



HİPERSONİK TEKNOLOJİLER

TREND ANALİZİ HAZİRAN 2018



İşbu eserde yer alan veriler/bilgiler, yalnızca bilgi amaçlı olup, bu eserde bulunan veriler/bilgiler tavsiye, reklam ya da iş geliştirme amacına yönelik değildir. STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş. işbu eserde sunulan verilerin/ bilgilerin içeriği, güncelliği ya da doğruluğu konusunda herhangi bir taahhüde girmemekte, kullanıcı veya üçüncü kişilerin bu eserde yer alan verilere/bilgilere dayanarak gerçekleştirecekleri eylemlerden ötürü sorumluluk kabul etmemektedir. Bu eserde yer alan bilgilerin her türlü hakkı STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.'ye aittir. Yazılı izin olmaksızın işbu eserde yer alan bilgi, yazı, ifadenin bir kısmı veya tamamı, herhangi bir ortamda hiçbir şekilde yayımlanamaz, çoğaltılamaz, işlenemez.

 Mert GÖKDUMAN

1. GİRİŞ

Soğuk Savaş döneminin ardından ortaya çıkan yeni dönem, cephe savaşlarının yerini vekalet savaşlarının ve küresel terör organizasyonlarının almasına ve tüm bunlara bağlı olarak silahlanma yarışının büyümesine neden olmuştur. Bu rekabet ortamı ülkelerin savunma ve güvenlik politikalarını doğru kurgulama zorunluluğunu doğurmuştur. Yeni ihtiyaçlar yeni arayışları, yeni arayışlar ise yeni teknolojileri tetiklemiştir. Birçok alanda hissedilen bu dönüşüm en çok da savunma sanayi alanında karşılık bulmakta ve hemen hemen her gün yeni bilimsel ve teknolojik ilerlemelere, icat ve keşiflere tanıklık etmemizi sağlamaktadır. Yapay zekâ ve sinir ağları yardımıyla kendi kendini eğitebilen robotların sivil ve askeri alanlarda kullanılması, askeri eğitimlerde artırılmış gerçeklik uygulamalarıyla mükemmelleşen simülasyonlardan yararlanılması, güç ve itki sistemleri alanındaki Ar-Ge faaliyetlerinde yeni nesil tahrik sistemlerinin geliştirilmesi gibi ilerlemelere her gün bir yenisi eklenmektedir. Günümüzde ön plana çıkan ve ülkelerin ciddi yatırımlar gerçekleştirdiği alanlardan biri de hipersonik silahlar, seyir füzeleri, kıtalararası balistik füzeler ile Hipersonik Kayma Aracı (Glide Vehicle) diyebileceğimiz platformlardır.

2. HİPERSONİK NEDİR?

Uçak, füze, roket gibi yüksek hıza sahip sistemlerin hızları ses hızı baz alınarak belirtilir. Bir aracın hızının ses hızına oranı Mach değeriyle ifade edilir. Deniz seviyesinde ve 15 derece sıcaklıkta 340 m/sn (1224 km/s) olan ses hızı 1 Mach olarak kabul edilir. Bu miktar havanın yoğunluğuna ve sıcaklığına göre değişiklik

gösterir. Yani yükseklerle çıkıldıkça ses hızı azalır. Bu nedenle 1 Mach değeri de uçak ya da roket platformunun bulunduğu ortamın şartlarına göre değişiklik gösterir.

Sübsonik Sistemler ses hızının altındaki hızlarda hareket eden araçlardır. Portekiz Hava Kuvvetleri tarafından kullanılmakta olan F-84 Thunderjet savaş uçakları buna bir örnektir.

Transonik Sistemler, ses hızının hemen altında ve üstünde, 0,8 Mach ile 1,2 Mach arasında hızlarda uçan araçlardır. Türk Hava Kuvvetleri tarafından da geçmişte uzun süre kullanılan ABD yapımı F-86 Avcı uçakları bu tür uçaklardandı. En son 1994 yılında Bolivya Hava Kuvvetleri tarafından kullanılmış olan F-86 savaş uçakları,



Şekil 1: Dünya'nın en hızlı arabası kabul edilen Bloodhound SSC



Şekil 2: 6 Şubat 2018 tarihinde SpaceX tarafından fırlatılan ve bugüne kadar üretilen en hızlı roketlerden biri olan Falcon Heavy (<https://ideas.lego.com>)

ABD'nin Kore Savaşı'nda üstünlük sağlamasında önemli rol oynamıştı^[1].

Süpersonik Sistemler, ses hızının biraz üzerinde hıza sahip olan ve bu hızı uzun süre koruyabilen sistemlerdir. Bugün çoğumuzun yakından tanıdığı ve İkinci Dünya Savaşı sonrası dönemde Lockheed Martin tarafından üretilip General Dynamics tarafından geliştirilen ve birçok ülke tarafından kullanılan F-16 savaş uçakları bu kategoride yer alır^[2]. Süpersonik hıza sahip uçak ve füzelerin yanı sıra günümüzde ilk kez süpersonik bir araba da tasarlanmış ve bu arabayla yüksek hız rekorları kırılmıştır. Bloodhound SSC isimli araç Titanyum kaplama olup; jet, roket ve araba motoru olmak üzere üç motorlu olarak üretilmiştir. İngiltere kaynaklı olan bu araba 1600 km/s, yani yaklaşık 1,3 Mach hıza sahiptir^[3]. Bu, jet uçağından daha yüksek bir hızdır.

Asıl konumuz olan Hipersonik Sistemler, ses hızının en az 5 katı hıza sahip sistemlerdir^[4]. Bugün sadece hipersonik roketler bulunmaktadır. Ancak birçok ülke savaş uçaklarının ve balistik füzelerinin bu kabiliyete kavuşması için ciddi yatırımlar yapmakta ve bu alandaki Ar-Ge çalışmaları büyük bir hızla ilerlemektedir. Örnek olarak, SpaceX tarafından fırlatılan Falcon Heavy, yaklaşık 40.000 km/s hıza, yani 30 Mach üzerinde bir hıza ulaşmıştır^[5]. Ama asıl hedef bu hıza sahip cisimlerin atmosfer içinde sürtünmeden kaynaklanan yüksek ısı ve basıncın yol açtığı dayanma problemlerini aşmaktır.

Son dönemde, özellikle Rusya ve Çin gibi ülkelerin sıkça gündeme getirdiği ve dengeleri küresel çapta değiştirebileceğine inanılan hipersonik sistemleri biraz daha detaylı inceleyelim.

3. GEÇMİŞTEN BUGÜNE HIPERSONİK SİSTEM ÇALIŞMALARI

Günümüzde devletler, dünyanın her bölgesinde en çok üç saat içinde operasyon gerçekleştirme kabiliyetine sahip ve hava savunma sistemlerinin yetersiz kalacağı bu hipersonik hava araçlarını herkesten önce geliştirmek için çabalamaktadır. Bu devletler arasında Amerika Birleşik Devletleri, Rusya ve Çin gelmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri (ABD)

Amerika Birleşik Devletleri operasyon kabiliyetini geniş alanlara taşımak amacıyla dünyanın birçok bölgesinde askeri tesisler kurmuştur. Bu sayede askeri ve politik hamlelerinde ciddi hız kazanmış ve birçok bölgede kontrol mekanizmalarına sahip olmuştur. Ancak hipersonik teknolojilerin geliştirilmesiyle uzak bölgelere 2-3 saat içinde müdahale imkânı doğmuş olduğu için, hem bu bölgelerde askeri tesis bulundurmanın maliyeti tartışılır hale gelmiş, hem de bu tesislerin rakip hipersonik araçlara karşı korunması konusunda soru işaretleri doğmuştur.

Örnek olarak, Çin'in kendilerinden 20 kat daha fazla hipersonik silah test ettiğini ifade eden Pentagon yetkilisi Michael Griffin, Çin ve Rusya'nın geliştirdiği hipersonik silahlara karşı savunma sistemleri geliştirilemezse düzinelerce savaş uçağı taşıyan gemilerin bir öneminin kalmayacağını, sınır ötesinde görev yapan askerlerin risk altında olacağını vurgulamıştır^[6].

