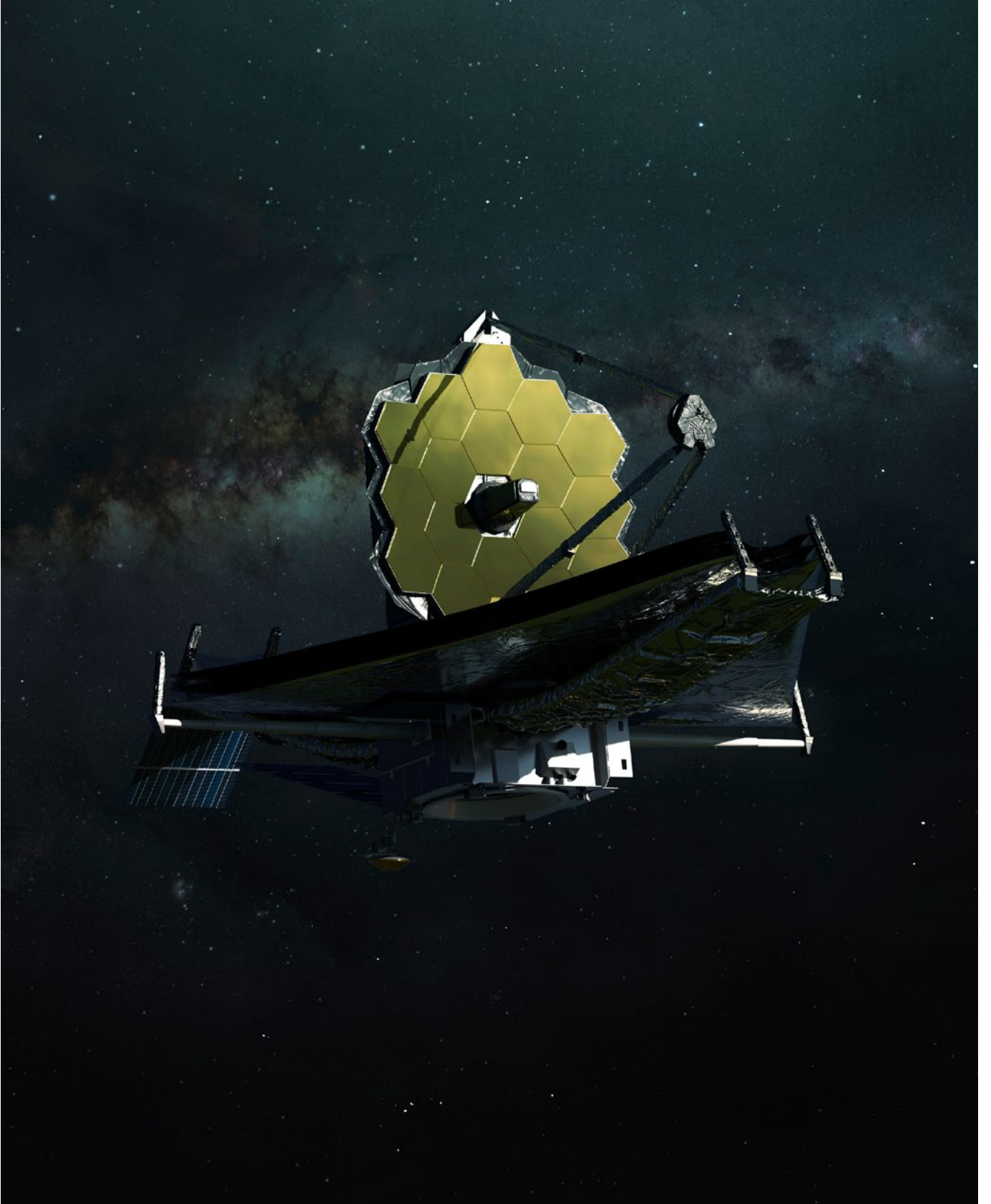
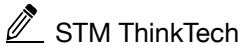


ASTRONOMİ GÖZLEMİNDE YENİ NESİL UZAY TELESKOPLARI



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.



1. GİRİŞ

Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi NASA'nın Aralık 2021'de uzaya gönderdiği James Webb Uzay Teleskobu, gerek özellikleri gerekse maliyeti ile küresel kamuoyunun ilgisini üzerinde toplamıştır. Bal peteği şeklinde altın kaplamalı aynalarıyla toplam alanı bir tenis kortunu bulan teleskop, uzay çağının yeni bir kilometre taşı olarak sunulmuştur. Teleskobun toplamda 10 milyar dolara yaklaşan maliyetine değip değmediği de tartışma konusu olmuştur^[1].

