrılmış SAR anteni de içermektedir. Uydularda Pasif Hidrojen Maser Saati (PHM) ve Rubidyum Atomik Frekanslı Standart Saat (RAFS – Rubidium Atomic Frequency Standard clock) kullanılmaktadır. İniş Destek Sistemleri projesi olan EGNOS da GALILEO uydularından ve yer sistemlerinden gelen sinyalleri kullanarak çalışmaktadır. Bu sebepten dolayı uydu sinyallerinin doğruluk gereksinimi üst düzeydedir. Airbus ile Avrupa Havacılık Teşkilatı (ESA) arasında EGNOS sisteminin üçüncü versiyon geliştirmeleri için iş birliği antlaşması yapılmıştır. 2023 yılında tamamlanması planlanan sistem ile GPS ve GALILEO verilerini aynı anda kullanan ikinci versiyonun geliştirilerek özellikle siber saldırılara karşı korunması ve tek frekans üzerinden kullanılabilir olması hedeflenmektedir. Yer Kontrol İstasyonları Yer kontrol istasyonları hizmetin işlevsel hizmetini sürdürmesini sağlamak üzere kurulmuştur. Uyduların güncel yörünge ve saat doğruluğunu izlemek, orbital hassasiyetlerini ve gerektiği takdirde düzeltmeleri sağlamakla yükümlüdür. 2 kontrol merkezi Oberpfaffenhofen, Almanya ve Fucino, İtalya'da kuruludur. 6 ölçüm, izleme istasyonu Kiruna, Kourou, Noumea, Sainte-marie, Reunion, Redu 'da yer almaktadır. Kullanıcılara hizmet vermek için Madrid'de kurulu 1 servis merkezi bulunmaktadır. Kullanıcı Terminali GNSS alıcısı içeren cihazlardan oluşmaktadır. GPS'e olan bağımlılığın diğer sistemlerin ortaya çıkmasıyla ortadan kalkması sonucunda gün geçtikçe tüm sistemler ile çalışabilecek sistemler geliştirilmekte ve piyasaya sürülmektedir. Günümüzde ulaşım, havacılık, denizcilik, hassas tarım, arama-kurtarma faaliyetleri gibi alanlarda özel üretilmiş cihaz GALILEO uydu sisteminden gelen bilgileri konumlandırma için kullanılmaktadır. Bunun yanında gelişen akıllı telefon ve tablet teknolojisi de sinyalleri kullanarak konum tespitinde bulunmaktadır. Broadcom ve Qualcomm Tech. Firmalarının ürettikleri yeni çipler GALILEO sinyallerini alıp işleyebilecek şekilde tasarlanmıştır. BEIDOU Çin'in sahip olduğu BEIDOU uydu sistemi, diğer GNSS sistemlerinde de olduğu gibi başlangıçta Çin'in ulusal güvenlik amaçları için tesis edilmiştir. Kendi GNSS sistemine sahip olarak üretilen silahlar ile eşgüdümlü olarak kullanma ve başka ülkelerin

sistemlerine bağımlılıktan kurtulma amaçlanmıştır. Kullanımda askerî ve sivil olmak üzere iki ayrı hassasiyet derecesi bulunmaktadır. 2000 yılında başlayan ilk uzaya uydu fırlatma işlemi ile başlayan kurulum çalışmaları kısa zaman içerisinde tamamlanmış BEIDOU-2 ve BEIDOU-3 adlandırmaları ile geliştirmelere devam edilmiştir. Günümüzde küresel olarak hizmet veren sistem adını takım yıldızdan almaktadır. Ursa Yıldız Takımında bulunan bu yıldız Kuzey Yıldızının görünmez olduğu gecelerde denizcilere doğru yön tayininde yardımcı olmuştur. BEIDOU sistemi 39 adet uyduya sahip olup, 33 tanesi aktif olarak hizmet vermektedir. Diğer GNSS sistemlerine oranla daha yüksek hassasiyet derecesine erişme gayesinde olan BEIDOU sistemi, üçüncü nesil ile birlikte milimetre seviyesinde hassasiyetle ölçüm yapabilmesi amaçlanmaktadır. Çin kara sınırlarını kapsayacak şekilde başlayan proje 2018 yılından itibaren küresel anlamda hizmet verecek düzeye gelmiştir. Böylece GPS, GLONASS, GALILEO ile birlikte küresel olarak hizmet veren dördüncü GNSS sistemi olmuştur. Tarihçe Çin Ulusal Uzay Teşkilatı (CNSA) sistemin gelişimini 3 aşamada tasarlayarak 2000-2003 yılları arasında 3 uydudan oluşan deneysel sistem, 2012 yılının sonrasında Çin ve komşu ülkelerini kapsama alanına alan bölgesel GNSS sistemi ve 2020 sonrasında küresel ölçekte hizmet verebilecek sistemdir. Yol haritasının çizilmesinin ardından yapılan yer çalışmalarını, tasarlanan uydular ve roket teknolojisi ile ilk uydu olan BeiDou-1A 30 Ekim 2000'de uzaya fırlatıldı. 2003 yılına gelindiğinde deneysel sistemi tamamlayacak olan son uydu da yörüngede yerine alarak sistem tamamlanmış oldu. BEIDOU-1 sistemi 1000 kg'lık uydulardan oluşmaktadır. Çalışma frekansları 2491.75 MHz olarak belirlenmiştir. Sistem maliyetlerinin fazla olması sebebiyle Çin mikroçip üretimini de ülke içerisinde üretme çabalarına başlamıştır. Deneysel sistemden elde edilen veriler hassasiyetin 10 m olduğunu doğrulamış, böylece elde edilen veriler ışığında ilk sistem amacına erişmiş ve böylece ömrünü tamamlamıştır. Akabinde 3 uydudan oluşan bu sistem büyütülerek ikinci aşama olan BEIDOU-2'ye geçiş süreci başlamıştır. 2007 yılında uydu kümesi için dördüncü, yeni sistem için ilk uydu fırlatıldı. Ardından kısa zaman içerisinde BEIDOU-2 sistemini tamamlamak üzere artarda uydular yörüngeye yerleştirildi. 2012 yılında BEIDOU-3 projesine geçiş sürecinde fırlatılan üçüncü nesil 16 uydudan 14 tanesi hizmet verir durumdadır. Sistem Uydular Farklı katmanlarda bulunan uydular 828 kg ve 1615 kg ağırlıklarında olup 12 ilâ 15 yıl kullanım ömürleri olacak şekilde tasarlanmıştır. B1, B2 ve B3 bantlarında sinyal yayınlamaktadır. Bunlar sırasıyla açık ve sınırlı erişim, açık erişim, sınırlı erişim bantlarıdır. Uydularda 2 adet rubidyum atomik saat bulunmaktadır. İkinci ve üçüncü nesil uyduların birlikte çalışması ile küresel olarak hizmet veren sistemin aktif uydu sayısı 33'tür. Yer Kontrol İstasyonları Yer kontrol istasyonları temel olarak üç gruba bölünmüştür. Bunlar: • Ana kontrol istasyonu, • Müdahale istasyonları, • Gözlem istasyonlarıdır. Sistem 1 ana istasyon, 2 müdahale istasyonu ve 30 gözlem istasyonundan oluşmaktadır. Kullanıcı Terminali Sistemin devreye girmesi ile özellikle Çin'de üretilen akıllı telefon ve tabletler BEIDOU sinyalleri ile çalışacak özelliklerle donatılmaya başlanmıştır. Asya Pasifik bölgesinde, özellikle denizcilik ve balıkçılık alanında faaliyet gösteren gemi ve teknelerin çoğu BEIDOU terminalleri ile donatılmıştır. Böylece olası deniz kazaları için sistem arama-kurtarma çalışmaları için kaynak oluşturmaktadır. Bunun yanında afet yönetimi gereğince sistem üzerinden ekiplere bilgilendirme yapılabilmesi için çalışmalar yapılmış; deprem, sel gibi durumlarda destek hizmeti sağlanmaya başlanılmıştır.