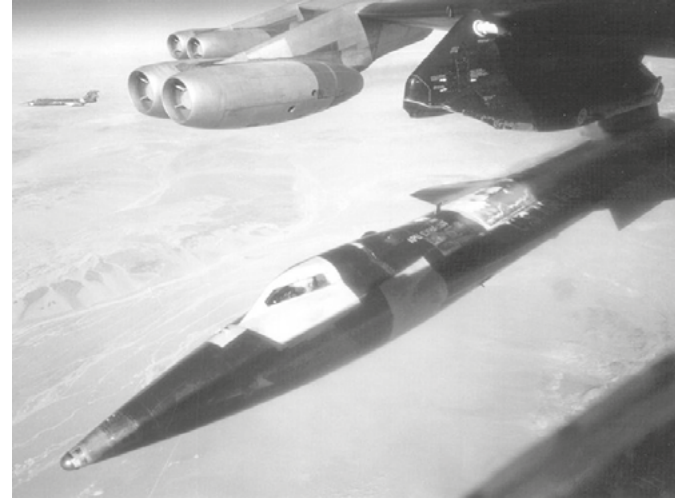
Rusya Devlet Başkanı Vladimir Putin tarafından yakın dönemde sergilenen hipersonik silahlar, ABD tarafında kaygı yaratmaktadır. Bu alanda Çin ve Rusya ile yarışıklarını belirten DARPA Direktörü Steven H. Walker, hipersonik silah geliştirme çalışmalarının yanı sıra, bu silahlara karşı koymada yetersiz kalan karadaki radar sistemleri yerine uzayda yörüngeye oturtulacak bir radar sistemi üzerinde de çalışıklarını ifade etmiştir^[7]. DARPA, NASA ve birçok özel kuruluş bu alanda Ar-Ge faaliyetleri gerçekleştirmektedir.

DARPA bu yıl içinde Orbital ATK ile 21,4 milyon dolarlık bir anlaşma imzalayarak, hipersonik araçlar için "Gelişmiş Tam Aralıklı Motor" geliştirme çalışmalarına başladı. Bu sistem geleneksel motorların ramjet motorlarla çift modla kombine olmasını sağlıyor^[8].

Dünden Bugüne ABD'de Hipersonik Araçların Gelişimi

ABD'de hipersonik alanındaki ilk faaliyetlerin NASA ile North America havacılık şirketi tarafından gerçekleştirilen çalışmalarla başladığını söyleyebiliriz. İlk hipersonik araç Neil Armstrong gibi ünlü astronotların da kullandığı X-15 uçağı olmuştur. 1959 yılında üretilen araç B-52 Stratofortress uçağı tarafından taşınarak havalandırılmakta ve havada seyir halinde iken serbest bırakılmaktaydı.

1963 yılında gerçekleştirilen testlerde 7200 km/s hıza ulaşarak rekor kıran bu araç aerodinamik ısınma, atmosfer



Şekil 3: X-15 Keşif Uçağının B-52 tarafından havada bırakıldığı ve bırakıldıktan sonra uçuş gerçekleştirdiği ana ait görüntüler (https://tr.wikipedia.org/wiki/North_American_X-15)

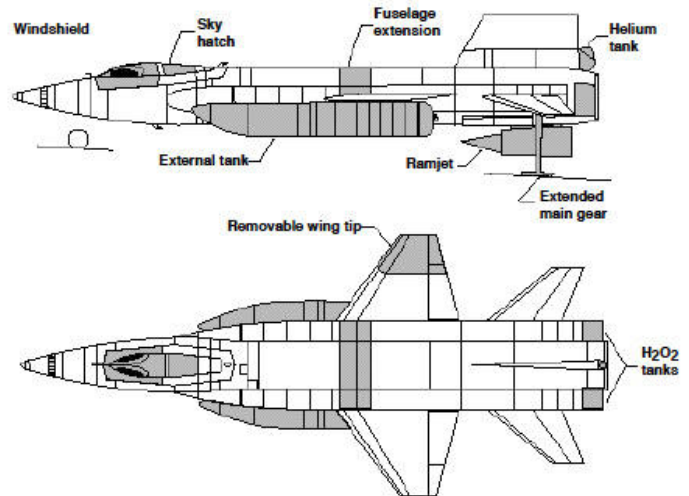
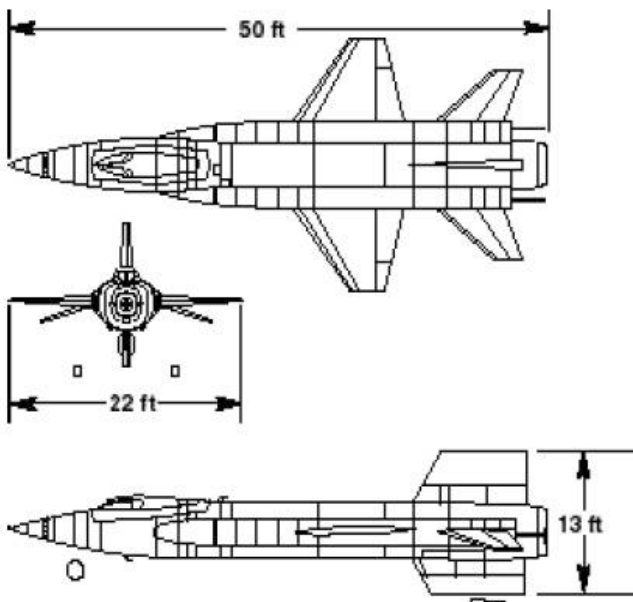
fere girişte kontrol, hipersonik hava akışı, hipersonik hızda kontrol ve kararlılık gibi konularda sonraki dönemler için ciddi veriler sağlamıştır^[9].

ABD tarafından tasarlanan bir diğer sonik uçak ise Lockheed SR-71 Blackbird uçağıdır. Ortalama 3,5 Mach hızla uçabilen ilk insanlı uçak olarak rekor kırmıştır. 1966 yılında casus uçak olarak üretilen uçak; kızılötesi yakalayıcılar, dönemin şartlarına kıyasla yüksek çözünürlüklü vericiler ve ısı algılayıcılarla donatılmıştı. Sovyetler Birliği'nin yıkılması sürecinde çok etkili olduğu inancı yaygındır^[10].

Yaklaşık 85 bin feet yüksekliğe çıkabilen bu uçak yüksek irtifa rekorunu da elinde bulundurmaktadır. SR-71'in neredeyse atmosfer sınırına denk bir yükseklikte uçabilmesi sürtünmeden kaynaklı ısınma, aerodinamik ve itiş sistemleri gibi alanlarda ideal bir platform olmasını sağlıyordu.

SR-71, ciddi maliyetlere neden olduğu ve yeni teknolojik gelişmelerden yararlanacak şekilde yeniden tasarlanması gerektiği öne sürülerek 1998'de emekliye ayrılmıştı. Lockheed Martin'in İleri Gelişim Programı Skunk Works yetkilileri; 2017 yılında yaptıkları bir açıklamayla, uzun zamandır Blackbird'ün devamı niteliğinde olan SR-72 üzerinde çalıştıklarını belirttiler. Jet motorunu Ramjet motorla birleştirerek hibrit bir motor ürettikleri için SR-72'nin çok daha hızlı olacağını ifade ettiler. Yaklaşık 6 Mach hıza erişmesi beklenen SR-72 Son of Blackbird ayrıca insansız olarak tasarlanan ilk hipersonik jet olarak dikkat çekiyor.

Ancak Lockheed Martin Başkan Yardımcısı Jack O'Banion geçenlerde yaptığı bir açıklamada, tasarım ve simülasyonların yıllar önce tamamlanmış olmasına rağmen uçağın günümüz şartlarındaki teknolojiyle üretilmesinin hâlâ ciddi



Şekil 4: X-15 Keşif Uçağının NASA tarafından yayınlanan modifikasyon çizim görüntüleri (<https://www.nasa.gov/centers/armstrong/news/FactSheets/FS-052-DFRC.html>)



Şekil 5: Lockheed SR-71 Blackbird Jet Uçağının görüntüsü (<https://www.lockheedmartin.com>)