Hangi nedenle olursa olsun James Webb Uzay Teleskobu, 21'inci yüzyılda hızlanan uzay çalışmalarında görece geri planda kalmış bir alan olan uzay teleskoplarına kamuoyunun dikkatini çekmeyi başarmıştır. Uzayda aktif olarak bilim dünyasına hizmet eden onlarca teleskop vardır ve söz konusu teleskoplar gerek yapıları gerekse görev yükleri ve misyonları açısından büyük farklılıklar göstermektedir. Uzay teleskoplarını anlamak, astronomi alanındaki çalışmaların yönü konusunda fikir verebilir. Bu amaçla analizimizde önce astronomik gözlem faaliyetlerinin genel amaçları ve alt dalları tanıtılacak, ardından bilimsel kategoriler altında hâlen aktif durumda olan uzay teleskopları incelenecektir. Son bölümde ise geliştirme çalışmaları süren ve 2040 yılına kadar uzaya gönderilmesi planlanan uzay teleskobu projelerine göz atılacaktır.

2. ASTRONOMİDE GÖZLEM FAALİYETLERİ

Astronomi, yıldızlar, gezegenler, kuyruklu yıldızlar, nebulalar (bulutsular), yıldız kümeleri ve galaksiler gibi gök cisimleri ve kozmik arka plan radyasyonu gibi Dünya atmosferinin dışından kaynaklanan fenomenler üzerine odaklanan bilim dalıdır. Astronomi, gök cisimlerinin evrimi, fiziksel ve kimyasal yapıları, meteorolojileri ve hareketlerinin yanı sıra evrenin oluşumu ve gelişimine ilişkin sorulara yanıt aramaktadır^[2].

Kelime anlamı “yıldız bilimi” olan astronomi, en eski bilimlerden biridir. Bu alandaki çalışmalar antik çağlardan bu yana sürmektedir. Babilliler (M.Ö. 1895-M.Ö. 539) gibi ilk medeniyetlerden bazıları gece gökyüzünü sistemli biçimde gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte, astronominin modern bir bilime dönüşmesi için 17'nci yüzyılın başında ilk optik teleskobun icadının beklenmesi gerekmiştir^[3].

Tarihsel olarak modern astronomi; astrometri, gökssel navigasyon, gözlemsel astronomi, takvim yapımı ve hatta astroloji gibi çeşitli disiplinleri kapsamıştır. 20'nci yüzyılda, profesyonel astronominin gözlemsel ve teorik olarak iki ana dala ayrıldığı genel kabul görmektedir.

Teorik astronomi, astronomik nesnelere ve fenomenleri tanımlamak için bilgisayar veya analitik modellerin

geliştirilmesine yönelik bir astronomi alanıyken^[4]; gözlemsel astronomi, gök cisimlerinin gözlemlerinden veri elde etmeye odaklanmaktadır^[5]. Bir başka deyişle, gözlemsel astronomi çalışmalarında elde edilen veriler daha sonra fiziğin temel ilkeleri kullanılarak analiz edilmektedir.

Günümüzde gözlemsel astronomi genel olarak derin uzay araştırmalarına odaklanmıştır. “Derin uzay”, Ay’ın ötesine, Mars’a ve güneş sistemine uzanan geniş, keşfedilmemiş uzay bölgesidir^[6].

Derin uzay gözlemi, Dünya’yı, Güneş Sistemi’ni ve tüm evreni anlamak ve daha sonra güneş sistemindeki diğer gök cisimlerini araştırmak, keşfetmek ve belki ileride uygun gökcisimlerinde koloniler kurup yerleşmek için ilk adımdır. Derin uzay gözlemleri, 21’inci yüzyılda insanlığın uzay kaynaklarını geliştirmesi, kullanması ve inovasyon yaratması için büyük önem taşıyan alanlardan biridir.

Söz konusu çalışmalarda gözlemsel astronominin temel araçları olan teleskoplar büyük önem taşımaktadır. Gözlemsel astronomide, teleskoplar, kameralar, algılayıcılar ve ilgili diğer cihazlarla derin uzayda gök cisimleri hakkında veri toplanmaktadır. Bunun için elektromanyetik radyasyondan, yerçekimsel dalgalardan ve nötrino parçacıklarından yararlanılmaktadır. Bu tür verileri toplamak için gelişmiş teknolojiye ihtiyaç vardır. Modern gözlemevleri büyük, karmaşık veri kümeleri üretir ve kullanıma sunar.