Uydu teknolojisinin gelişmesi ile geleneksel seyrüsefer tekniklerinden uydu destekli, uydu tabanlı seyrüsefer aşamasına geçiş sağlanmıştır. Ülkelerin uydu sistemlerine devam eden yatırımları ile de sistemler zaman içinde hassasiyet ve kesintisiz hizmet açısından gelişmiş; gelişmeye de devam etmektedir. Ancak havacılık gibi risk faktörünün her aşamada kritik önem arz ettiği ve sürekli kesintisiz hizmete hizmet duyulan bir alanda uydu teknolojisinde meydana gelebilecek arıza veya hataları en aza indirmek için de çalışmalar yürütülmektedir. Uydu ve geleneksel seyrüseferi harmanlayarak kullanılan sistemlerin yanı sıra, IRS/INS gibi hizmetin aksamaması için hava aracı teçhizatı olarak geliştirilmiş sistemler de mevcuttur. Temel olarak 3 hassasiyet artırım yöntemi bulunmaktadır. Bunlar: • ABAS (Aircraft Based - Hava Aracı Tabanlı) • GBAS (Ground Based - Yer Tabanlı) • SBAS (Satellite Based - Uydu Tabanlı) olarak sayılabilir. ABAS (Uçak Tabanlı Artırım Sistemi) 1990'ların başında birçok hava aracı işleticisi ve üreticisi zamanına göre nispeten ucuz GPS alıcıların piyasaya çıkmasının ardından GNSS teknolojisini edinme, ürettikleri hava araçlarına uyumlu hâle getirmekte zaman kaybetmediler. Bu ilk dönem GNSS alıcılarını IFR ve VFR uçuşlarda seyrüsefere yardımcı olarak kullanmaya başladılar. Zaman içerisinde küresel olarak yapılabilecek RNAV seyrüseferinin faydalarını ve bunun karşılığında ihtiyaç olan avyoniklerin oluşturacağı talebi fark ettiler. Ancak GNSS teknolojilerinin kurulum amaçları hava seyrüseferine hizmet vermek olmadığından hizmet kesintisi, hassasiyet oranlarının değişmesi gibi bazı aksilikler kısa süre içinde gözlemlendi. Bu aksaklıklar süresince de hizmet vermek üzere tasarlanan ABAS sistemi uydudan alınan bilgilerin hassasiyetinin yükseltilmesi için hava aracındaki sistemlerle uyumlu çalışmak için tasarlandı. Temel olarak Alıcı Özerk Bütünlük İzleme (RAIM) ve Uçak Özerk Bütünlük İzleme (AAIM) olmak üzere iki teknik ile çalışır. RAIM En yaygın kullanılan ABAS tekniği RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring – Alıcı Özerk Bütünlük İzleme) hatalı sinyalleri tespit ederek pilotları uyararak için yedek ölçümler yapma prensibine göre çalışmaktadır. Böylece yedek sinyaller ve GNSS'ten alınan sinyaller harmanlanarak seyrüseferin tüm aşamaları boyunca verilerin akışının sağlanması hedeflenmiştir. Çoğu RAIM algoritması aşağıdaki adımları izlemektedir: • Önadam: Seyrüsefer çözümünün hesaplanması • 1. Adım: Arıza/Hata tespit mekanizması • 2. Adım: Hatalı uydu verilerinin izolasyonu • 3. Adım: Korunma seviyesi hesaplanması Bu adımlardan yola çıkıldığında bağlanılan 4 uydu bütünlüğü sağlamak için yeterli gelmemektedir. Beşinci uyduya bağlanması ile hata kaynakları araştırılıp eğer var ise hatalı kaynak hakkında uyarı verilebilir. Ancak 5 uydu ile bütünlük sağlanma şansı yoktur. 6 veya daha fazla uyduya bağlandığında ise alıcı hata tespitini ve devamında izolasyonu yapabilmektedir. Görüldüğü üzere ne kadar fazla uyduya bağlanırsa bütünlük/devamlılık da o kadar artacaktır. AAİM AAİM (Aircraft Autonomous Integrity Monitoring – Uçak Özerk Bütünlük İzleme) ise GNSS verileri ile uçağın sahip olduğu INS gibi ekipmanlardan alınan bilgilerin karşılıklı olarak kıyaslanması ve hizmet bütünlüğünün sağlanması amaçlı kullanılan sistemdir. Önce GPS ve ardından GLONASS'ın devreye alınmasına müteakip ICAO'nun belirlediği limitler içerisinde en-route, yaklaşma, taksit gibi aşamalarda faz ölçümündeki belirsizlikler ve sinyal kaymalarının tespit edilme gereksinimi doğmuştur. GNSS verileri alıcı üzerindeki dinamik etkiler, elektromanyetik bozulma, çoklu yol izleme (GPS hata kaynakları konusuna bakınız) gibi birçok etmenin bir araya gelmesi sonucunda bütünlük kabul edilemez duruma gelebilmektedir. Atalet algılayıcılar GNSS için bu durumlarda ideal tamamlayıcılar olarak hizmet vermektedir. Ancak uçuş öncesi sistemin hata tespiti veya kalibrasyonu imkânsızdır. Bu sebeple yanlış hizalama, ivme ölçer ve jiroskop hataları nedeniyle uzun kullanımda (tek başına kullanım) kayma gerçekleşebilir. Hem uydu hem de bu sistem verilerini birleştiren kalman-filtre teknikleri ve sensör hatalarının tespiti imkânları da sisteme kazandırıldıktan sonra uydu sistemi hatalarını, veri bütünlüğünü, hassasiyeti telafi etme ve artırma yeteneği kazanmıştır. GBAS (Yer Tabanlı Artırım Sistemi) Sistem ve Geleceği Yer Tabanlı Artırım Sistemi (Ground Based Augmentation System) GBAS, GNSS diferansiyel düzeltmelerini ve bütünlüğünü izleyen sistem olarak tanımlanabilir. GBAS kullanılacağı havalimanının yaklaşık 23 NM yarıçaplı çember alanında hizmet verebilmektedir. Böylece seyrüsefer ve hassas yaklaşma hizmetini sunmak için yer tabanlı bir vericiden VHF bandında veri yayınlar. GBAS, kategori 1 için gerekli, kategori 2 için son yaklaşma ve kategori 3 için ise hassas yaklaşma hizmeti verebilmektedir. Yapılan testler GBAS'ın doğruluğunun hem yatay, hem de dikey ekseninde bir metreden daha az olduğunu göstermiştir. Amerika'da FAA tarafından onaylanan GBAS sistemleri GPS L1C/A sinyallerini alarak çalışmaktadır. Günümüzde GBAS sisteminin olduğu bazı hava limanları aşağıdaki gibidir: • Atlantic

City Int. Airport • Grant County, Washington • Charleston Int. • Anoka • Bremen • Frankfurt • Malaga • Zurich • Chennai • Kuala Lumpur • Melbourne • Seul-Gimpo • Şangay-Pudong • Sydney Boeing firması 2018 yılından itibaren ürettiği 747-800, 787 ve 777 modellerinde GBAS Kategori 2/3 ü standart olarak uçağa monte etmektedir. 2020 yılından itibaren ise 737NG/MAX modelinde 2 ve 3. kategorileri standart olarak sunmayı planlamaktadır. Airbus ise A320-330-350 ve 380 modellerinde kategori 1'i sunmaktadır. Çalışma Prensipli Yer tabanlı olarak çalışan sistemin ana amacı seyrüsefer doğruluğunu artırmak ve bütünlüğünü sağlamaktır. Bunu temin etmek üzere hava limanı çevresindeki alıcılara yayın yaparak GNSS uydularından alınan sinyallerinin doğruluğunu artırır. Sistem ILS'e (Aletli İniş Sistemi) alternatif olmak üzere tasarlanmıştır. Gerek işletim ve gerekse sistemin sürdürülebilirliği göz önüne alındığında, ileride ILS'in yerini alması beklenmektedir. GBAS yer istasyonunda tipik olarak üç veya daha fazla GPS anteni, merkezî bir işlem sistemi ve tümü yerel olarak bir havalimanı veya yakınında bulunan VHF veri yayını vericisi bulunmaktadır. Uçakta MMR (Çok Modlu Alıcı) kabiliyetine sahip GBAS avyonikleri ortak anten ve donanım kullanarak GPS, GBAS ve ILS'in eş zamanlı olarak çalışmasına imkân tanır. GBAS yer istasyonu VHF radyo bağlantılarını kullanarak uçağa GPS düzeltmeleri, bütünlük ve yaklaşma yolu ile alakalı bilgi sunar. Önceden belirlenmiş noktadaki GBAS antenleri GNSS (GPS) uydusundan sinyalleri alır. Referans alıcıları, GPS uydusu ve referans anteni arasındaki iletim süresini ölçer ve sinyalin kat ettiği mesafeyi belirler. GBAS yer tesisi daha sonra ölçülen mesafeyi, yayın uydusu konumuna ve gerçek GPS referans alıcısı konumuna göre uyduya olan mesafe ile karşılaştırır ve ölçümdeki hatayı belirler. Tüm operasyonel referans alıcıları tarafından ölçülen ortalama hata, GBAS avyoniklerinin, GBAS avyonikleri tarafından ölçülen uydu ölçümlerine uygulanması gereken düzeltmeyi içerir. GBAS yer tesisinde on milyonda bir (1/10,000,000) hata payı ile çalıştırılan sistem parametreleri ile donatılmış bilgisayarlar bulunmaktadır. Böylece hesaplanan pozisyonun doğru olduğuna güvenilir. VHF veri yayını (VDB) aracılığıyla her saniye iki kez güncellenmiş bir düzeltme mesajı yayınlanır. VDB mesajları, 48 yaklaşma paternine kadar düzeltmeler ve yaklaşma paternini içeren verileri içerebilir. Uçaktaki GBAS ekipmanı (avyonik), GPS 'den elde edilen pozisyonun hassasiyetini artırmak, hız ve süreyi daha doğru hesaplamak için yayınlanan düzeltmeleri kullanır. Bu sinyal, ILS benzeri bir rehberlik sağlar. FAA mevcut sistemin teker koymaya 200 ft irtifaya kadar kullanılmasına izin vermektedir. Sistem ile ilgili geliştirme çabaları devam etmektedir. Sistem ve Geleceği Uydu Tabanlı Artırım Sistemi (Satellite Based Augmentation System) SBAS, GNSS hassasiyet artırımı bilgileri için gerekli verileri yayınlayan sistemdir. GEO (coğrafi) uyduları kullanarak geniş alanda hizmet verme kapasitesine sahiptir. SBAS genel amacı veri bütünlüğünü sağlamak olmakla birlikte pozisyon hatalarını 1 metrenin altına indirebilir. SBAS tarafından hassasiyet artırımına yönelik veriler; uydu pozisyon hatalarını, uydu saati ve zaman hatalarını, sinyalin iyonosferden geçerken gecikmesi sonucunda oluşabilecek hatalar için düzeltmeleri içerir ve bütünlüğü sağlar. Her SBAS sistemi GEO uyduları tarafından iletilen, geniş alanda etkili farklı düzeltme parametreleri içeren veri sinyalleri yayınlar. • GEO uydularından GPS benzeri L1 sinyalleri yayınlanarak kullanıcının anlık olarak yararlandığı uydu sayısı artırılır. • Geniş alan diferansiyeli ile bir saha içerisinde hesaplanan mevcut GPS, GLONASS vb. için düzeltmeleri içerir. Burada uydu saatlerine dair düzenlemelerin yanı sıra iyonosfer gecikmesine ait düzeltme bilgileri de yayımlanmaktadır. • GNSS yer bütünlüğü ile GNSS'in anlık olarak güvenilirliği hakkında bilgi veren veri yayınlanır. Diferansiyel GNSS sisteminin geniş alanlarda etkili olabilmesi için gereken yatırım miktarı fazla olduğundan, daha geniş (ülke veya kıta boyutunda) hizmet verebilmek için GBAS sistemi tercih edilmektedir. Böylece kıta boyunca düzeltme içeren veriler yayınlanarak senkron işlemi yapılabilmektedir. Birçok ülke kendi GBAS sistemini geliştirmekte ve hizmete almaktadır. Günümüzde kullanılan ve geliştirilmekte olan GBAS sistemleri aşağıdaki gibidir: • ABD: WAAS • Avrupa Birliği: EGNOS • Japonya: MSAS • Hindistan: GAGAN • Çin: SNAS • Güney Kore: WADGPS • Rusya: SDCM Amerikan Federal Havacılık İdaresi (FAA) uçakların havalimanlarına hassas yaklaşma usullerini uygulayabilmesi için yukarıda bahsedilen düzeltme faktörlerini yayınlayan sistemi WAAS'ı geliştirmiştir. Bir Geniş Alan Ana İstasyonu (WMS), ABD boyunca hizmet veren Geniş Alan Referans İstasyonlarından (WRS) verileri toplar. Diferansiyel düzeltmeler hesaplanır ve iki WAAS uydusu aracılığı ile yayınlanır. WAAS, GPS ile aynı frekanstan yayın yapar. Böylece GPS alıcısına sahip olan kullanıcı düzeltme verilerini alabilir. Düzeltme verilerini alabilmek için WAAS uydularından en az bir tanesi ile direkt bağlantı yapılabilmesi gerekmektedir. WAAS sistemi RNP 0.3 hassasiyetinde hizmet verebilmektedir. Günümüzde 3400 pist için 200 ft irtifaya kadar yaklaşma sağlanabilmektedir. RNAV (GPS) yaklaşması usullerince ILS Cat-I hassasiyetinde yaklaşma yapılabilmektedir. LPV yaklaşması adı verilen bu usul ILS sisteminin kurulu olup olmadığına bakmaksızın WAAS sisteminin kapsama alanı içerisinde bulunan tüm havalimanlarında kullanılabilir. Avrupa Uzay Ajansı, Avrupa Komisyonu (EC) ve EUROCONTROL (Avrupa Hava Seyrüsefer Teşkilatı) ile işbirliği içinde GPS'ten elde edilen pozisyonların doğruluğunu artıran sistem olan EGNOS'u (European Geostationary Navigation Overlay Service) geliştirmiştir. GPS sinyallerinin güvenilirliği hakkında kullanıcıları uyarır. Üç uydu ile hizmet veren EGNOS, Avrupa Birliği üye ülkeleri ile Avrupa'da bulunan diğer bazı ülkeleri de kapsamaktadır. EGNOS, açık