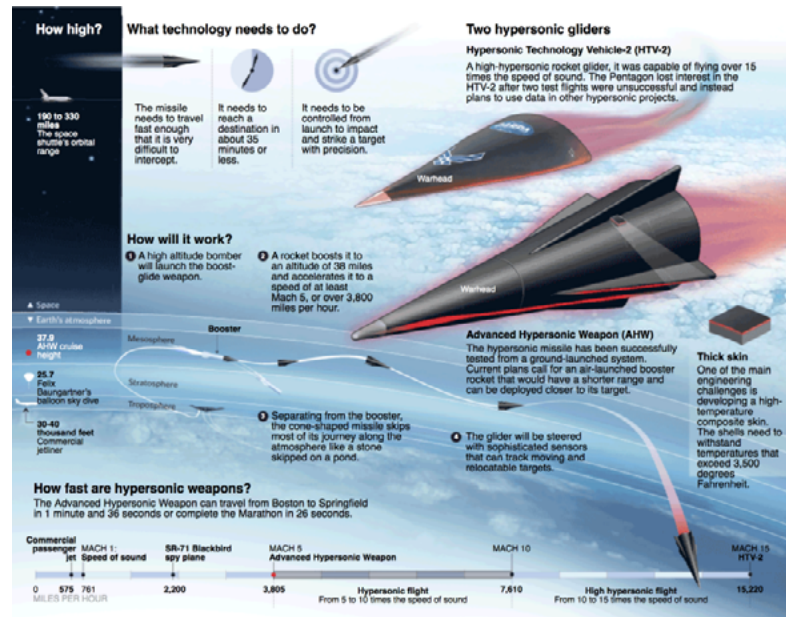
Şekil 6: Boeing-52B Stratofortress uçağından serbest bırakılan ve Scramjet motorlarıyla harekete geçirilen bir X-43 Hava Aracı (https://en.wikipedia.org/wiki/NASA_X-43)

zorluklara sahip olduğunu ifade etti. SR-72'nin ilk prototipinin 2030 yılında üretilebileceği düşünülmüştür^[11].

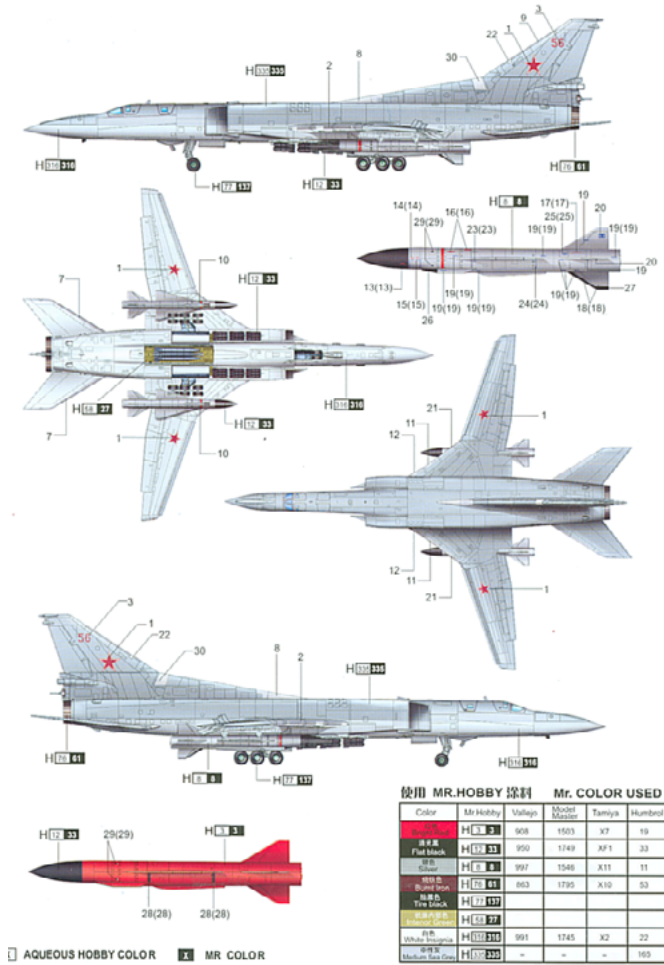
NASA ve Boeing tarafından üretilen bir diğer hipersonik uçak olan X-43, tıpkı X-15 gibi yine Boeing-52 uçağından bırakılarak harekete geçirilen insansız bir araçtır. X-43, 2004 yılındaki test uçuşunda yaklaşık 9,4-9,6 Mach hıza ulaşarak SR-71'in rekorunun üç katı bir hıza ulaşmayı başardı^[12]. Toplam üç adet üretilen X-43 aracının ilki test sürüşü sırasında patlamış, diğer ikisi ise başarılı şekilde uçarak gösteri ve deneme görevlerini yerine getirdikten sonra okyanusa çakılarak indirilmiştir. Scramjet motorlarıyla Pegasus roketlerinin birlikte kullanıldığı bu araç yaklaşık 10 Mach hıza çıkabilme konusunda ciddi geribildirim alınmasını sağlamıştır. Ancak uçuştan sonra yere indirilemeyen, tek kullanımlık olarak üretilen bu araçlar büyük maliyetlere sebep olmaktadır.

DARPA tarafından 2010 yılında başlatılan hipersonik insansız araç tasarlama çalışmaları kapsamında üretilecek olan aracın kaldırma/sürükleme oranının 3,5-4 bandında olması planlanmaktadır^[13].

Blackswift (diğer ismi HTV-2) olarak adlandırılan ve 2025 yılına kadar tamamlanması hedeflenen bu aracın yerden otonom kalkış yapabilen, 2 saat havada kalabilen, 5400 kg faydalı yük taşıyabilen ve 16.650 km uzaklığa kadar erişebilen hipersonik bir seyir aracı olması amaçlanıyor. Bu aracın daha sonra geliştirilerek HTV-3



Şekil 7: Falcon Projesi kapsamında tasarlanan HTV Hipersonik Hava Araçları (<https://www.nextbigfuture.com/2016/09/fighter-engine-size-hypersonic-ground.html>)



Şekil 8: Tupolev Tu-22 Uçağı (https://www.cybermodeler.com/aircraft/tu-22m/tu-22m_profile01.shtml)

ve bir adım ileride HCV isimleriyle revize edileceği dile getirilmektedir.

Rusya

Rusya, özellikle son dönemde hipersonik sistemler üzerinde çalışmalar gerçekleştirdiğini ve ciddi ilerlemeler kaydettiğini sık sık dile getirmektedir.

Rusya, ilk başta Tupolev Tu-22 gibi bombardıman araçlarını tasarlama aşamasındayken o dönemin şartlarına uygun olarak süpersonik teknolojilere erişmek için çabalamış ve bugünlere gelmiştir.

Sesten hızlı uçaklar listesinin nadide üyelerinden biri olan Tupolev-22 uçağı 1959 yılında üretilmişti. 2000'li yılların başında kullanımı sonlandırılan uçak özellikle Ortadoğu ülkeleri tarafından yoğun şekilde tercih edilmiş ve Irak-İran Savaşı'nın baş aktörlerinden biri olmuştu. Yaklaşık 1,5 Mach değerine ulaşan hızıyla döneminin nadir süpersonik uçakları olan Tu-22 sonraki dönemler için büyük bir know-how kaynağı oluşturmuştur^[14].

Rusya tarafından ABD'nin SR-71 Blackbird uçağına rakip olarak üretilen MiG-25 Bombardıman-Avcı uçağı, hipersonik teknolojiler yolunda önemli platformlardan bir diğeri olmuştur. Sesin 3,2 katı hızla hareket ederek döneminin en hızlı uçaklarından biri olan MiG-25 keşif uçağı olarak da kullanılıyordu. Fazla ısınmanın söz konusu olduğu yüksek hızlı uçaklarda, normalde yaygın olarak kullanılan alüminyum alaşımlar kullanılamamaktadır. ABD tarafından üretilen örneklerde genellikle titanyum kullanılırken Rusya bu sorunu nikel-çelik alaşımı kullanarak aşmaya çalışmıştır^[15]. Üretim teknolojisi ve kullanılan hammaddeler nedeniyle dayanıksız olduğu eleştirilerine maruz kalmasına rağmen MiG-25, kullanımda olduğu süre boyunca hiçbir soruna neden olmamıştır. 1970'de hizmete alınan uçak günümüzde, sınırlı sayıda da olsa, bazı Orta Asya ülkeleri tarafından kullanılmaktadır.

Yüksek hız avantajına karşı havada kalma süresindeki düşüklük MiG-25 Avcı uçaklarının en büyük dezavantajı olarak ifade edilmiştir. Menzili yalnızca 1200 km olan uçak havada kalma süresinin artırılması ve yakıt tüketiminin düşürülmesi amacıyla 2,5 Mach değerinde bir hıza sabitlenmişti.