2.1 Gözlemsel Astronominin Alt Dalları

Yüzyıllardır kullanılan basit teleskoplar sadece “görünür ışığı” algılayabilen cam merceklili optik cihazlardır. Ancak derin uzayda gök cisimleri arasındaki mesafeler çok uzundur. Bir gök cisiminden yayılan ışık dünyaya gelene kadar gaz ve toz bulutları gibi engeller nedeniyle enerjisini yitirmektedir. Bu nedenle optik teleskopların sunduğu bilgi, uzayın küçük bir kısmının bile anlaşılması için yeterli değildir. Daha fazla bilgi edinmek için evrendeki nesnelere ve bunlar arasındaki etkileşimlerden ortaya

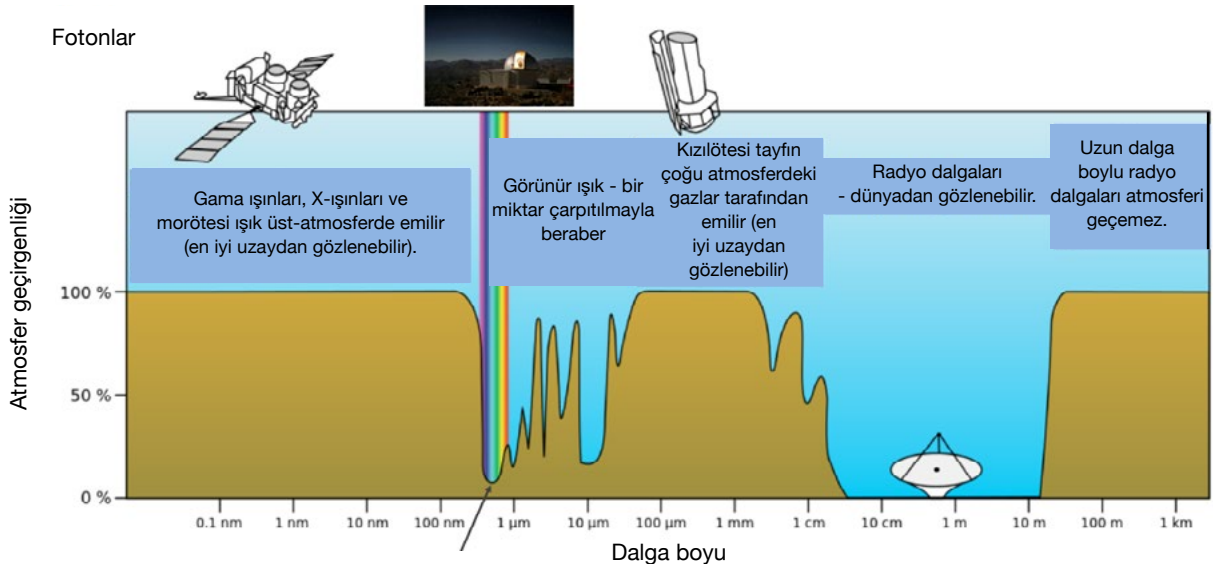
çıkan ancak görünür olmayan çıktılarının da izlenmesi gereklidir. Görünür olmayan elektromanyetik dalgalar, bunların başında gelmektedir. Elektromanyetik spektrumda her dalga boyu farklı bilgiler taşıdığından, evrenin daha iyi anlaşılması için elektromanyetik spektrumun tamamı gözlemlenmelidir. Elektromanyetik spektrumun farklı bölgelemlerini tarayan teleskoplardan elde edilen bilgiler birleştirilerek, gök cisimleri daha net şekilde görüntülenebilir (Şekil 1).

Gözlemsel astronominin geleneksel bir sınıflandırması, elektromanyetik spektrumun gözlemlenen bölgesine dayanmaktadır. Gökbilimcilerin üzerinde çalıştığı yıldızlar, gezegenler, bulutsular ve galaksiler dahil olmak üzere nesnelere; bileşim, yoğunluk, sıcaklık gibi fiziksel özelliklerine ve ortamlarına bağlı olarak farklı şekillerde radyasyon üretir ve yayır. Bu radyasyon, Dünya’ya doğru yol alırken araya giren gaz ve toz ile etkileşime girerek değişime uğrar^[7]. Radyasyon elektromanyetik spektrumun kırmızı kısmına doğru, yani daha büyük dalga boylarına veya daha küçük frekanslara doğru kayar^[8]. Bu nedenle gözlemsel astronomi sadece görünen ışıkları değil diğer elektromanyetik spektrumun farklı alanlarındaki radyasyon ve ışımayı da tespit etmeye yönelik çalışmalar yürütmektedir.