kullanım için de diferansiyel düzeltme bilgilerini yayımlamaktadır. EGNOS uyduları Atlantik Okyanusunun doğusu, Hint Okyanusu ve Orta Afrika'nın üzerinde bulunmaktadır. Çalışma Prensibi Geleneksel yer tabanlı seyrüsefer yardımcılarının aksine GBAS, kapsama alanındaki tüm hava sahası üzerinde hizmet verebilmesi için tasarlanmıştır. En az bir uydudan hizmet verebilen SBAS sistemlerinin bileşenleri aşağıdaki gibidir: • Uzay bölümü • Yer istasyonları • Destek bölümü • Kullanıcı Uzay Bölümü: Verilerin yayınlanmasından sorumlu bir veya daha fazla uydudan oluşmaktadır. Tipik olarak SBAS uyduları tekrarlayan mesajları GNSS uyduları yayın frekanslarından aktaran çok amaçlı uydulardır. Yer İstasyonları: Asıl amacı GEO uydusu tarafından yayınlanacak hassasiyet artırım sinyalini oluşturmak ve uyduya iletmektir. İzleme İstasyonu Ağı ile uydular ve iyonosfer izlenir. Bunun için çift frekanslı L1/L2 alıcılar, atomik sezyum saat, 1 Hz veri toplama kapasitesi, birkaç milisaniye içerisinde işlem ve yayın yapabilecek bilgisayarlar, hatalı veya elektromanyetik bozulmaya uğramış yayınlardan kendisini koruyabilecek entegre sağlamlık ile donatılmıştır. İşlem Tesisi Merkezi, SBAS için hassasiyet artırım verisinin üretildiği bölümdür. Uyduların Kontrol Merkezi, işlem tesisinden alınan verilerin uydulara iletilmesi için kurulmuştur. İletişim Segmenti, tüm SBAS birimlerinin birbirleri ile bağlantıda kalmasını sağlar. Bu bağlantı büyük miktarda veri akışı için gerekli bant genişliği, yedekleme ve güvenlik unsurlarını da içermektedir. Bu işlemler yüksek performans gereklilikleri ile gerçekleştirilmektedir. Destek Bölümü: SBAS sisteminin geliştirilmesi ve işletilmesi için gereken unsurları bir araya toplayan bölümdür. Bu bölüm hizmetin oluşturulması ve devamlılığı için gereklidir. Destek bölümünün görevleri aşağıdaki gibi sıralanabilir: • Tasarım, geliştirme ve doğrulama • Sertifikasyon • Bakım hizmetleri • Dağıtım ve operasyon • Belgelendirme Kullanıcı: SBAS sinyalini kullanan tüm ekipmanları temsil eder. Hizmet sağlayıcı ile direkt olarak bağı olmayan, hizmet sağlayıcının kontrolü altında olmayan bölümdür. Farklı alanlarda kullanım için belirlenmiş standartlara uyumlu cihazlar bulunmaktadır. Örneğin sivil havacılık alanında kullanım için RTCA SBAS MOPS DO-229, 228 ve 301 belgeleri ile belirlenmiş performans kriterlerine uyum gerekmektedir. Sivil havacılıkta kullanılan ekipman görece olarak diğer sektörlere göre daha maliyetlidir. Dünya çapında bu cihazları genel olarak GARMIN, Honeywell, Rockwell Collins, General Avionics şirketleri üretmektedir.

Hava taşımacılığı endüstrisi özellikle 1980'ler ve 90'lar süresince çoğu endüstriden daha fazla büyüme kaydetmiştir. Büyümenin artacağını öngören otoriteler artan hava trafiğini yönetmek için yeni yollar araştırmaya koyulmuş ve ICAO (Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı) önderliğinde çalışmalara başlamışlardır. Bu alanda FANS (Future Air Navigation Systems – Gelecek Hava Seyrüsefer Sistemleri) komitesi 1983 yılında oluşturulmuştur. CNS: Communication – Navigation – Surveillance (Haberleşme – Seyrüsefer- Gözetim/İzleme) kelimelerinin baş harflerinden oluşmakta ve hava trafiğinin etkin yönetilmesi için gerekli etkenlerin alanlara bölünmüş terimleri ifade etmektedir. ATM: Air Traffic Management (Hava Trafik Yönetimi), uçağın tüm işlem aşamalarında güvenli ve etkin bir şekilde hareket etmesini sağlamak için gerekli hava ve yer temelli fonksiyonların (hava trafik hizmetleri, hava sahası yönetimi ve hava trafik akışı yönetimi) bir araya getirilmesi anlamına gelir. Oluşturulan plan sonucunda, Haberleşme'de VHF (Very High Frequency) bandından yayın yapılan bazı havacılık bilgilerinin kapsama alanı daha geniş olan HF (High Frequency) bandından yayınlanmasına karar verilmiştir. SSR (Secondary Surveillance Radar – İkincil İzleme Radarı) ile hava araçları takip edilmesinin yanında, hava/yer arasında bilgi aktarımının yapılabileceği belirtilmiştir. Yer/Yer ve Hava/Yer arasında bilgi akışı sağlayan ATN (Aeronautical Telecommunication Network – Havacılık Haberleşme Şebekesi) aracılığı ile gönderilen mesaj formatlarının tüm dünyada aynı olması kararlaştırılmıştır. Seyrüsefer için ise GNSS teknolojisinin (bkz. ünite 8) gelişmesi ile birlikte geleneksel navigasyon yerine RNAV seyrüseferinin (bkz. ünite 7) daha yaygın olarak kullanılması için prosedürler geliştirilme kararı alınmıştır. Gözetim'de geleneksel olarak kullanılan Mode S yayını alan SSR radarlar yerine yeni teknoloji olan ADS'nin (Automatic Dependent Surveillance – Otomatik Bağımlı Gözetim) kullanılarak özellikle okyanus üzeri uçuşlarda FMS'den alınan bilginin yer istasyonlarına iletilmesi ile hava trafik kontrol merkezlerinin bilgilendirilmesi amaçlanmıştır. Hava yolları bu geliştirmeler sonucunda tüm hava sahalarında hizmet alabilecek, daha düşük ayırma mesafeleri dolayısı ile hava sahaları daha etkin kullanılacaktır. Direkt rota kullanımındaki artış sonucunda yakıt ve zaman tasarrufu sağlanacak böylece karlılığı artıracaktır. Yatırımcı ülkelerin geleneksel yolla verdiği hizmetlerin idame maliyetleri düşecek, artan uydu kullanımı ile bazı yer istasyonlarına artık ihtiyaç kalmayacaktır. CNS (Communication, Navigation, Surveillance) Haberleşme (Communication) Havacılık haberleşmesi temel olarak CNS/ATM sistemi aracılığıyla havacılık verileri ve mesajlarının kullanıcılar veya otomatik sistemler arasında iletilmesi olarak tanımlanabilir. • Geleneksel olarak süregelen haberleşme usullerinden CNS/ATM ile yapılacak geliştirmeler sonrasında bazı değişiklikler beklenmektedir. Hava – Yer Haberleşmesi Günümüzde hava – yer haberleşmesi genel olarak VHF bandında yapılmaktadır. Edinme maliyetinin düşüklüğü önemli avantajlarından biri olarak görülmektedir. CPDLC (Controller Pilot Data Link Communications – Kontrolör Pilot Veri Hattı Haberleşmesi) hava trafik servisleri için tanımlanmış veri hatları üzerinden iletişimin sağlanması ile oluşturulmuş iki yönlü bir sistem olup kontrolör uçağa acil olmayan mesajları bu sistem üzerinden gönderebilir. Gönderilen mesaj uçakta bulunan bir ekranda görüntülenir. Yer – Yer Haberleşmesi Yer yer haberleşmesi genel olarak verilerin istasyonlar arasında iletilmesi ilkesine dayanmaktadır. Özellikle NOTAM Ofisleri, Meteoroloji Ofisleri, Havacılık Bilgi Yönetimi Ofisleri, Hava yolları ve ATS üniteleri tarafından yoğun kullanılır. Bu haberleşmede geçmişten itibaren birbirleri ile uyumu sağlamış olarak en çok kullanılan sistem AFTN (Aeronautical Fixed Telecommunication Network – Havacılık Sabit Haberleşme Şebekesi) olmuştur. NOTAM, uçuş planları, uçuş izinleri, meteoroloji verileri gibi bilgiler direkt sorumlu ofis ya da yardımcı ofisler tarafından kullanıcılara sistem üzerinden gönderilir. Gelecekteki Sistemler Artan teknolojik gelişmeler ile daha iyi ve ucuz sistemler piyasaya sürülmektedir. Gelecekte sistemler: • Düşük seviye yörüngelerini kullanan uyduların sağladığı, daha az enerji harcayacak sistemler, • Web teknolojisindeki gelişmelerin göz önüne alınması ile web tabanlı sistemler olacağı öngörülmektedir. Seyrüsefer (Navigation) Hava seyrüseferi, hava aracının başlangıç ve varış noktaları arasında güvenle seyahat edebilmesi için: • Planlama, • Başlangıç ve varış noktaları arasında hava aracının hareketlerini kontrol etme, • Kaydetme aşamalarından oluşmaktadır. Hava seyrüseferi, yerde yapılan seyrüseferden (navigasyon) birkaç boyutu ile ayrılmaktadır. Daha yüksek hızda hareket, tepki ve karar verme süresinin daha az oluşu, seyrüseferin kesintisiz olması, iyi hesaplanması gereken yakıt miktarı, rota dışına çıkma ihtimalini barındırmaması ve yasal düzenlemeler bunlardan bazılarıdır. CNS/ATM bünyesine dâhil olan seyrüsefer, yüksek hassasiyete sahip güvenilir ve kesintisiz bir kavramdır. Bunun için de dünya