MiG-25 tasarım ve kabiliyetleriyle, ABD tarafında ciddi şaşkınlık yaratmaktaydı. 6 Eylül 1976 tarihinde Rus pilot Viktor Belenko bu uçaklardan birini alarak kaçmış ve Japonya'ya iltica etmişti. Ardından ABD'li uzmanlar hemen harekete geçerek uçağı incelemeye girişmiş ve 67 günlük incelemenin ardından tespit ettikleri teknoloji karşısında şaşırıldıklarını dile getirmişlerdi. Uçağın; sonik



Şekil 9: Rus yapımı Bombardıman ve Avcı Uçağı MiG-25 sesten 3,5 kat hızlı uçabiliyordu (<http://www.goklerdeyiz.net/mig-25-foxbat-ucan-alkol-tankeri/>)

hızlara ulaşmasını sağlayan yüksek itiş gücüne sahip motorları, uzun menzilli radar sistemleri, aynı anda birçok ayrı hedefe radar kilitlenme kabiliyeti gibi teknolojileri şaşkınlık yaratmıştı^[16].

Rusya tarafından yapılan bu çalışmalar, SARMAT kıtalararası balistik füzelerinin her birinde 3 adet yer alacağı belirtilen hipersonik YU-74 ve YU-71 planörlerinin üretimine olanak sağlamıştır. YU-74 ve YU-71 yapı ve yetenekler bazında değerlendirildiğinde ABD’de yürütülen Falcon Projesi kapsamında üretilen HTV serisine benzerlik göstermektedir. 5-10 Mach arası bir hıza sahip olması planlanan bu araçlar insansız şekilde dizayn edilmiştir^[17].

Bugün Rusya’da Stratejik Füze Kuvvetleri Günü’nün özel bir gün olarak kutlanması, hava savunma sistemlerine verilen önemi gözler önüne sermektedir. Rusya’ya komşu olan bazı NATO üyesi ülkelerde özellikle son dönemde hava savunma mekanizmalarının artırılması, Rusya’yı rahatsız etmekte ve hipersonik faaliyetlerin hızlanmasının temelinde bu rahatsızlığın yattığı bilinmektedir.

Moskova İleri Araştırmalar Vakfı tarafından tasarlanan ve Cisim 4202 olarak adlandırılan hipersonik hava aracının 2016 yılında Orenburg Bölgesinde iki kez test edilerek, yüksek başarı oranına sahip olduğu duyuruldu. Hipersonik başlık sayesinde atmosferin yoğun katmanlarında hareket edebilen bu araçlara, hava savunma sistemleri tarafından o yükseklikte müdahale edilmesinin mümkün olmadığı belirtilmektedir. Bu durumun ileride koşulsuz eşitlik sağlayacağı öngörülmüyor^[18].

Rusya Devlet Başkanı Vladimir Putin, geçtiğimiz günlerde yaptığı yıllık “ülkenin durumu” konuşmasında Rusya’nın ileri teknoloji altı yeni silah ürettiğini açıkladı. Putin bu konuşmasında hipersonik teknolojilerin üretilmesi ve geliştirilmesi çalışmalarından vazgeçmeyeceklerini vurgulayarak, ABD’nin savunma sistemlerine yakalanmayan; güdümlü, coğrafi analizler yaparak konum ve hareket alanını kendi belirleyebilen yeni bir hipersonik füze ve planör ürettiklerini açıkladı. 20 Mach’ın üzerinde bir hıza sahip olduğu belirtilen planörün 2000 derece yüzey sıcaklığına dayanabildiği belirtildi^[19]. ABD’li bazı kaynaklar bu iddianın doğru olmadığını, açıklamanın



Şekil 11: Rusya’nın hedef ve engellere göre hareket alanını güncelleyebilen hipersonik füzeleri (<http://www.fresnobee.com/news/business/article202853244.html>)

Rusya’da 18 Mart 2018’de yapılacak seçimler nedeniyle Putin’in göz boyamasından ibaret olduğunu ileri sürmüştür^[20]. Bu yaklaşıma rağmen ABD’li askeri yetkililerin Rusya’nın hipersonik çalışmalarından duyduğu rahatsızlık bilinmektedir.

Çin

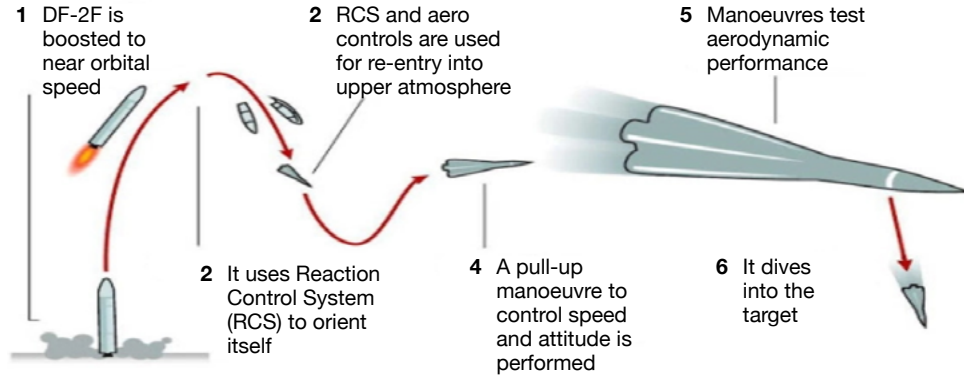
Çin özellikle 2000’li yılların başından itibaren Hipersonic Guide Vehicle – HGV alanına ilgi göstermeye başladı. 2014 yılından bu yana yedi test gerçekleştirmiş olan WU-14 hipersonik hava aracı; bir tanesi hariç bu testlerin tamamını başarıyla sonuçlandırmıştır. Çinliler tarafından DZ-ZF planörü olarak adlandırılan bu araç, ABD’nin HTV serisi ve Rusya’nın YU-74 araçlarıyla benzer özellikler taşımaktadır. HTV planörlerinin öngörülen hızı 20 Mach iken DZ-ZF aracının test edildiği hızlar şu an 10 Mach civarında bulunuyor. Ancak prototipin üretilmiş ve testlerin başarıyla tamamlanmış olması, özellikleri bakımından henüz bazı yetersizlikleri olsa da DZ-ZF aracını diğerlerinden birkaç adım öne çıkarmış durumda^[21].

DZ-ZF’nin yedinci testi, Çin’in Wuzhai bölgesinde 2016 yılında yapılmıştır. ABD’li kaynaklar aracın bu testlerde saatte 4000 ile 7000 mil arası hızlara ulaştığını bildirmiştir. Nükleer başlıklı balistik bir füzeye entegre şekilde fırlatılan ve 100 km yüksekliğe ulaştıktan sonra füzeden ayrılarak yüksek hızlarda ve orta sayılabilecek bir manevra kabiliyetiyle atmosfer sınırlarında hareket edebilen DZ-ZF planörü ABD’li yetkililerin, “Çin’in askeri modernizasyon çalışmalarını dikkatle takip ediyoruz” şeklinde açıklamalar yapmasına neden olmuştur^[22]. Nükleer başlıklı füzeler üzerinde gerçekleştirilen hipersonik çalışmalar konunun önemini artırmaktadır.



Şekil 10: Putin, Rusya’nın yeni silahlarını tanıtıyor (<http://www.thedrive.com/the-war-zone/18906/heres-the-six-super-weapons-putin-unveiled-during-fiery-address>)

How it flies



Şekil 12: Çin tarafından üretilen HZ-ZF hipersonik planörün havalanma sistemi (<https://nationaldefence.in/breaking-news/china-developing-high-technology-advanced-weapons-to-defeat-us-report/>)

4. HİPERSONİK HIZLARA SAHİP YOLCU UÇAKLARI MÜMKÜN MÜ?

Hipersonik kabiliyetlere sahip araçlar ekseriyetle askeri amaçlıdır. Ülkeler genel olarak savaş sahasında kullanılabilecekleri uçak, füze, roket gibi silahlı sistemlerle ilgili olarak hipersonik hızlandırma çalışmaları yapmaktadır. Ancak sesin birkaç katı hızla seyahat edebilen yolcu uçakları konusunda da son dönemde ciddi çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Boeing, Airbus gibi şirketler hipersonik yolcu uçağı çalışmalarına hız vermiş olmakla birlikte, Çinli şirketler bu alanda ciddi bir ilerleme kaydetmiş durumda. Yapılan açıklamalardan Çin'in 6080 km/s hıza ulaşabilen bir yolcu uçağı üzerinde çalıştığı anlaşılmaktadır. Çin ayrıca elektrikli yolcu uçağı, uzun menzilli uçaklar ve dünyanın en büyük amfibik uçağı projeleriyle de havacılık sektöründe ciddi ses getirmektedir. I Plane olarak adlandırılan hipersonik yolcu uçağı projesiyle Çin, dünyanın herhangi iki noktası arasındaki mesafeyi 3 saatin altına indirmeyi planlamaktadır^[23].