2.1.1 Optik Astronomi (Görünür Işık Astronomisi)

Optik astronomi, evrenden gelen, görünür ışık olarak da adlandırılan, insan gözünün duyarlı olduğu dalga boyu aralığına düşen ışığın gözlemlendiği ve analiz edildiği bir astronomi alanını ifade etmektedir. Görünür ışık, dalga boyları 380 ila 750 nanometre (1 metrenin milyarda biri -nm) olan elektromanyetik dalgalara karşılık gelir. Daha kısa dalga boyları mavi ışığa, daha uzun olan ise kırmızı ışığa karşılık gelir ve arada tüm görünür renk spektrumu bulunur. Çoğu gök cismi bir miktar görünür ışık yayır^[9].

Tarihin büyük bir bölümünde, neredeyse tüm astronomik gözlemler, elektromanyetik spektrumun görsel



Şekil 1: Elektromanyetik spektrumda dalga boyları ve bunların astronomik gözlem olanakları^[7].

kısımında, önce gözlerimizle, daha sonra optik teleskoplarla yapılmıştır. Dünyada milyonlarca amatör astronom, küçük teleskoplarla yaptıkları gözlemlerle bu geleneği sürdürmektedir. Profesyonel (bilimsel) optik astronomi ise yeryüzündeki ve uzaydaki büyük optik teleskoplarla yapılmaktadır. Mercek ve aynaların farklı ve karmaşık kombinasyonuna sahip olan söz konusu teleskoplar; malzeme bilimi, yapay zekâ ve katmanlı imalat gibi alanlardaki gelişmelerle günümüzde daha da ileri boyuta taşınmıştır. Yeni nesil optik teleskoplar, teknoloji sayesinde bir ağ üzerinden birbirine bağlanabilmekte, gece gündüz, her türlü hava durumunda boyut ve kabiliyet kısıtlamalarını aşarak birlikte astronomik gözlem yapılabilmesine imkân tanımaktadır.

2.1.2 Kızılötesi Astronomi

Kızılötesi astronomi, kızılötesi radyasyon ile görüntülenebilen astronomik nesnelere incelenen astronomi dalıdır. Radyo dalgaları, elektromanyetik spektrumda en uzun dalga boyuna sahip olan ışık türüdür. X-ışını astronomisinde, evrendeki X-ışını fotonlarının dalga boyunun (enerjisinin) kesin bir ölçümünü yaparak, gök cisimlerinin sıcaklıklarını, içerdikleri maddelerin türünü ve hızlarını ölçmek mümkündür. Bu özellik sayesinde karadelik gibi evrendeki aşırı ortamların gözlemlenmesinde bile kullanılabilir.

Kızılötesi, 380 ila 750 nm arasında değişen görünür radyasyon ile milimetre altı dalgalar arasında yer alır. Kızılötesi ışık, astronomi için üç açıdan önemlidir^[10]. İlk olarak, görünür ışın yaymayan veya bunları yansıtmayan gök cisimleri kızılötesi dalga boylarında daha iyi gözlemlenmektedir. Zira elektromanyetik radyasyon, bazı gök cisimlerinden sadece kızılötesinde yayılabilmektedir.

Görünür ışığın kısa ve dar dalga boyları, uzaydaki gaz bulutları veya kozmik toz parçacıklarından dolayı sapmaktadır. Kızılötesi ışıkların ise dalga boyu daha yüksek olduğu için gaz ve tozdan kolay geçer, kızılötesi ışığı algılayan cihazlar tarafından tespit edilebilirler.

Kızılötesi ışık, evrenin oluşmasına neden olduğuna inanılan “büyük patlamadan” sonra evrende oluşan ilk yıldızlar ve galaksilere dair ipuçları verebilir. “Kozmolojik kırmızıya kayma” adı verilen bir süreçle, evren genişledikçe ışık gerilir, bu nedenle daha kısa morötesi ve görünür dalga boylarında yayılan yıldızlardan gelen ışık, daha uzun kızılötesi ışığın dalga boylarına gerilir. Evrenin tarihindeki bu ilk günlerin gözlemlenmesi, karanlık madde ve enerji, karadelikler, zaman içinde galaksi evrimi, ilk yıldızların neye benzediği ve bugün yaşadığımız evrene nasıl ulaştığımız gibi sorulara ışık tutacaktır.