çapında uydu teknolojisinin kullanılması gerekmektedir. Bu kapsamda hava araçlarının sahip olması gereken bazı cihazlar ve bu cihazlardan aldıkları bilgileri kullanarak uygulayacakları bazı usuller bulunmaktadır. Usuller PBN (Performance Based Navigation – Performansa Dayalı Seyrüsefer) terimi altında bulunmaktadır. RNP (Required Navigation Performance - Gerekli Seyrüsefer Performansı) Performansa Dayalı Seyrüsefer (PBN) usulleri altındaki maddelerden biri olan RNP, uçuşta uçuş rotası ve anlık pozisyonun yüksek doğruluk ve hassasiyet ile belirlenmesi ve uçak hareketlerinin bu kriterlere uyması için geliştirilen yöntemdir. RNAV'a benzer olarak radyo seyrüsefer yardımcı cihazlarına bağımlı olmadan rota planlaması ve uygulaması yapılan RNP'de performans kriterleri bulunmaktadır. Modern uçaklar gitgide artan oranda RNAV usullerini uygulayacak ekipmanlarla donatılsa da hâlen hava sahasındaki sıkışıklık çözülebilmemiş değildir. Bunun için rotaların daha esnek olarak planlanması ihtiyacı devam etmektedir. RNP yüksek performans doğruluğu içerdiğinden daha esnek rota planlaması sunmaktadır. GNSS Dünya çapında pozisyon ve zamanlama doğruluğunu sağlayan GNSS, hava araçlarındaki alıcılar sayesinde RNP prosedürlerini uçuşun her aşamasında desteklemektedir. ABD'nin GPS sistemi ile Rusya'nın GLONASS sisteminden alınan verilerin RNP usullerinde kullanılabilmesi ve güvenilir olduğuna dair ICAO'nun sırasıyla 1994 ve 1996 yıllarında yaptığı antlaşmalar bulunmaktadır. Sistemin kullanılma aşamaları; uçak bazlı, yer bazlı ve uydu bazlı olarak üç gruba ayrılmaktadır. Daha önceki ünitelerde de değinilen yer destekli iniş sistemleri ile uydu destekli iniş sistemleri de (GBAS, SBAS) bu hizmetlere dâhildir. Yaklaşma, İniş ve Kalkış İşlemleri ICAO tarafından tanımlanan hassas yaklaşma usulleri Annex 10, Bölüm 1'de belirtilmiştir. Zamanla GNSS teknolojisi ve GBAS, SBAS usulleri kullanılarak yapılan işlemler sonucunda hizmet vermekle yükümlü devletler geleneksel radyo seyrüsefer cihazlarının ileride kullanılıp kullanılmayacağını işletme maliyetleri ve yatırım ilkeleri gereğince inceleyeceklerdir. Verimsiz görülen radyo seyrüsefer hizmetleri, GBAS ve SBAS sistemlerinin aktif olarak tüm dünyada kullanılabilir hâle gelmesinin ardından kapatılacaktır. (VOR, DME, ILS gibi) Yeni Teknolojiye Geçiş Hava sahaslarının daha esnek kullanımı sonucunda edinilecek kazanımlar konusunda üye devletler ve hava yollarının bilgilendirilmesine karar verilmiş, sistemlerin güvenilirliğinin kanıtlanması için özellikle teçhizat üreticilerinden doğruluğu yüksek testler yapılması istenilmiştir. Türkiye'de diğer ülkeler gibi bu değişime hazırlanmakta, RNAV ve RNP usulleri için havacılık haritaları düzenlenmektedir. Ülkemiz adına SHGM tarafından ICAO'ya sunulan 07.06.2016 tarihli Türkiye'nin PBN Geliştirme Planı bulunmaktadır. Gözetim (Surveillance) Gözetim hava trafik üniteleri tarafından hava aracının pozisyonunu belirlemek için kullanılan sistemlerdir. PSR (Primary Surveillance Radar, Birincil Gözlem Radarı) PSR kendi eksenini etrafında 360 derece dönüş sağlayarak havaya elektromanyetik dalga gönderme ve hedeften yansıyan dalganın işlenmesi prensibine göre çalışır. Dalganın gidiş-dönüş süresi hesaplanarak pozisyonu bulunur ve radar ekranı üzerinde gösterilir. Tek taraflı çalışan sistemler altında incelenmesinin sebebi, hava aracının pozisyonunu belirlerken uçak veya helikopterde bu elektromanyetik dalgaya cevap verecek herhangi bir cihaza ihtiyaç duyulmamasıdır. SSR (Secondary Surveillance Radar, İkincil Gözlem Radarı) PSR radarının karşılıksız çalışmasına tezat olarak SSR radarı tanımlama için hava aracından kendisine gönderilen bir sinyale ihtiyaç duymaktadır. Sistem sorgulayıcı sinyal ile uçağın transponder cihazına ulaşır ve uçak tarafından cevap sinyali ile karşılık verilir. Bu sayede uçağın kimliği, irtifası, konumu ve uçuş yönü edinilebilir. ADS-B (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast -- Otomatik Bağımlı Gözetim -Yayın) ADS-B gözlem işleminde kullanılan, uçak tarafından uydulardan alınan veriler aracılığı ile yapılan pozisyon tespitinin yayınlanması ve bir alıcı aracılığıyla edinilmesi ilkesine göre çalışmaktadır. Yayınlanan bilgi hava trafik ünitelerince tıpkı SSR radar da olduğu gibi alınabilir. SSR'nin aksine yerden havaya bir sinyal gönderilmesine gerek duyulmamaktadır. ADS-B sayesinde havada bulunan diğer araçlara da bu bilgiler iletilebilmektedir. Buradaki otomatik terimi pilot tarafından yayınlanmaya ihtiyaç duyulmadığı ve sistemin verileri kendisinin yayınladığı anlamına gelmektedir. Bağımlı ise yayılan verilerin doğruluğunun hava aracının seyrüsefer sistemlerine bağımlı olduğunu belirtmektedir. ADS-B ile havacılık emniyeti ve etkinliğinde artış beklenmektedir. Başta ABD olmak üzere bazı ülkeler hava sahasını kullanacak hava araçlarına ADS-B zorunluluğu getirmeyi planlamaktadır. 27 Mayıs 2010 tarihinde FAA, 2020 yılından itibaren tüm hava sahası kullanıcılarının ADS-B vericileri ile donatılması gerektiği kararını duyurmuştur. ADS-B yayınlarının yerden alınması ve işlenmesi nispeten ucuzdur. Basit bir USB Radyo/TV alıcısı ile edinilebilen yayın açık kodlu bilgisayar programında işlenerek evde dahi uçakların pozisyonları görüntülenebilmektedir. ATM (Air Traffic Management, Hava Trafik Yönetimi) Hava Trafik Yönetimi (ATM) hava aracının kalkış noktasından iniş noktasına seyrüseferinde kullandığı havalimanı sahaları, kontrol sahaları, üst geçiş yolları vb. alanlarda Hava Trafik Hizmeti (ATS), Hava Sahası Yönetimi (ASM) ve Hava Trafik Akış Yönetimi (ATFM) dâhil olmak üzere verilen hizmetlerin bütünüdür. Otomasyon Otomasyon genel olarak üretilen hizmet veya malın insan faktörünün en az veya otomasyon öncesine göre azaltılması prensibine dayanmaktadır. CNS/ATM otomasyonu 1950'li yıllarda başlamıştır. Uçuş planları, uçuş emniyet mesajları ve NOTAM'lar bu verilere örnek olarak verilebilir. Bilgisayarların gelişmesi ve yaygınlaşması ile ATM sistemlerinde insanların yaptığı bazı işlemler tamamen bilgisayarlar tarafından yapılır hâle gelmiştir. Temel olarak üç alanda ATM otomasyonundan söz edilebilir: • Veri