I Plane henüz prototip aşamasına dahi gelebilmiş değil; ancak Çin Bilimler Akademisine göre uçağın küçültülmüş bir modeli üretilerek rüzgâr tüneline hız testleri gerçekleştirilmiş. Sivri burun yapısı ve kanat kısmında hava sürtünmesini en aza indirmek için tasarlanmış setler yardımıyla yaklaşık 5-6 Mach hızlara ulaşacağı düşü-

nülen I Plane'in yolcu kapasitesinin 50 olacağı açıklanmıştır^[24].

Günümüzde yolcu uçakları ortalama 850 km/s hıza sahiptir, ancak geçmiş dönemde süpersonik hızlara ulaşan yolcu uçakları üretilmiş ve uzun dönemler kullanılmıştır. Concorde ve Tupolev Tu-144 yolcu uçakları tarihin ilk süpersonik yolcu uçakları olmuştur.

Havacılık Tarihinin Efsanesi: Concorde

İkinci Dünya Savaşı sonrası dile getirilen seston hızlı uçak hayali birçok ülkede ciddi karşılık bulmuş ve bilim insanları bunun mümkün olduğunu, gerekli yatırımların yapılmasıyla hayalin gerçek olabileceğini dile getirmiştir. İlk olarak İngiltere'de 1956 yılında "Seston Hızlı Uçak Komitesi" kurulmuş, bu atılıma sonraki yıllarda Fransa'nın desteği de eklenince İngiliz-Fransız ortaklığıyla süpersonik Concorde yolcu uçağının çalışmaları başlamıştır. 1976 yılında çalışmaları tamamlanarak kullanıma alınan Concorde yolcu uçağı, 18 bin metre yüksekliğe çıkabiliyor ve seston 2 kat daha yüksek bir hızla uçabiliyordu^[25].

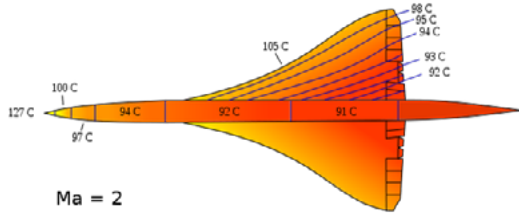
Yüksek hızın oluşturduğu ısıyı en aza indirmek için titanyum kaplamanın kullanıldığı uçak, uçuş esnasında yaklaşık 8 cm genişleyerek uzuyordu. Dar gövdeli olarak tasarlanan Concorde; ancak 125 yolcu kapasitesine sahip olmakla beraber, bir uçuş maliyeti 6 adet Boeing 747 kaldırmakla eşdeğer olduğu için yalnızca varlıklı ve ünlü yolculara hizmet verebiliyordu. Uçuş maliyetlerinin çok yüksek olduğu bu uçakta bir yolcu için yakıt maliyeti 300 doları buluyordu^[26].

Concorde uçağındaki Rolls-Royce motorlar daha yüksek hızlar üretebilecek kabiliyeteydi, ancak bu dayanılamayacak düzeyde ısınmaya neden oluyordu. Bu nedenle itki sistemleri çok daha yüksek hızlara imkân sağlayacak güçte olmasına rağmen uçağın azami sürati 2 Mach hıza çıkabilecek şekilde sınırlanmıştı. Toplamda 20 adet (6 tanesi testlerde kullanılmak üzere) üretilmiş olan Concorde yaklaşık 2,5 milyon yolcu taşımış ancak yüksek maliyet nedeniyle 2003 yılında emekliye ayrılmıştır.

Hipersonik yolcu uçaklarının gelişiminde büyük bir know-how birikimini temsil eden Concorde yolcu uçağı



Şekil 13: Çin tarafından tasarlanan hipersonik yolcu uçağı, I Plane (<http://www.bbc.com/portuguese/geral-43275449>)



Şekil 14: Concorde yolcu uçağında uçuş esnasında oluşan sıcaklık değerleri (<https://www.quora.com/How-hot-did-the-Concorde-fuselage-get-from-air-friction-during-full-speed-flight>)



Şekil 15: Sesten iki kat daha hızlı uçabilen Concorde yolcu uçağı bir Air France hangarında (<https://www.airspacemag.com/fli-ght-today/where-to-see-a-concorde-23173906/>)



Şekil 16: Rus Tupolev şirketi tarafından üretilen ve Sesten Hızlı İlk Yolcu Uçağı olarak kabul edilen Tu-144 yolcu uçağının kabin görüntüsü (<http://www.airliners.net/photo/Aeroflot/Tupolev-Tu-144/1310851>)

300 km/s hızla yere indikten sonra durmasını sağlayan özel karbon fren sistemlerinin ve fly by wire denilen gelişmiş uçuş kumanda sistemlerinin kullanıldığı ilk yolcu uçağıydı. Çıktığı yükseklik ve yolcularına sunduğu yer-kürenin yuvarlaklığını ve uzayın karanlığını seyredebilme imkânıyla da birçok bakımdan ilkleri temsil etmiştir.

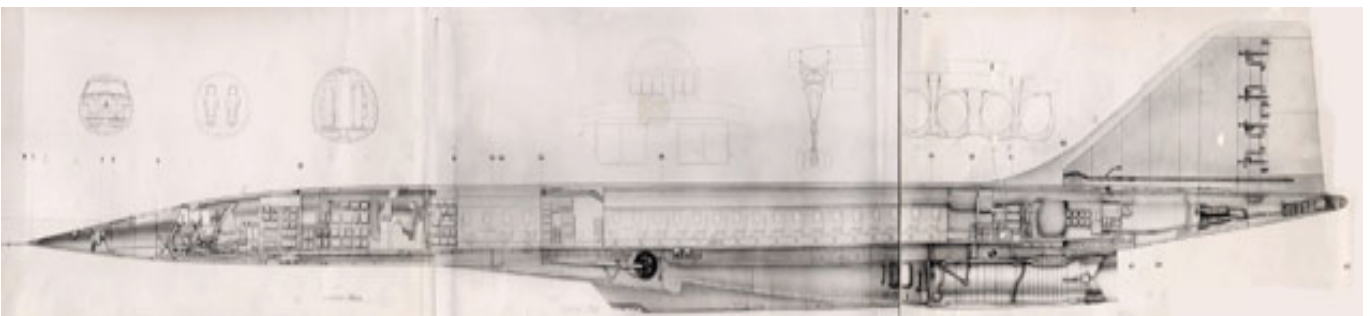
Ancak Concorde her ne kadar alanında birçok ilki gerçekleştirmiş olsa da ne ilk ne de tek süpersonik yolcu uçağıydı. Sesten hızlı yolcu uçağı sıfatını ilk kazanan uçak Rus yapımı Tupolev Tu-144 olmuştur.

Tupolev Tu-144

Soğuk Savaş yıllarından itibaren var olan kutuplaşmanın bir tarafının lideri olan Sovyetler Birliği; bu yarıştan asla geri kalmamıştır. Sesten hızlı bir yolcu uçağı için Avrupa'da İngiliz ve Fransız ortaklığı Concorde, ABD'de de Lockheed ve Boeing yoğun çabalara girişmişken asıl sürpriz Sovyetler'den gelmiş ve 31 Aralık 1968 tarihinde sestten hızlı ilk yolcu uçağı Tu-144 gökyüzüyle buluşmuştur^[27].

Yaklaşık 2,35 Mach hıza ulaşarak süpersonik hızlarda seyredilen ve 140 yolcu alabilen Tu-144 uçağı, rakibi Concorde gibi 18 bin metre irtifada hareket etmekte ve yolcularına seyir pencerelerinden görsel bir şölen sunmaktaydı^[28]. Ancak Tu-144 birçok lüks detaydan kaçınılarak dizayn edilmiş olduğu için kabin konforu açısından Concorde'un gerisinde kalıyordu.