Kızılötesi ve optik astronomi genellikle aynı teleskoplar kullanılarak uygulanır, çünkü aynı aynalar veya lensler genellikle hem görünür hem de kızılötesi ışığı içeren bir dalga boyu aralığında etkilidir. Her iki alan da katı hâl dedektörlerini kullanır, ancak kullanılan belirli katı hâl foto dedektörleri farklıdır. Kızılötesi ışık, Dünya atmosferindeki su buharı tarafından emilir. Bu nedenle çoğu kızılötesi teleskop, kuru yerlerde, mümkün olduğunca atmosferin üzerinde, yüksek rakımlardadır. Günümüzde kızılötesi astronomi faaliyetleri genellikle uzay tabanlı teleskoplarla

yapılmaktadır. Uzay teleskopları, atmosferin opak olduğu belirli dalga boylarında veya gürültüyü (atmosferden gelen termal radyasyon) ortadan kaldırmak için kullanılır.

2.1.3 Radyo Astronomi

Radyo astronomi, uzaydan gelen radyo dalgalarını inceleyen ve bu dalgalar aracılığıyla gök cisimlerinin gözlemlenmesini sağlayan bilim dalıdır. 1931 yılında ABD’li mühendis Karl Guthe Jansky, uzaydan gelen radyo dalgalarını tespit eden ilk bilim insanıdır^[11].

Radyo dalgaları, elektromanyetik spektrumda en uzun dalga boyuna sahip olan ışık türüdür. Bu özellik sayesinde radyo dalgaları, karadelikler gibi evrenin zorlu ortamlarının bile gözlemlenmesinde kullanılabilir.

Dalga boyları büyüdükçe teleskop yüzeyleri daha az hassas olabilir. Bir teleskop yüzeyinin şekli, radyasyonun dalga boyunun bir kısmına kadar düzgün olmalıdır. Görünür ışık teleskopları çok dikkatli cilalanmış malzemedir ancak bir radyo teleskobunun yüzeyi çok daha pürüzlü olabilir. Bu, büyük radyo çanakları inşa etmeyi mümkün kılar ve mevcut en büyük teleskoplar, radyo dalga boylarında çalışan teleskoplardır. Zira radyo dalgalarından iyi çözünürlüğe sahip görüntüler oluşturmak için çok daha büyük toplama çanakları gerekmektedir. Söz konusu çanaklar o kadar büyüktür ki, uzaya gönderilmeleri imkânsız olmasa bile, yüksek maliyetli olacağı için bir radyo uzay teleskobu inşa etmek oldukça yüksek maliyetli bir girişim olacaktır.

Radyo astronomi hâlen yeryüzü tabanlı gözlemlerinde yapılmaktadır. Dünyada 100’e yakın aktif radyo gözlemevi bulunmaktadır^[12]. En büyük radyo teleskobu Çin’deki 500 m çapındaki FAST Teleskobu’dur. 2016 yılında faaliyete başlayan devasa teleskobun çanağının alanı 200.000 m²’ye yakındır. Bu muazzam büyüklükteki çanak bir bilgisayar tarafından kontrol edilen 4.450 hareketli panelden oluşmaktadır^[13].

Türkiye’de de radyo astronomi çalışmaları yürütülmektedir. Kayseri Erciyes Üniversitesine bağlı Astronomi ve Uzay Bilimleri Gözlemevi Uygulama ve Araştırma Merkezinde (UZAYBİMER)^[14] 35 ve 45 cm çapında iki radyo teleskobu bulunmaktadır. Yine Erciyes Üniversitesi kampüsünde 13 m çapında bir radyo teleskobuyla bir Ulusal Radyo Gözlemevi kurulması çalışmaları sürmektedir^[15].

Radyo astronominin bir dezavantajı, radyo sinyallerinin Dünya’da pek çok uygulamada ve Dünya yörüngesindeki uydularda yoğun olarak kullanılmasıdır. Bu nedenle radyo teleskoplarının aldıkları sinyaller giderek daha “kirlili” hâle gelmektedir. Bu yüzden derin uzay çalışmalarında kullanılan radyo teleskoplarının uzayda, özellikle Ay’da konuşlandırılması gündeme gelmiştir. Nitekim NASA, Ay’ın uzak tarafındaki bir kraterde radyo teleskobu inşa etme planı açıklamıştır^[16].