değişimi/iletimi: ATM otomasyonunda kullanılan ilk alandır. • Güvenlik: Çarpışma uyarı sistemi ve insan kaynaklı hataların ortadan kaldırılmasını amaçlamaktadır. • Etkinlik: Hava sahasının verimli şekilde kullanılabilmesi için hava trafiğini yöneten üniteye yardımcı olacak sistemlerden oluşmaktadır. ATM'nin otomasyon aşamasında sisteme duyulan güvensizlik, insan-bilgisayar etkileşimi, sistemlerin birbirine bağımlılığı gibi bazı güçlükler ile karşılaşmaktadır. Bu sebepten değişim süreci istenilen kadar hızlı olmamaktadır. ATFM (Air Traffic Flow Management, Hava Trafik Akış Yönetimi) ATFM, kapasitenin etkin kullanımı için hava sahası ve havalimanı trafiğinin planlanması olarak tanımlanabilir. Havalimanında bulunan pisti aynı anda iniş veya kalkış için kullanabilecek uçak sayısı 1 olduğundan, sürekli akışın olduğu bir havalimanında yer hareketlerinden iniş kalkış zamanlarına kadar her husus titizlikle planlanmalıdır. Bunun için önce kapasite belirlenmelidir. Kapasite pist sayısından, pistlere bağlanan taksi yollarının konumları ve sayılarına, meteorolojik şartlara kadar birçok etmeni içermektedir. Avrupa'da hava trafiğinin akışını takip etmek, hava sahası ve hava limanlarının kapasitelerinde kullanımını sağlamak amacı ile CFMU (Central Flow Management Unit, Merkezi Akış Yönetim Birimi) bulunmaktadır. Ülkemizin de dâhil olduğu tüm EUROCONTROL bölgelerinde IFR uçuş planları bu üniteye gönderilmekte böylece havalimanları ve hava trafik kontrol sektörlerinin verimli olarak işleyecek şekilde planlanması yapılmaktadır. Uçuş planlarının yanı sıra gecikme, iptal ve uçuş planında yapılan değişiklikler de bu merkeze bildirilir. A-CDM; Airport Collaborative Decision Making, Havalimanı İşbirliğine Dayalı Karar verme sistemi sayesinde yaşanacak olası gecikmelerin önüne geçilmesi, böylece yakıt ve işgücü tasarrufu hedeflenmektedir. Uçuşun gerçekleştirilmesinde görevli birçok kurumun temsilcisinin bir araya gelmesi ile kurulan kurul tarafından yürütülür. Uçuşun her aşaması izlenerek hava limanı planlaması sürekli olarak yeniden yapılır.

Harita terimi ve haritacılık; tarihi milat öncesi dönemlere dayanan, günümüzde de gerek teknik ve gerekse sosyal olarak geliştirilmekte olan bir disiplin ve terimdir. Tarih boyunca kurulan medeniyetlerin gelişimi ve tarihsel olarak günümüze aktarımında önemli rol oynamıştır. Haritacılık dünyanın küreselleşmesinde kullanılan araçlardan birisi olarak bugün var olduğu gibi gelecekte de var olacaktır. Harita Genel Müdürlüğü tanımına göre: “Harita, bir arazi parçasının belli bir projeksiyon sistemine göre küçültülerek belirli ve benzer işaretlerle gösterilmesidir.” şeklinde ifade edilmektedir. Havacılıkta kullanılan haritalar ve seyrüsefer amaçlı olarak harita yapımı Wright kardeşlerin ilk uçuşu yapmasından kısa bir süre sonra ihtiyaç olarak ortaya çıkmaya başlamıştır. Yapılan ilk haritalar gözle görünen arazi veya pilotun tanımlayabileceği nesnelere harita üzerinde gösterimi ile başlamıştır. Zaman içinde radyo dalgaları ile seyrüseferin başlamasına müteakip aletli uçuş geliştirilmiş ve ihtiyaç duyulan haritaların kapsamı ve çeşitliliği farklılaşmıştır. Özellikle İkinci Dünya Savaşı sırasında hava haritacılığına özel olarak önem verilmiş ve süreç boyunca hem ilgili disiplinde gelişmeler kaydedilmiş hem de savaş sonrasında sivil kullanıma da uygun düşecek şekilde havacılık haritaları üretilmiştir. Bunun yanında seyrüsefer emniyetini üst düzeye çıkarabilmek amacıyla uçakta kullanılan seyrüsefer sistemleri için de haritalar üretilmektedir. Otopilot veya uçaktaki seyrüsefer sistemleri ile uyumlu haritalar özel teşebbüsler başta olmak üzere ülkeler tarafından da ICAO format ve gerekliliklerine uygun olarak tasarlanmakta ve tüm dünyada uçucular tarafından kullanılmaktadır.

HARİTA

Tarihsel Gelişim Tarihte bilinen en eski haritalardan birisi Çatalhöyük şehir planı olup M.Ö. 8200 yılında yapıldığı sanılmaktadır. Bu şehir planı, Çatalhöyük'te bir evin duvarına çizilmiş, bulunduktan sonra Ankara'da Anadolu Medeniyetleri Müzesi'nde sergilenmektedir. M.Ö. 575 yılında Tales'in öğrencisi Anaksimandros belli bir bölgenin haritasını yapan ilk insan olarak tarihe geçmiştir. Aristoteles ekvator ile dünya yörüngesi arasındaki eğim açısını hesaplamış ve M.Ö. IV. yüzyılın sonuna doğru Rodos adasının enlem bilgileri kesin olarak hesaplanmıştır. Ülkemizin tarihi açısından harita kelimesi bizlere Piri Reis'i hatırlatmaktadır. 1517 yılında I. Selim'e 1513 yılında hazırladığı dünya haritasını sunan Piri Reis, 1525 yılında Kanuni Sultan Süleyman'a Akdeniz Kıyı Haritasını sunmuştur. 2013 yılı dünya haritasının 500. yılı dolayısıyla UNESCO etkinlikleri kapsamında İstanbul'da “Piri Reis ve 1513 Dünya Haritası: 500 Yılın Gizemi” başlıklı, bir sergi düzenlenmiştir. 1727 yılında İbrahim Müteferrika tarafından taş baskı ile haritaların çoğaltılması kartografik faaliyetlerin başlangıcı olarak anılmaktadır. 1803 yılında Müderris Abdurrahman Efendi tarafından Avrupa atlaslarından yararlanılarak ilk atlas basılmış ve 1862 yılında Üsteğmen Hafız Ali tarafından Osmanlı Hudutlarını doğrulukla gösteren atlas üretilmiştir. Dünyaya paralel olarak ülkemizde de gelişen haritacılık faaliyetleri için kamu kurumları kurulmuş ve ülkenin tamamı 1/25000 ölçeğinde haritalandırılmıştır. Sivil ve askerî amaçlar için üretilen haritalar günümüzde de güncellenmeye devam etmektedir. Havacılık haritaları için gerekli bilgilerin derlenmesinin ardından hava limanlarına ait haritalar DHMİ (Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü) tarafından hazırlanmakta ve basılmaktadır. Bunun yanında Hava Kuvvetleri Komutanlığı tarafından hazırlanan hava haritaları da bulunmakta ve aynı amaçlar için kullanılmaktadır. Temel Kavramlar Harita Projeksiyonu: Dünyanın şekli dönelel elipsoit olarak tanımlanmakta, yaklaşık olarak küreye benzemektedir. Eğri bir alanın kâğıt gibi düz bir alana geçirilmesi zorluklar içermektedir. Bu yüzey bilgilerinin geometrik ve matematiksel kurallar eşliğinde düzleme geçirilmesi işlemine Harita projeksiyonu adı verilir. Birçok projeksiyon yöntemi olmakla beraber, temel olarak 4 yöntemden bahsetmek yeterli olacaktır. Bunlar: Eckert IV, Merkator, Mollweide, Robinson Projeksiyonlarıdır. Koordinatlar: Bir nokta veya yerin harita üzerin tespit edilmesinde ve harita üzerindeki bir nokta veya yerin bildirilmesinde kullanılan sisteme harita bildirim (referans) sistemi denir. Bildirim sistemleri ya koordinat sistemleri ile aynıdır ya da koordinat sistemlerinden türetilmiştir. Standart topografik haritalarda iki koordinat sistemi yer almaktadır: a. Coğrafi koordinatlar b. Dik koordinatlar (iz düşüm koordinatları) Coğrafi koordinatlar enlem ve boylamlardan oluşur. Dik koordinatlar ise enlem ve boylam değerlerinin, matematiksel işlemler sonucunda kullanılan iz düşüm sistemine çevrilmesiyle elde edilen değerlerdir. Genelde iz düşüm koordinatları topografik haritalarda gösterilmesine rağmen küçük ölçekli tematik haritalarda sadece coğrafi koordinatların gösterilmesi yeterli olmaktadır. Dünyanın şekli dönelel elipsoit olarak tanımlanmakta, yaklaşık olarak küreye benzemektedir. Eğri bir alanın kâğıt gibi düz bir alana geçirilmesi zorluklar içermektedir. Dünya enlem ve boylamlara bölünerek (paralel, meridyen) konum