Tupolev Tu-144'ün maliyetleri de Concorde ile benzerlik göstermekteydi. Her türlü görsellik ve lüksten yoksun olmasına rağmen gerçekleştirdiği yüksek hız nedeniyle çok tercih edilen bir uçak olan Tu-144'ün bu rekabet üstünlüğü 1973 yılında yaşanan bir kazayla büyük zarar gördü. 1973 yılında Paris Air Show kapsamında, Concorde'un ardından yaptığı gösteri uçuşu sırasında Tupolev-144 havaalanı yakınlarında bir banliyö üzerine düştü ve 14 kişinin ölümüne neden oldu^[29]. Bu elim kazanın ardından, sivil havacılıkta zaten değişmekte olan anlayış sonucu Concorde ve Tu-144 gibi dar gövdeli uçaklardan ziyade geniş gövdeli ve düşük maliyetli uçakların tercih edilmeye başlanmasıyla iyice zor günler yaşayan Tu-144, Rusya'nın Yegoryevsk kentinde ikinci kazasını yaşayınca hepten sorgulanır hale geldi. Sonuçta, o tarihe kadar toplam 17 adet üretilen uçak 1999 yılında son uçuşunu yaptıktan sonra emekliye ayrıldı.



Şekil 17: Tu-144 Prototip Tasarımı (NK-144 Motoru takılmıştır) (<http://www.tupolev.ru/en/aircrafts/tu-144>)



Şekil 18: Concorde'un Oğlu olarak anılan AS2 özel süpersonik jet (<https://www.digitaltrends.com/cool-tech/airbus-aerion-as2-super-sonic-jet-news/>)

Bu iki örneğin ardından seston hızlı yolcu uçakları tasarlama ve üretme süreci uzun bir süre sekteye uğradı. Uçağı hızlandıran teknolojilerin güvenlik riskleri taşıdığı, kaza sayısında ciddi artışlara neden olabileceği ve gerek üretim gerekse işletme maliyetlerinin çok yüksek olduğu gibi gerekçelerle firmalar ve yolcular açısından maliyet etkin bir araç olmaktan çıktığı görüşü ağırlık kazandı.

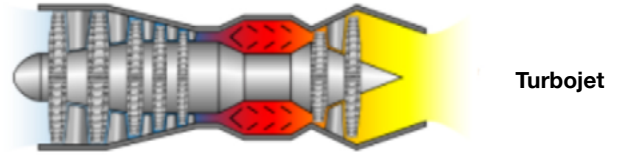
Ancak izleyen dönemde gelişen teknoloji ve artan imkânlar, seston hızlı yolcu uçaklarının yapımını yeniden gündeme getirmiştir. Artık firmaların gündeminde 2-3 Mach hızlara sahip süpersonik uçakları değil, 5-6 Mach değerlere ulaşabilen hipersonik yolcu uçakları var. Boeing CEO'su Dennis Muilenburg 2017 yılında yaptığı bir açıklamada, 10 yıl içinde hipersonik yolcu uçaklarının kullanımda olacağını ileri sürdü^[30]. Keza Airbus ve Aeron firmaları Concorde'un Oğlu AS2 (Son of Concorde AS2) adını verdikleri 12 kişilik bir özel süpersonik yolcu uçağı üreteceklerini duyurdu. İlk test uçuşlarının 2021 yılında yapılacağı açıklanan uçağın 2023 yılında gökyüzüyle buluşması beklenmektedir^[31].

Hipersonik ve süpersonik hızlarda gerçekleşecek seyahatlerin yine ciddi maliyetlere sahip olacağı ve herkesin bu uçak biletlerini alamayacağı öngörülse de dünyanın bu teknolojiye ve imkândan mahrum bırakılmaması gerektiği fikri daha ağır basmaktadır.

5. HİPERSONİK TEKNOLOJİNİN ALTYAPISI

Turbojet Motorlar

Yüksek hızlara ulaşmak için çözülmesi gereken en önemli sorunlardan biri aracın güç sistemleri sorunudur. Halihazırda birçok uçağıta kullanılan Turbojet motorlar, havayı motor içine alır ve döner kabiliyete sahip kompresörlerle sıkıştırır. Sıkıştırılan bu hava yine sıkıştırılmış yakıt püskürtülerek yanma odasına iletilir. Yanma odasında elde edilen bu enerjiyle itme gücü elde edilir. Ancak çok yüksek hızlara ulaşıldığında kompresöre giren havanın



Şekil 19: Turbo jet Motor çalışma prensibi (<https://en.wikipedia.org/wiki/Scramjet>)

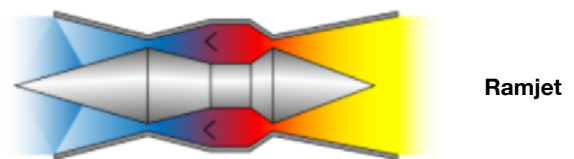
basınç ve sıcaklık değerlerinin olması gerekenin çok üstüne çıkması, motor tarafından kontrol edilebilecek enerji miktarından daha fazlasının üretilmesine neden olmakta ve bu durum turbo jet motorlara zarar vermektedir. Fazla sıcak havalarda da turbo jet motorlar yüksek hızlara ulaşmasa bile içeri giren havanın sıcaklığı yüksek olduğu için bazı sorunlar yaşanabilmektedir. Bu yüzden motora giren havanın sıcaklığını düşüren ekipmanlar tasarlanmıştır.

Ancak sıcaklık düşürücü bu mekanizmalar bile yüksek hızlarda gerekli ısı kaybını sağlayamamaktadır. Bu nedenle farklı arayışlara girilmiş ve bu arayışlar Ramjet ve Scramjet gibi yeni itki sistemlerinin geliştirilmesini sağlamıştır.

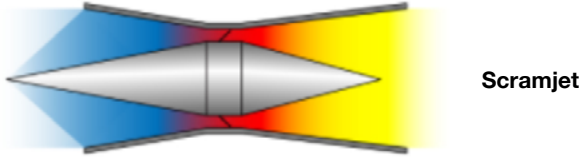
Ramjet Motorlar

Günümüzde roketlerde yoğun olarak kullanılan Ramjet motorlar yüksek hızda seyir imkânı sağlamaktadır. Ramjet motorlarda; gelen hava motorun içine alınmadığı için, motor içinde havayı sıkıştıracak bir kompresöre, dolayısıyla döner parçaya ihtiyaç yoktur. Ramjet motorlar gelen havayı kompresör yardımı olmadan sıkıştırır ve bu sıkışmış havayla yakıtı birleştirerek yanmayı sağlar. Anlaşılacağı üzere, Ramjet motorun çalışması için uçağın zaten yüksek bir ön hıza sahip olması gerekir^[32]. Bu nedenle Ramjet ve turbo jet motorlar uçak veya roketlerde birlikte kullanılmaktadır. Uçak veya roket yerden kalkmak ve 1 Mach kadar hıza ulaşabilmek için Turbojet motoru kullanırken, bu evreden sonra Ramjet motorla 5 Mach hızlara ulaşabilmektedir^[33].

Ramjet motor kullanılan roketler, atmosfer dışına çıktıklarında hareket etmede yanma için gerekli olan oksijen bulunmadığı için oksijeni tüpler içinde birlikte taşımak durumundadır.



Şekil 20: Ramjet Motor çalışma prensibi (<https://en.wikipedia.org/wiki/Scramjet>)



Şekil 21: Scramjet Motor çalışma prensibi (<https://en.wikipedia.org/wiki/Scramjet>)

Scramjet Motorlar

Scramjet motorlar atmosferde hareket edecek çok yüksek hızlı hava araçları için tasarlanmıştır. Ramjetler gibi roketlerde kullanılmayan Scramjetler uzayda yanmayı sağlayacak oksijen tüplerine de ihtiyaç duymaz. Bu, havayı daha hızlı almayı ve daha hızlı uçmayı sağlar. Supersonic Combustion Ramjet olarak ifade edilen Scramjet motorlar, birçok açıdan da Ramjetlerle benzerlik gösterir. Havayı motor içine almazlar ve kompresörleri, dolayısıyla döner parçaları yoktur. Ramjetler gibi Scramjet motorlar da sahip oldukları hız ve motor tasarımı sayesinde gelen havayı sıkıştırır. Scramjet motorların bunun için ihtiyaç duyduğu ön hız yaklaşık 5 Mach değerindedir. Bu hızlara ulaşmadan itki üretemezler.

Sonuç olarak, Scramjet kullanılacak bir uçakta öncelikle 1 Mach hıza ulaşmayı sağlayacak turbo jet motorlar, sonrasında ise 5 Mach hıza ulaşmayı sağlayacak Ramjet motorları bulunması gerekir^[34]. Ancak bu durumda uçak 5 Mach hızlara ulaşabilir ve Scramjet motorlar devreye girebilir.