2.1.4 Yüksek Enerjili Astronomik Gözlem (Gama Işını Astronomisi)

Yüksek enerji astronomisi ya da “gama ışını astronomisi”, evrendeki cisimlerden kaynaklanan elektromanyetik radyasyonun en yüksek enerjili formları (100 keV ve üstü) olan aşırı X-ışınları, gama-ışınları ve aşırı morötesi

ışınların gözlemlendiği astronomi dalıdır. Söz konusu ışınlar en kısa dalgalara (yaklaşık 0.1 angstrom veya daha az) ve bu nedenle elektromanyetik spektrumdaki en yüksek enerjiye sahiptir^[17]. 100 keV (elektronvolt) altı radyasyonlar X-ışınları olarak sınıflandırılır ve X-ışını astronomisinin konusudur.

Gama ışını astronomisi, doğada meydana gelen en yüksek enerjili fenomenleri araştırır; fizik ve astrofizikteki en temel problemlerden bazılarını ele alır^[18]. Bu alanda, evrendeki büyük enerji patlamaları, karadelikler, pulsarlar, nebular, süpernova kalıntıları ve benzeri fenomenler ile gök cisimleri gözlemlenmektedir.

“Gama ışın patlamalarının” gözlemlenmesi bunların başında gelmektedir. Bunlar evrendeki en büyük patlamalardır ve nedeni tam olarak bilinmemektedir. Bu patlamaların, iki nötron yıldızının çarpışması veya bir tür süpernova patlaması sonucunda meydana geldiği tahmin edilmektedir. Bu noktada kesin olan tek konu ise gama ışın patlamalarının galaksilerin çok uzağında, uzayın derinliklerinde meydana geldiğidir.

Gama ışınları çok fazla enerjiye sahip olduğu için, standart bir optik teleskobun aynasından geçerler. Öte yandan Dünya'nın atmosferi gama ışınlarının çoğunu engeller, bu nedenle gama ışını teleskoplarının çoğu uydulara yerleştirilir veya atmosferde yüksek irtifa balonlarıyla taşınır. Bununla birlikte, bazı yer tabanlı teleskoplar, bir gama ışını Dünya'nın üst atmosferine çarptığında üretilen Cherenkov radyasyonunu gözlemleyebilir^[19].

2.1.5 Elektromanyetik Radyasyon Dışı Astronomi Gözlemi Yöntemleri

Evren hakkında bilinen hemen her şey fotonlardan oluşan elektromanyetik dalgaların gözlemlenmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak bu pozitif yüklü parçacıklar, bir mıknaşın demir talaşlarını etkilemesi gibi uçuş yollarını etkileyen galaksimizin manyetik alanları nedeniyle aslında menşe yerlerini göstermezler.

Bu nedenle modern astrofizikçiler, elektromanyetik radyasyonun yanı sıra nötrinolar ve yerçekimi dalgaları gibi diğer kozmik fenomenleri de takip etmektedir. Nötrinolar ve yerçekimsel dalgalar Dünya'ya ulaşana kadar yaptıkları yolculukta içinden geçtikleri gaz ve toz bulutlarının yanı sıra dönen manyetik alanlardan pek etkilenmezler.

Nötrino astronomisi, evrendeki toplam temel parçacık sayısının çoğunu oluşturan, ışık hızına çok yakın bir hızla hareket eden, nötr ve etkileşimi düşük olan, bu nedenle Dünya'ya neredeyse hiçbir bozulma olmadan ulaşan nötrinoları odaklanmaktadır. Uzayda bol miktarda nötrino bulunduğu (cm³ başına en az 114 adet) tahmin edilmektedir^[20]. Ancak nötrinoları tespit etmek kolay değildir. Nötrinolar, nötrino dedektörleri ile tespit edilebilmektedir. Söz konusu dedektörler, atmosfer koşullarından ve elektromanyetik radyasyondan etkilenmektedir. Bu nedenle nötrino dedektörleri, yeraltının derinliklerine, buzulların veya suların (deniz veya göl tabanı) altına yerleştirilmek zorundadır. Nitekim nötrino astronomisindeki ilk girişimler sualtında ve buzul altında başlatılmıştır^[21].

Yerçekimsel dalgalar da astronomi alanında heyecan yaratan bir gözlem alanıdır. Yerçekimsel dalgalar iki büyük karadeliğin çarpışması gibi şiddetli olaylardan doğmakta ve evrene havuza atılan taşın yarattığı halkalar gibi dağılmaktadır. Işık hızındaki bu dalgaların önemli bir farkı, ışık gibi başka cisimlerden etkilenmeleri ve bozulmadan kalabilmeleridir. Bunlar sayesinde evrenin tarihi konusunda eşsiz bilgiler elde edilebileceği kaydedilmektedir. Teorisi Albert Einstein tarafından ortaya atılan yerçekimsel dalgalar ilk olarak 2016'da gözlemlenebilmiştir^[22].