bilgisi bu enlem ve boylam numaralarına göre verilmektedir. Enlemler 0 ile 90 arasında, boylamlar 0 ile 180 arasında değer alır. Enlemler kuzey ve güneyi temsilen (N, S), boylamlar doğu ve batıyı temsilen (E, W) ile nitelendirilir. Enlem merkezi Ekvator çizgisi, boylam merkezi ise Greenwich üzerinden geçen 0 derece boylamı olarak kabul edilmektedir. Ölçek: Haritalarda ölçek kısaca küçültme oranını göstermektedir. Pay ve paydadın oluşan ölçek gösteriminde pay 1 değerini alır, Payda ise çizilen alanının kaç defa küçültüldüğünü göstermektedir. Örneğin 1/25,000 ölçekli haritada: Harita üzerinde ölçülen 1 cm, gerçekte 25,000 cm olarak var olmaktadır. HAVA HARİTALARI Tarihsel Gelişim Yeryüzü haritalarında yaşanan gelişmeler sonrasında uçuşların başlaması ile pilotlara rehberlik edecek haritalara gereksinim doğmuştur. Yeryüzü şekillerinin detaylı olarak düzleme geçirilmesinden farklı olarak başka ihtiyaçlar duyulan havacılık haritalarında yeni teknikler geliştirilmiş ve haritalar bu yöntem ve tekniklerle üretilmeye başlanılmıştır. Örneğin yeryüzü haritalarında tüm yükseltiler yerde bulunanlar için önemli iken uçucu personel için o bölgedeki en yüksek yükseltinin bilinmesi çoğu zaman yeterli gelmektedir. Uçakların göklerde yerini almasından önce askerî faaliyetlerde kullanılan balonlar için bu tür haritaların önemini ilk olarak belirten Prusyalı bir subay olan Herrmann Moedebeck (1857-1910) olmuştur. Onun belirttiği hususlardan yola çıkılarak uluslararası iş birliği için bir komisyon oluşturulmuş ve Brüksel’de toplanan bu komisyon hava haritalarının geliştirilmesi ve üretilmesi için kriterler belirlemiştir. Öncelik olarak uçucu ekip için tehlikeli alanların harita üzerinde gösterimi olmuştur. Birinci Dünya Savaşı sonrasında uzun menzilli uçakların geliştirilmesiyle birlikte hava taşımacılığında kullanılacak rotaların da haritalara taşınması yönünde beklentiler oluştu. Bu haritaları sağlamak için 1919 yılında Paris’te düzenlenen Uluslararası Hava Taşımacılığı Kongresinde Merkator projeksiyonunda Avrupa’yı kapsayacak şekilde haritaların üretilmesi kararlaştırıldı. Planlama, uzun mesafeli uçuş, kısa mesafeli uçuş ve iniş haritası olmak üzere dört çeşit harita planlandı. 1929 yılında ABD harita teşkilatları tarafından hava yolları için haritalar üretilmeye başlandı ve 1937 yılında 1:500,000 ölçekli haritaların üretimi tamamlandı. 1934 yılında Jeppesen şirketinin havacılık haritaları ve gerekli olan bilgileri içeren yaprak haritalarını piyasaya sürmesine kadar hazırlanan haritalar kullanıldı. ABD ordusunda yüzbaşı olarak görev yapan E.B. Jeppesen yaptığı uçuşlardan edindiği bilgileri not edip diğer uçuş ekiplerinden bilgiler toplayarak ilk havacılık bilgi paketini hazırlamış oldu. Daha sonra özel teşebbüs olarak yoluna devam eden Jeppesen günümüzde de havacılık haritalarında, tüm dünyadaki uçucuların kullandığı harita ve bilgileri üretmektedir. İkinci Dünya Savaşı sonrasında geliştirilen radyo seyrüseferi ile aletli uçuş yapılması kabiliyetine erişilmiş ve seyrüseferde kullanılan Büyük Çember (Great Circle) için en uygun projeksiyonların araştırıldığı süreçte Lambert Projeksiyonun kullanılmasına karar verilmiş ve bundan sonraki havacılık haritalarında bu projeksiyonun kullanılması kararına varılmıştır. 1947 yılında ICAO tarafından haritalar için standartlar belirlenerek günümüzde de çoğu kullanılan harita çeşitleri tanımlandı. Havacılık Haritası Türleri Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO) havacılık haritaları türleri, çeşitli haritaların kullanım amaçları ve açıklamalarını Annex 4- Aeronautical Charts (Havacılık Haritaları) belgesi ile yayınlamıştır. Yaşanan gelişmeler ışığında belge gerektikçe yenilenmekte ve tüm Dünya’da standartların oluşturulmasına rehberlik etmektedir. Bunun için kullanılacak sembollerden, harita büyüklüğüne, renklere, sınır gösterimlerine varıncaya kadar birçok bileşen net olarak ilgili belgede tanımlanmıştır. ICAO uçuşu 6 aşama olarak kabul edip yayınlanacak haritaların da bu aşamalardan hangisi içerisinde yer alacağına belirlenmesi ve ona göre etiketlenmesini istemektedir. Bu aşamalar: Park yerinden kalkış noktasına kadar taksi süreci, belirlenmiş yola girene geçen kalkış ve tırmanma süreci, hava yolu, alçalma, yaklaşma ve pas geçme, iniş ve park yeri için taksi sürecidir. Seyrüseferin emniyet içerisinde gerçekleştirilebilmesi için uçuşun farklı bölümlerine hizmet etmek üzere birçok harita çeşidi mevcuttur. Bu harita başlıklarının altında da kendi alt grupları oluşmaktadır. ICAO tarafından tanımlanan bazı harita türlerine değinmek gerekirse havalimanı mania haritası, havalimanı arazi ve mania haritası, hassas yaklaşma arazi haritası, seyrüsefer yol haritası, saha haritası, standart aletli kalkış haritası, standart aletli iniş haritası, havalimanı/heliport haritası, uçak park haritası olarak sayılabilir. Havalimanı/Heliport Haritası (AD/Heliport Chart) ICAO zorunluluklarına göre tüm apronları, uçak/helikopter park alanlarını, ışıklandırma, işaretlemeleri, pistleri, taksi yollarını, terminalleri, seyrüsefer yardımcı cihazlarının yerlerini, havalimanı referans noktasını, motor test alanını, hava limanı dâhilinde bulunan maniaları göstermelidir. Standart Aletli Kalkış Haritası (SID) ve Standart Aletli İniş Haritası (STAR), SID Hava aracının kalkış sonrası uygulayacağı usulleri göstermek için kullanılır. Kalkış aşamasından yol aşamasına kadar olan süreci kapsamaktadır. STAR ise hava aracının uçuş gerçekleştirdiği yoldan yaklaşma aşamasına kadar uygulayacağı usulleri göstermek için kullanılır. Seyrüsefer Yol Haritası, büyük ölçek kullanılarak ülkenin tamamını veya bir kısmını kapsayan, hava yollarını gösteren haritadır. Aletli uçuşlar için kullanılacak olan ATS ve RNAV yolları yanı sıra Yasak (P), Tehlikeli (D) ve Kısıtlı (R) sahalar da harita üzerinde gösterilmektedir. Dijital Harita Harita verilerin belirli formatlarda dijital hâle getirilmesinin ardından, önceden basılı olarak yapılan kullanılan çeşitli haritalar elektronik formata çevrilmiş ve geliştirilen yeni sistemler ile kullanılmaya başlanılmıştır. Özellikle seyrüsefer aşamasında Hareketli Harita (Moving Map) anlık olarak birçok bilgiye erişimi

kolaylaştırmış, planlama aşamasından başlayarak havacılık emniyetini artırmış ve uçuş ekibi üzerindeki iş yükünü azaltmıştır. ARINC 424 uluslararası olarak belirlenen Seyrüsefer Sistemleri Veri Tabanı Standartı'dır. 132 bit sabit uzunlukta veri sistemini kullanan format havalimanları, heliportlar, pistler, önemli noktalar, hava yolları, SID ve STAR'ları içerebilmektedir. İlk olarak 1975 yılında yayınlanan format, yapılan düzenlemeler ve geliştirmeler ile günümüzdeki hâlini almış, GPS'nin hizmete verilmesi ile uçuş bilgisayarları için vazgeçilmez verilerin sağlanacağı aracı hâline gelmiştir. Elektronik Arazi ve Mania Verisi anlamına gelen eTOD (Electronic Terrain and Obstacle Data) ile dünya yüzeyinde bulunan dağlar, tepeler, vadiler, kalıcı kar kütleleri, yapay yükseltiler uçuş sistemlerine aktarılarak GPWS başta olmak üzere uçuş güvenliği için elzem sistemlerin çalışmasına imkân tanınmaktadır. Özellikle son on yılda gelişerek günümüzde neredeyse tüm hava yollarının kullandığı EFB (Electronic Flight Bag – Elektronik Uçuş Çantası) taşınabilir bir cihaz içerisinde kurulu programlardan oluşmaktadır. Uçuş ekibi veya kabin tarafından farklı amaçlar için kullanılabilir. Uçuş ekibi tarafından kullanılabilen sistem, gerekli kriterleri sağlaması koşulu ile FMS (Flight Management System – Uçuş Yönetim Sistemi) bağlantılı olarak hareketli harita üzerinde gösterim yapabilmektedir. Hava seyrüseferinde planlama aşamasından başlayarak en önemli adımlardan biri sayılan NOTAM bilgileri de elektronik formata geçirilerek, anlık olarak dijital haritalar üzerinde gösterilmektedir. Özellikle uçuşa kapalı alanlar, TFR (Temporary Flight Restriction – Geçici Uçuş Kısıtlamaları) pilotun bilgi edinebilmesi amacı ile harita üzerine işlenerek uçuş rotasının belirlenmesi için yardımcı olmaktadır. Askerî çalışmalardan, volkan faaliyetlerine, rafinerilerin gaz salınımlarından, güvenlik önlemleri birçok sebebe göre hava sahasının tamamı veya bir kısmı kapatılabilmekte, uçuş düzenleyecek pilotların bu bilgilerden haberdar olması ve bu bilgiler eşliğinde planlamalarını yapması istenilmektedir. İster alçak ister yüksek seviyede olsun bir hava sahasına dair NOTAM'ları incelemek uçuş ekibinin saatlerini alacak işlem olduğundan bu bilgilerin dijital olarak gösterimi iş yükünü azaltmakta, havacılık emniyetini artırmaktadır. Eurocontrol projesi olan xNOTAM ile klasik NOTAM'ların dijital olarak yayınlanarak kokpit üzerindeki sistemlerde gösterimini hedeflemektedir. Dijital sistemler gelişip kullanımı yaygınlaştıkça hava seyrüseferi daha emniyetli ve verimli hâle gelmektedir. Deniz ve kara ulaşımına göre oldukça yeni kabul edebileceğimiz hava ulaştırması sektöründe teknolojiye paralel olarak atılımlar gerçekleşmekte ve günümüzden sadece otuz yıl öncesinde haritalar üzerine kalemler ile çizilen rotalar, NOTAM sahaları, iniş kalkış yolları ve uyarılar artık EFB sisteminde değinildiği gibi taşınır bir cihaz ile sağlanabilmekte ve yüksek doğrulukla işlemler gerçekleştirilebilmektedir.