Yüksek hız sağlayan motorlarda havanın giriş hızının subsonik (ses hızının altında) olması gerekir. Scramjet motorlar 9,6 Mach hızla hareket ederken bile havanın motora girme hızını sabit tutarak ve havanın çok ısınmasını engelleyerek sürekli yanmayı sağlayabilmektedir. Buna karşılık Ramjet motorlarda, hava süpersonik hızlarda kimi zaman motorun içine doğru hareket edebilmekte ve motor bu durumda yanma gerçekleştiremeyerek şok dalgalarına sebep olmaktadır. Scramjet motorların tasarımı bu problemi aşmış ancak başka bir sorun ortaya çıkarmıştır^[35]. Motorun tasarımı yakıt ile oksijenin buluşma süresinin çok kısa olmasına, dolayısıyla yanma için çok az süre tanınmasına neden olmaktadır. Oksijen daha verimli kullanılmış ve fazla ısınma sorunu aşılmış olsa da oksijen ile yakıtın buluşma (tam yanma) süresi kısalmıştır.

Scramjet motorlar üzerinde 1980'lerin başından beri araştırmalar yapılmaktadır. ABD tarafından 2004 yılında test uçuşları gerçekleştirilen X-43 aracı Scramjet motorlara sahiptir ve 9,6 Mach hızlara ulaşmıştır^[36].

6. DEĞERLENDİRME

Yüksek hız alanında yıllardır devam eden çalışmalar sonucunda öncelikle ses hızının 2-3 katı hızlara çıkan araçların üretilmesi, bu sistemin bir süre sonra yolcu uçaklarına ve özel jetlere entegre edilmesi ve son ola-

rak uzak gezegenlere keşif seyahatlerini mümkün kılan roketlerin tasarlanması hiç şüphesiz insanlık için büyük kazanımlar sağlamıştır. Bugün gelinen noktada 5-10 Mach hızlara ulaşabilen HGV ya da planör diyebileceğimiz, insansız, küçük hava araçları üretilmektedir. Şimdi hedef, savaş ve yolcu uçakları gibi içinde yaşam şartlarının korunabildiği ve hiper hızlara sahip bir platform tasarımına ulaşmaktır.

Atmosfer içinde uçuş gerçekleştirecek hipersonik uçakların yüksek sürtünmeyle başa çıkma konusunda hâlâ ciddi sorunları vardır. Uçuş esnasında 2000 °C sıcaklıklara kadar ısınma ihtimali olan bu araçlarda kullanılan malzeme üzerinde yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Manchester Üniversitesi ve Çin Merkez Güneybatı Üniversitesi uzmanları tarafından ortak gerçekleştirilen bir çalışma sonucunda üretilen karbür içerikli seramik kaplamanın 3000 °C dayanabildiği ve mevcut malzemelere kıyasla 12 kat daha dayanıklı olduğu iddia edilmektedir^[37].

Günümüzde hipersonik kabiliyetlere sahip teknolojiler yalnızca uçan araçlar için değil top gibi karada ateş gücü sağlayan mekanizmalar için de değerlendirilmektedir. ASELSAN tarafından tasarlanan ve geçtiğimiz senelerde görücüye çıkan elektromanyetik fırlatma sistemine sahip Railgun silahı her atışında 2000-2500 m/sn hıza ulaşan mühimmat fırlatabilmektedir^[38]. Keza Çin ve ABD yine yüksek Mach sayılarına sahip elektromanyetik top sistemleri üzerinde yoğun çalışmalar gerçekleştirmektedir. Bu sistemler tarafından fırlatılan topların manevra kabiliyeti olmaksızın hareket halindeki hedefleri nasıl vurabileceği konusu ile sistemlerin yüksek ağırlıkları nedeniyle farklı platformlara entegre edilmesinde yaşanacak sıkıntılar büyük soru işaretleri olarak kenarda dursa da bu çalışmaların hipersonik teknolojiler yolunda ciddi kazanımlar sağladığı yadsınamaz. Tüm bu çalışmalar gökyüzünde seyreden hipersonik uçaklar için önemli geri dönüşler ve tasarım-üretim süreci için büyük avantajlar sağlamaktadır.

Atmosfer sınırında hareket edebilen hipersonik hava araçlarının ısı yönetim sistemlerinin tasarlanması, geliştirilmesi, test edilmesi ve doğrulanması yolunda da çalışmalar devam etmektedir. İnsan kontrolünde havalanabilecek bir hipersonik sisteme varmak için geliştirilmesi gereken daha bir dizi teknoloji vardır ve çeşitli testlerle bu boşlukların doldurulması gerekmektedir. ABD'nin ve birçok NATO ülkesinin, Çin ve Rusya'nın bu alanda gösterdiği ilerlemeden rahatsızlık duyduğu bilinmektedir. Ülkemizde ise TÜBİTAK Uzay THOR adı verilen proje kapsamında bu alanda ciddi çalışmalar yürütmektedir^[39].

Bu konu o kadar önemlidir ki, sesten 5-10 kat daha hızlı hareket edebilen ve yüksek manevra kabiliyetine sahip bu araçlara, ülkelerin bugüne dek geliştirmiş oldukları füze, uçak, gemi, sayısız kara aracı ve milyonlarca askere rağmen karşı koyamayacağı öngörülmektedir. Yapılan yorumlara göre, bu durum ya hava savunma sistemlerinin dönüşmesini ya da hipersonik teknolojilerin yaygınlaşmasıyla birçok ülkenin askeri güç bağlamında birbirine denk hale gelmesini sağlayacaktır.



Rusya tarafından üretilen ve ülkemizin de satın aldığı S-400 Hava Savunma Sistemlerinin bir üst segmenti olan S-500 modelinin 5 Mach hıza kadar hareket edebilen silahları vurabileceği iddia edilmekte ve bu kabiliyetin daha yüksek seviyelere çıkarılması için ciddi bütçeler ayrıldığı bilinmektedir. Ülkeler hipersonik silahlar kadar bu silahlara karşı koyabilecek mekanizmaları da geliştirmek ve üretmek durumundadır.

Yolcu uçaklarının hipersonik hızlara sahip olması, dünya üzerinde bulunan herhangi iki nokta arasındaki mesafenin üç saatin altına inmesi demek olacaktır. Ancak bu konuda hızlı yol alınması kolay değildir. Zira süpersonik hızlara sahip savaş uçaklarında pilotlara, yüksek basınç ve yerçekimine direnç konusunda ciddi eğitimler verilmekte ve sürekli testler yapılmaktadır. Hipersonik hızda hareket eden yolcu uçaklarında seyahat edecek her yolcu için böyle bir eğitim ve yetiştirme süreci düzenlenmesi mümkün değildir. Bu nedenle araçların yolculara bu değişiklikleri hemen hiç hissettirmeyecek ölçüde izolasyona ve dayanıklılığa sahip olması gerekmektedir. Bunun için zaman gerektiren ciddi çalışmalara ihtiyaç vardır.