2.2 Yer Tabanlı Gözlem İle Uzay Tabanlı Gözlem Arasındaki Farklar

Gözlemsel astronomi tarihinin büyük bir bölümünde, neredeyse tüm gözlemler optik teleskoplarla yapılmış ve görünür ışıkların gözlemlenmesiyle sınırlı kalmıştır. 1990'lı yıllarla birlikte elektromanyetik spektrumun diğer kısımlarındaki radyasyona dayalı gözlemlere eğilim başlamış ve uzay tabanlı teleskoplarla gözlem ön plana çıkmıştır.

Günümüzde astronomi gözlemleri farklı avantajları ve dezavantajları nedeniyle yer tabanlı teleskoplar ve uzay tabanlı teleskoplarla birlikte yapılmaktadır. Dünya genelinde bilimsel çalışmalar için kullanılacak binlerce teleskop bulunmaktadır. Yer tabanlı teleskoplar uzay tabanlı teleskoplara göre daha düşük maliyetlidir ve çok daha büyük inşa edilebilirler. Bakımları, güncellenmeleri ve modernize edilmeleri daha kolaydır.

Buna karşılık, yer tabanlı teleskoplarla gözlem, atmosfer koşullarından çok etkilenmektedir ve sadece gece yapılabildiği için gözlem süresi kısıtlıdır. Şehirlerin büyümesi ve yerleşim alanlarının sürekli genişlemesiyle, geceleri yapay ışık miktarı da artmıştır. Bu yapay ışıklar, özel filtreler olmadan soluk gök cisimlerinin gözlemlenmesini zorlaştıran bulanık bir arka fon aydınlatması yaratmaktadır. Ayrıca son yıllarda Dünya'nın alçak yörüngesine konuşlandırılan çok sayıda uydu, (güneş panellerinin Güneş ışığını yansıtması vb. nedenlerle) gözlemlerde “ışık kirliliği” yaratmaya başlamıştır^[23]. Gözlemevleri, bu sorunları aşabilmek için genellikle yerleşim yerlerinden uzak çöllerde veya yüksek rakımlarda inşa edilmektedir.

Ayrıca yer tabanlı teleskoplarla sınırlı gözlemler yapılabilmektedir. Dünyanın atmosferi, görünür ışıktan daha kısa dalga boylarındaki elektromanyetik radyasyonun çoğunu engeller. Kızılötesi ışığın bazı dalga boyları su buharı tarafından yoğun bir şekilde emilir. Atmosfer yüksek enerjili dalga boylarına da ket vurur. Bu nedenle atmosferin alt tabakaları, Gama ve X-ışını astronomisine uygun değildir. Söz konusu dalga boylarında gözlemler çoğunlukla gözlemine dönüştürülmüş uçaklar, yüksek irtifa balonları veya son yıllarda yaygınlaştığı üzere uzay gözlemevlerinden yapılabilmektedir.

Gözlem amacıyla, bir kızılötesi teleskop için en uygun konum şüphesiz uzaydır. Uzay teleskopları ile hem daha net görüntüler elde edilebilir hem de Dünya atmosferinin engellediği elektromanyetik dalga boyları tespit edilebilmektedir.

Öte yandan, uzay teleskoplarının bir dizi dezavantajı bulunmaktadır. Uzay teleskoplarını inşa etmek ve uzaya göndermek yüksek maliyetli ve zaman alıcıdır. Bazı uzay teleskoplarını geliştirmek için 30 yıldan fazla zaman harcadığı olmuştur. Öyle ki, bazı teleskoplar uzaya fırlatılmaya hazır olduğunda görev yüklerinin modası geçmiş teknolojiler hâline geldiği olmuştur.

Yüksek maliyet uzay tabanlı teleskopların sayısının artmasının önündeki en büyük engeldir. Küçük bir uzay teleskobunun maliyeti bile 100 milyon doların üzerine çıkmaktadır. Gelişmiş uzay teleskopları için neredeyse milyarlarca dolar harcanması gerekmektedir. Ayrıca uzay teleskoplarının tahmini hizmet ömrü birkaç yılla sınırlıdır. Çünkü arızalandıklarında, yakıtları tükendiğinde ve güncellenmeleri gerektiğinde müdahale edilme şansı pek azdır. Uzay teleskoplarının kullanım ömrünü azaltan başka riskler de mevcuttur: Teleskopları uzaya taşıyacak roketlerin fırlatılması başarılı olmayabilir veya yöruñele-rine varışta sistemleri çalışmayabilir.