Uyduya dayalı seyrüsefer/navigasyon sistemlerinin geliştirilip kullanıma sunulduğu dönemlerden önce radyo dalgaları veya alternatif teknikler ile yön, mevki bulma çalışmaları için farklı sistemler kullanılmıştır. Özellikle İkinci Dünya Savaşı sırası ve sonrasında geliştirilmeye başlanan sistemler askeri alanlarda olduğu kadar sivil amaçlar için de büyük faydalar sağlamıştır. Radyo dalgaları kullanılarak gerçekleştirilen seyrüsefer zamanla vazgeçilmez hâle gelmiş ve dünyayı kapsayacak şekilde genişletilmiştir. ABD tarafından geliştirilen LORAN (Long Range Navigation – Uzun Mesafe Seyrüseferi) 1940’lı yılların başında Sahil Güvenlik ve Deniz Kuvvetleri’nin kullanımı için çalıştırılmaya başlanılmış, zaman içerisinde kapsama alanı genişletilerek tüm dünyayı kapsayacak hâle getirilmiştir. İngiliz Gee sistemi ile senkronizasyonu ve sistemden alınan örneklerle yapılan güncellemeler sonucu havacılık alanında da kullanılmaya başlanılmış ve uzun süre hem havacılık hem de denizcilik alanında uzun mesafede doğru seyrüsefer hizmeti veren sistem olarak kullanımda kalmıştır. Yeni sistemlerin geliştirilmesi sonucunda yatırımlar ve işletimine son verilen sistem 1990’larda dahi Japonya’da balıkçılar tarafından kullanılır durumdadır. LORAN sistemine benzer olarak başta denizcilerin kullanımı için geliştirilen DECCA, yine İkinci Dünya Savaşı sırasında İngiltere tarafından geliştirilmiştir. LORAN’a göre daha yüksek hassasiyet ve doğruluk payı olan sistem uçaklarda harita üzerinde konumlandırma yapabilen ilk sistem olarak tarihte yerini almıştır. Askeri kullanım alanlarının yanı sıra İngiltere tarafından özellikle petrol platform operasyonları sırasında da yoğun olarak kullanılmıştır. Decca sistemi Avrupa’da 2000 yılına kadar hizmet vermeye devam etmiş ve 2001 yılında hizmet sona erdirilmiştir. OMEGA küresel olarak hizmet veren ilk radyo seyrüsefer sistemidir. ABD öncülüğünde altı ülke tarafından geliştirilmiştir. VLF (Very Low Frequency – Çok Düşük Frekans) radyo sinyalleri ile çalışan sistem verici ve alıcı olmak üzere iki temel birimden oluşmaktadır. 1971 yılında tüm dünyada kullanılır hâle gelen sistem GPS sisteminin devreye alınması ile 90’lı yılların sonunda kapatılmıştır. Lazer jiro (gyro) kullanarak bağlantı gereksiz seyrüsefer bilgisini kullanıcıya ileten IRS (Inertial Reference System) radyo dalgası veya GNSS sinyalleri gibi navigasyon bilgisi edinilebilen sistemlerden bağımsız olduğundan tercih edilmektedir. Temel olarak ivme ölçümü prensibine dayanan çalışması ile hava aracının hızını, yatış açısını, dönüş açısını sürekli olarak kaydeder. Kullanıma alındığı ilk pozisyona göre değişimleri hesaplayarak bulunulan konumu harita üzerinde gösterebilmek için ilgili sistemlere aktarır. Otomatik Pilot (Autopilot) için de IRS’den gelen bilgiler temel alınarak hava aracının manevra yapması sağlanır. LORAN İki veya daha fazla senkronize edilmiş vericiden (yayıncı) gelen sinyallerin zaman farkları veya faz farklarının hesaplanarak konum bilgisi alınması işlemine Hiperbolik Navigasyon (Seyrüsefer) Sistemi denir. LORAN ve OMEGA seyrüsefer sistemleri bu prensipler kullanılarak çalışmaktadır. LORAN, adını İngilizce Long Range Navigation / Uzun Mesafe Seyrüseferi teriminden almaktadır. Amerika Birleşik Devletleri tarafından İkinci Dünya Savaşı sırasında geliştirilen sistem aynı dönemde İngiltere’nin geliştirdiği Gee sistemi ile benzerlikler taşımaktadır. Amacı düşük frekanslarda yapılan yayının kullanıcı tarafından alınması ve buna dayalı olarak konum hesaplamasının yapılmasıdır. Gee sistemi daha düşük mesafede etkili olmasına, daha hassas konum bilgisi sağlamasına rağmen LORAN’ın avantajı Gee sistemine göre daha uzak mesafelere yayın yapabilmesi ve kullanıcıların nispi olarak daha az hassasiyete rağmen uzun mesafeden yön bilgisi alabilmesidir. 1942 yılında istasyonların kurulumlarına başlanılmış ve 1943 yılında sistem kullanılabilir hâle gelmiştir. Sistemin hassasiyetinin artırılması amacı ile kara istasyonları yanında balonda taşınan antenlerle sistem desteklenmiştir. Bu aşamada hassasiyet 50 m ve kullanım menzili 1600 km’ye kadar çıkartılabiliştir. Uzun mesafe seyrüseferi için radyo sinyalinin direkt alıcıdan edinilmesi yanında iyonosfer yansımasının da kullanılabileceği fark edilmiş ve çalışmalar bu alanda yoğunlaşmıştır. Gündüz ve gece koşullarında yansıma değerlerinin farklı olmasından dolayı kullanılan frekanslar gündüz ve gece frekansı olarak belirlenmiş ve HF (High Frequency) bandında yayın yapılmaya başlanmıştır. İkinci Dünya Savaşı sonunda 72 LORAN istasyonu ve yaklaşık olarak 75000 kullanıcısı bulunmaktadır. 1974 yılında LORAN-C ile beraber sinyallerin zaman farkının hesaplanması yerine faz farklarının hesaplanması ve böylece konumlandırma çalışması yapılmaya başlanılmıştır. Sistem kara vericileri ile gemi veya uçak üzerinde alıcı olmak üzere iki temel bileşenden oluşmaktadır. İstasyonlar genel olarak birbirlerinden 1000 km aralıkla yerleştirilmiştir, her biri 4 ayrı frekanstan yayın yapmaktadır. Daha hassas işleyen yeni sistemlerin geliştirilmesi ile beraber sistem yatırımlarına son verilmiş ve 1979 – 1980 yılından itibaren yeni yatırım yapılmamıştır. DECCA Decca seyrüsefer sistemi Gee ve LORAN’ın çalışma