Gene de ülkelerin yoğun şekilde bu alana yönelmesi, insan ve maddi kaynaklarının ciddi bir kısmını bu alana ayırması ve süpersonik araçların üretim sistematiğinin bilinir olması gibi nedenlerle hipersonik hızlara sahip araçların çok uzak olmayan bir tarihte gökyüzüyle buluşması sürpriz olmayacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] «F-86 Sabre Jet,» Boeing, 23 Eylül 1950. <http://www.boeing.com/history/products/f-86-sabre-jet.page>. [Erişildi: 2018 Mart 12].
- [2] «F-16 Fighting Falcon,» Lockheed Martin, 17 Ağustos 1978. <https://www.lockheedmartin.com/us/products/f16.html>. [Erişildi: 12 Mart 2018].
- [3] B. 1. Club, «The BLOODHOUND Project,» 2015. <http://www.bloodhoundssc.com/>. [Erişildi: 2018 Mart 12].
- [4] F. Mechanic, «High Speed Aerodynamics,» 2017. <http://www.flight-mechanic.com/high-speed-aerodynamics-subsonic-transonic-and-supersonic-flight/>. [Erişildi: 12 Mart 2018].
- [5] «Falcon Heavy,» SPACE X, 6 Şubat 2018. <http://www.spacex.com/falcon-heavy>. [Erişildi: 12 Mart 2018].
- [6] P. MCLEARY, «China Loves DoD Acquisition Culture , Says R&D Chief Griffin ; He Loves Hypersonic,» Breaking Defense, 6 Mart 2018. <https://breakingdefense.com/2018/03/china-loves-dod-acquisition-culture-says-r/>. [Erişildi: 12 Mart 2018].
- [7] A. Mehta, «As Putin touts hypersonic weapons, America prepares its own arsenal. Will it be in time?,» Defense News, 2 Mart 2018. <https://www.defensenews.com/pentagon/2018/03/02/as-putin-touts-hypersonic-weapons-america-prepares-its-own-arsenal-will-it-be-in-time/>. [Erişildi: 12 Mart 2018].
- [8] D. Messier, «DARPA Selects Orbital ATK for Hypersonic Engine Research Project,» Parabolic Arc, 24 Şubat 2018. <http://www.parabolicarc.com/2018/01/24/darpa-selects-orbital-atk-hypersonic-engine-research-project/>. [Erişildi: 12 Mart 2018].
- [9] Y. Gibbs, «X-15 Hypersonic Research Program,» NASA, 28 Şubat 2014. <https://www.nasa.gov/centers/armstrong/news/FactSheets/FS-052-DFRC.html>. [Erişildi: 12 Mart 2018].
- [10] «Creating The Blackbird,» Lockheed Martin, 2018. <https://www.lockheedmartin.com/us/100years/stories/blackbird.html>. [Erişildi: 12 Mart 2018].
- [11] «Meet The SR-72,» Lockheed Martin, 1 Kasım 2013. <https://www.lockheedmartin.com/us/news/features/2015/sr-72.html>. [Erişildi: 12 Mart 2018].
- [12] Y. Gibbs, «X-43A Hypersonic Flight Program,» NASA, 4 Kasım 2009. <https://www.nasa.gov/centers/dryden/history/pastprojects/HyperX/index.html>. [Erişildi: 13 Mart 2018].
- [13] T. Malik, «Superfast Hypersonic Glider Explained,» DARPA, 23 Nisan 2012. <https://www.space.com/15388-darpa-hypersonic-glider-demise-explained.html>. [Erişildi: 13 Mart 2018].

- [14] S. Writer, «Tupolev Tu-22 (Blinder),» Military Factory, 13 Aralık 2017. https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft_id=316. [Erişildi: 13 Mart 2018].
- [15] «MiG-25P Foxbat Interceptor,» AIR FORCE Technology, <http://www.airforce-technology.com/projects/mig25/>. [Erişildi: 13 Mart 2018].
- [16] S. Dowling, «The pilot who stole a secret Soviet fighter jet,» BBC, 5 Eylül 2016. <http://www.bbc.com/future/story/20160905-the-pilot-who-stole-a-secret-soviet-fighter-jet>. [Erişildi: 13 Mart 2018].
- [17] B. Dorminey, «Russian Hypersonic Glider Weapons Would Easily Penetrate U.S. Defenses,» Forbes, 14 Haziran 2016. <https://www.forbes.com/sites/brucedorminey/2016/06/14/russian-hypersonic-glider-weapons-would-easily-penetrate-u-s-defenses-says-expert/#6e8b1c0e40f3>. [Erişildi: 13 Mart 2018].
- [18] «Rusya Hipersonik uçak çalışmalarına başladı,» Star Gazetesi, 26 Aralık 2016. <http://www.star.com.tr/teknoloji/rusyadan-hipersonik-ucak-atagi-haber-1170790/>. [Erişildi: 13 Mart 2018].
- [19] «Putin'in 6 yeni silah sistemi,» BBC, 2 Mart 2018. <http://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-43242354>. [Erişildi: 13 Mart 2018].
- [20] A. Roth, «Putin threatens US arms race with new missiles declaration,» The Guardian, 1 Mart 2018. <https://www.theguardian.com/world/2018/mar/01/vladimir-putin-threatens-arms-race-with-new-missiles-announcement>. [Erişildi: 13 Mart 2018].
- [21] K. Mizokami, «China Successfully Tests Hypersonic Weapon System,» Popular Mechanics, 29 Nisan 2016. <https://www.popularmechanics.com/military/research/a20604/china-successfully-tests-hypersonic-weapon-system/>. [Erişildi: 14 Mart 2018].
- [22] B. Gertz, «China Successfully Tests Hypersonic Missile,» The Washington Free Beacon, 27 Nisan 2016. <http://freebeacon.com/national-security/china-successfully-tests-hypersonic-missile/>. [Erişildi: 14 Mart 2018].
- [23] J. Lin, «China's hypersonic aircraft would fly from Beijing to New York in two hours,» Popular Science, 26 Şubat 2018. <https://www.popsoci.com/china-hypersonic-double-wing-aircraft-i-plane>. [Erişildi: 14 Mart 2018].
- [24] G. Şimşek, «Hipersonik uçuş ile İstanbul-New York 2 saat,» Habertürk, 3 Mart 2018. <http://www.haberturk.com/yazarlar/guntay-simsek-1091/1859910-hipersonik-ucus-ile-istanbul-new-york-2-saat>. [Erişildi: 14 Mart 2018].
- [25] «Concorde,» Global Aircraft, <https://www.globalaircraft.org/planes/concorde.pl>. [Erişildi: 14 Mart 2018].
- [26] P. Woodman, «End of an era - Concorde is retired,» The Independent, 9 Nisan 2003. <http://www.independent.co.uk/news/uk/home-news/end-of-an-era-concorde-is-retired-114575.html>. [Erişildi: 14 Mart 2018].
- [27] «Tupolev Tu-144,» Encyclopaedia Britannica, <https://www.britannica.com/technology/Tupolev-Tu-144>. [Erişildi: 14 Mart 2018].
- [28] «TU-144 First in the world supersonic passenger production aircraft,» Tupolev, <http://www.tupolev.ru/en/aircrafts/tu-144>. [Erişildi: 15 Mart 2018].
- [29] «Tu-144 SST Accident,» Tupolev, <http://www.tu144sst.com/accidents/accidentsindex.html>. [Erişildi: 15 Mart 2018].
- [30] «Boeing'in hipersonik uçağı yolda!», Hürriyet - Teknoloji, 21 Haziran 2017. <http://www.hurriyet.com.tr/boeingin-hipersonik-ucagi-yolda-40496738>. [Erişildi: 15 Mart 2018].
- [31] E. Zolfagharifard, «"Son of Concorde" gets the go ahead,» Daily Mail, 17 Kasım 2015. <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3322540/London-New-York-THREE-HOURS-Son-Concorde-fly-2021-speeds-1-200mph-reveals-Airbus.html>. [Erişildi: 15 Mart 2018].
- [32] «Ramjet Propulsion,» NASA, <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/ramjet.html>. [Erişildi: 15 Mart 2018].
- [33] P. R. Hays, «How The Ramjet Engine Works,» USS Oklahoma City, 2009. <https://www.okieboat.com/How%20the%20ramjet%20works.html>. [Erişildi: 15 Mart 2018].
- [34] «ISRO's Scramjet Engine Technology Demonstrator Successfully Flight Tested,» Department of Space Indian Space Research Organisation, <https://www.isro.gov.in/launchers/isro%E2%80%99s-scramjet-engine-technology-demonstrator-successfully-flight-tested>. [Erişildi: 15 Mart 2018].
- [35] C. Segal, «The Scramjet Engine Processes and Characteristics,» Cambridge University Press, Florida, 2010.
- [36] «What's a Scramjet?,» NASA, 30 Ocak 2004. https://www.nasa.gov/missions/research/f_scramjets.html. [Erişildi: 15 Mart 2018].
- [37] «Hipersonik Uçaklar Seramik Kaplama Olacak,» Elektrik Port, 27 Temmuz 2017. <http://www.elektrikport.com/haber-roportaj/hipersonik-ucaklar-seramik-kaplama-olacak/21208#ad-image-2>. [Erişildi: 16 Mart 2018].
- [38] «ASELSAN'dan Elektromanyetik Sürpriz,» C4 Defence, 4 Nisan 2017. <http://www.c4defence.com/Gundem/aselsan-dan-elektromanyetik-surpriz/4189/1>. [Erişildi: 16 Mart 2018].
- [39] «THOR,» Tübitak Uzay, <http://uzay.tubitak.gov.tr/tr/uydu-uzay/thor>. [Erişildi: 16 Mart 2018].



thinktech
STM Teknolojik Düşünce Merkezi
<http://thinktech.stm.com.tr>