prensibinden farklı olarak iki farklı frekanstan gelen sinyalleri kullanma kapasitesine sahip olarak tasarlanmıştır. 70 ve 129 KHz frekanslarındaki sinyaller işlenmektedir. Kullanıldığı döneme ait en büyük avantajı sistem alıcısının LORAN gibi CRT (Cathode Ray Tube – Katot Işını Tüpü) içeren ve pahalı olan bileşene ihtiyaç duymamasıdır. ABD tarafından temelleri atılan sistem İngiltere tarafından geliştirilmiştir. Yine İkinci Dünya Savaşı sırasında askerî amaçlar için kullanımına ihtiyaç duyulmuştur. Almanların LORAN ve Gee frekanslarını öğrenmeleri ve zaman zaman bu frekansları karıştıracak faaliyetlerde bulunması sonucunda bilinmeyen frekanslardan yayın yapmanın daha güvenli olacağı sonucuna erişilmiştir. Decca sistemi karaya konuşlandırılmış ve zincir prensibine göre yerleştirilen vericilerden gelen sinyallerin kullanıcı terminali tarafından alınıp işlenerek konum hesaplaması yapılması esasına göre çalışır. LORAN sisteminde olduğu gibi ana terminal yanında, bu terminal ile senkronize edilmiş tali terminalden gelen sinyallere de ihtiyaç duyulmaktadır. Terminal gelen sinyallerdeki faz farklarını hesaplayarak bir dizi hiperbolik çizgi pozisyonu elde eder. Diğer terminallerden gelen sinyaller ile elde edilen çizgiler ana hiperbolik çizgiler ile kesiştirilerek bulunulan konum hesaplanabilir. Gündüz menzili 750 km ve gece ise 450 km civarında değişmektedir. Verici istasyonları ile alıcı arasında mesafe arttıkça çizgiler arasındaki mesafe de artacağından kıyıya yakın bölgelerde hassasiyet daha fazladır. 1960'lı yıllarda ICAO'nun da çabaları sonucunda hava seyrüseferinde Decca sinyalleri kullanarak çalışan Dectra sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem sayesinde hava araçlarının anlık pozisyonlarının doğrulukla hesaplanması ve gerek seyrüsefer gerekse hava trafik yönetimi açısından avantaj sağlanması hedeflenmiştir. Aynı yıllarda kullanılmaya başlanan VOR/DME sistemi kısa mesafelerde daha doğru bilgi edinilmesini sağlasa da uzun mesafeli seyrüsefer için kullanışlı olmadığından Dectra sistemi kullanılmaya devam edilmiştir. İlerleyen zamanda LORAN, Decca ve VOR/DME birlikte alıp işleyerek kullanan uçuş bilgisayarları ve renkli radarlar geliştirilmiş ve konum hesaplama, uçuş mesafesi, otomatik pilot yönlendirmesi gibi işlemlerde kullanılmıştır. INS sisteminin bulunmasının ardından sisteme ihtiyaç kalmadığından yapılan geliştirme faaliyetleri sonlandırılmıştır. OMEGA İlk küresel seyrüsefer sistemi olan OMEGA, ABD öncülüğünde geliştirilmiş ve VLF sinyalleri kullanarak konum tespiti yapmak için tasarlanmıştır. Havacılık ve denizcilik sisteminde yoğun olarak kullanılan sistem 1971 yılında küresel olarak hizmet verecek kapasiteye ulaşmış ve 1997 yılında GPS sisteminin gerekli ihtiyaçları karşılaması sebebi ile kapatılma sürecine girmiştir. Daha düşük dalga boyuna sahip frekanslar ile çalışmak üzere 1968 yılında kurulan sekiz verici ile sistem ilk olarak işlevsel hâle getirilmiştir. Her verici üç farklı dalga boyundan birbirleri ile senkronize yayın yapar ve dördüncü bir yayın ile istasyon kodunu kullanıcıya bildirir. Yapılan yayınların arasındaki zaman farkı belirlenmiştir ve kullanıcı terminaline ulaşan yayın sayesinde konum tespiti yapılabilir. Sistem diğer radyo seyrüseferi kullanan sistem ile aynı ilkelere göre çalışmaktadır. Karada konuşlu alıcıdan gelen sinyal kullanıcı terminaline ulaşır, sonra ikinci bir sinyal daha alınarak aradaki gecikme süresi üzerinden bu vericiye olan mesafe hiperbolik bir eğri olarak elde edilir. İkinci bir vericiden alınan sinyaller ile yapılan aynı işlemler sonucunda bu eğrilerin kesişim yeri kullanıcının bulunduğu yeri göstermektedir. Atomik saatlerin geliştirilmesi ile alınan bilgi doğruluğu arttığından OMEGA sistemi özellikle uzun mesafede kullanılabilir ve güvenilir hâle gelmiştir. GPS sisteminde elde edilen başarılar sonrasında OMEGA'nın kapatılmasına karar verilmiş ve ardından yayın kulelerinin çoğu sökülüştür. 30 Eylül 1997'de yayın kapatılmıştır. Günümüze kalan birkaç kule sistemi değiştirilerek denizaltılar ile haberleşme amacı ile kullanılmaktadır. Omega, Loran ve Decca sinyalleri kullanılarak yapılan seyrüsefer tekniği olan Hiperbolik Seyrüsefer alınan sinyaller aracılığı ile istasyonlara olan uzaklıkların hesaplanması esasına dayanmaktadır. Hiperbolik teriminin kullanılmasının nedeni; iki sinyali alındığı durumda olası pozisyonun bir hiperbolik eğri üzerindeki pozisyonlarda bulunma olasılığından kaynaklanmaktadır. Hiperbol tanım olarak düzlemde sabit iki noktaya uzaklıklarının farkı sabit olan noktaların geometrik yerleridir. Farklı istasyonlardan sinyaller alındıkça konum eğrileri üst üste çakışmaya başlar, böylece konum belirlemede doğruluk artırılmış olur. En az 3 istasyon kullanılarak yapılan konum belirlemeye dayalı olarak güvenli seyrüsefer yapılabileceği belirlenmiştir. RNAV seyrüseferinin temelleri de bu sistemlerin küresel olarak kullanılabilme imkânı doğduktan sonra atılmaya başlamıştır. Rota planlamalarında yolların, kapsama alanı Omega, LORAN gibi sistemlere nispetle daha az olan seyrüsefer yardımcı cihazlarına bağımlılığı ortadan kaldırma amacı taşımaktadır. Konumda hassasiyet arttıkça uçuş rotalarında serbestlik ve bunun getirisi olarak kısaltılmış rotalar, dolayısı ile ekonomik anlamda etkinlik hedeflenmiştir. Ancak hava araçlarının hızları ve bazı başka teknik sebeplerden dolayı hassasiyet istenilen seviyeye gelememiş ve böylece seyrüseferin tek başına bu sistemler aracılığı ile yapılmasının havacılık emniyetini sekteye uğratacağı belirlenmiştir. Hiperbolik seyrüsefer için kullanılan uçuş bilgisayar donanımlarının gelişmemiş ve günün şartlarına göre aşırı pahalı olmasından dolayı hava araçları da tam olarak bu cihazlarla donatılamamıştır. Kritik askerî görevler yapan hava kuvvetleri uçaklarında bu cihazlar yerleştirilmiş iken sivil kullanımda kendisine nispeten daha az yer bulmuştur. Günün teknolojisine göre oldukça pahalı sayılacak monitör, sinyal işlemcisi gibi donanımlar yaşanan gelişmeler sonucunda ucuzlasa da seyrüsefer tekniklerinde yaşanan gelişmeler sonucunda hassasiyet derecesi artırılmış sistemler geliştirilmeye çalışılmıştır. 1975 yılında Amerikan

Uzay Ajansı (NASA) ve Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) iş birliği ile birçok uçuş yapılmış ancak sonuç olarak yukarıda değinilen dezavantajlar gözlemlendiğinden gerek RNAV ve gerekse uzun seyrüseferde hassasiyetin istenilen seviyeye gelmesi için yüklü yatırım yapılması gerektiği duyurulmuştur. IRS Sabit bir kütle merkezi ile etrafında dönen tekerlerden oluşan bileşenlerden oluşan sisteme jiroskop (gyroscope) denilmektedir. Jiroskop dönen tekerlek, rotor ve eksenlerden oluşmaktadır. Yatay ve düşey eksenlerde dönebilen cihaz merkezde bulunan rotorun da dönmesi ile birlikte kararlılığa kavuşur ve doğrultusunu her koşulda korumaya devam eder. Jiroskobik atalet olarak anılan bu özellik kullanılarak birçok referansa ulaşılabilir. Gemi ve uçakların seyrüseferlerinde kullanılmaya başlanılan jiroskoplar zaman içerisinde daha hassas ölçüm değerlerinin ölçülebilmesi ve geliştirilen teknoloji ile birlikte daha hızlı hareket eden roketlerde de kullanılmaya başlanılmıştır. Tarihi 1800'lü yılların başına dayanan jiroskop Foucault Sarkacından başlayan geliştirme süreci sonucunda günümüzde mikro-mekanik, lazer, fiber optik ve aşırı hassas kuantum jiroskopu gibi birçok türe ayrılmaktadır. Jiroskop kullanılarak geliştirilen IRS (Inertial Reference System, Ataletsel Referans Sistemi) dışarıdan gelecek radyo veya GNSS sinyallerine ihtiyaç duymadan yapılan ölçümler ile konum hesaplamalarını yapmayı mümkün hâle getirmektedir. IRU'nun ana görevi düzlem boyunca hızlanmaları ve açısal olarak dönüş, yatış, yunuslama oranlarını gözlemlemektir. Her IRU üç lazer jiroskop ve üç ivmeölçerden oluşmaktadır. Gelen bilgiler bilgisayarda çözümlenerek aşağıdaki bilgilere ulaşmak mümkün olmaktadır: • Pozisyon (enlem, boylam) • Hareket (pitch, roll, yaw) • Doğru ve manyetik uçuş başı • Rüzgâr yönü ve hızı • Hız • İvme • Açısal oran bilgileri • İrtifa Uçağın ilk pozisyonu uçuş başlamadan önce sistem üzerine tanıtılır. Sonrasında sensörler aracılığı ile gelen bilgilerle pozisyon uçuş bilgisayarı tarafından uçuş süresince güncellenir. Zaman içerisinde edinilen deneyimler ile hata payı azaltılmış, böylece daha bir saatlik bir uçuş sonucunda 1.5 km'lik, kabul edilebilir bir düzeye getirilmiştir. Sistemin Uçuş Yönetim Sistemi (FMS) ve oto pilot ile uyumlu hâle getirilmesi sonrasında dışarıdan sinyal alınmadığı durumlarda dahi seyrüsefer yüksek hassasiyetle yapılabilmektedir. Günümüzde modern seyrüsefer sistemleri GNSS uydularından aldığı bilgileri IRS sisteminden alınanlar ile kullanarak haritalama yapmaktadır. Bunun sonucunda artan seyrüsefer güvenliği ve uçuş rotasında kesinlik sağlanmaktadır. GPS sistemi kendi başına yüksek hassasiyetli bilgi sağlarken IRS sistemi ile senkronize edilmiş sistem hata payını oldukça düşürmektedir. Sistemlerden birisinde oluşabilecek arıza veya hatalı bilgilendirmenin de böylece uçuş güvenliğini tehlikeye düşürmesinin önüne geçilmiş olur.