Bu olumsuzluklardan dolayı, uzay teleskopları daha iyi görüntüler elde etse de, gözlemsel astronomide yer tabanlı gözlemevlerinden vazgeçilmesi, en azından kısa ve orta vadede mümkün görülmemektedir.

Öte yandan gerek yer bazlı gerekse uzay bazlı teleskopların dezavantajlarını gidermek üzere Ar-Ge çalışmaları sürmektedir. Bunlardan biri uzay istasyonlarına veya Ay yüzeyine teleskoplar yerleştirmektir.

3. UZAY TABANLI TELESKOPLAR

Uzay gözlemevleri veya uzay teleskopları, gözlemsel astronomi amacıyla genellikle Dünya yörüngesine veya Güneş ve Dünya'nın yerçekimi kuvvetlerinden kurtulup kesintisiz gözlem yapabilecekleri Lagrange noktalarına (L1, L2, L3, L4 ve L5 olarak tespit edilen beş noktadan genellikle ilk ikisine) konuşlandırılan yapay uydulardır. Söz konusu uydular bir gövde (bus), görev yükleri (teleskop veya teleskoplar, spektrometreler, dedektörler, algılayıcılar vb.) ve Dünya ile iletişim ve veri aktarımını sağlayan cihazlardan oluşmaktadır. Uzay teleskopları taşıdıkları görev yüklerine göre anılmaktadır. Son yıllarda birden fazla elektromanyetik dalga boyunda gözlem yapabilen teleskoplar ve dedektörlerden oluşan görev yüküne sahip uzay araçları da geliştirilmiştir. Bunlar "uzay gözlemevi" olarak anılmaktadır. Yine son yıllarda Ay'a gönderilen uzay araçlarına ve Uluslararası Uzay İstasyonu gibi platformlara uzay teleskobu yerleştirilmeye de başlanmıştır.

Uzaya 1960'lı yıllardan bu yana uzay teleskopları gönderilmektedir. Bugüne kadar çeşitli ülkelere ait 100'den fazla uzay teleskobu yörüngeye konuşlandırılmış ve bunlardan 27'si hâlen aktif olarak görev yapmaktadır^[24] 2030 yılına kadar 13 yeni teleskobun daha uzaya gönderilmesi planlanmaktadır.

Bunların sayısı günümüzde artmış olmakla birlikte aynı anda aktif olan benzer görev yüklerine sahip uzay teleskoplarının sayısı 5-6 ile sınırlı kalmaktadır. Bunun bir nedeni Bölüm 2.2'de bahsedildiği gibi uzay teleskoplarının pahalı ve riskli girişimler olmasıdır.

Bir diğer neden uzay tabanlı astronomi alanında küresel bir dayanışma sergilenmesidir.

Uzay faaliyetlerinin diğer alanlarındaki (yapay ticari uydular, uzay istasyonları, Ay ve Mars misyonları vb.) yoğun rekabetin^[25] aksine, küresel astronomi topluluğu (uzay ajansları, üniversiteler, araştırma enstitüleri, gözlemevleri, sivil toplum kuruluşları ve özel şirketler), uzay teleskopları alanında işbirliğine gitmekte ve hatta işbölümü yapmaktadır.

Gerçekten de uzay teleskobu misyonları, ülkelerin uzay ajanslarının yanı sıra, astronomi enstitüleri ve üniversitelerinin yoğun uluslararası işbirliği sayesinde geliştirilmekte, maliyetler genellikle geniş bir tabandan karşılanmaktadır. Teleskop projeleri, uluslararası astronomi topluluğunun uzun soluklu çalışmalarının kesintiye uğramaması için ihtiyaçlara göre belirlenmekte; bir ülke veya grup, bir teleskop türünün üzerinde yoğunlaştığında diğerleri, ihtiyaç duyulan başka bir tipte teleskop geliştirmeye veya var olan teleskoplara destek olacak yenilerini geliştirmeye odaklanmaktadır. Ayrıca yeni nesil teleskoplar çok büyük çapta, terabaytlarca veri ürettiği için bunların incelenmesi zaman, finansman ve insan kaynağı gerektirmekte; bu yüzden uzay teleskoplarıyla yapılan çalışmalar genellikle dünya genelindeki araştırmalara açık tutulmaktadır. Kısacası uzay teleskopları genellikle astronomi dünyasının küresel imecesi sayesinde hayata geçmekte ve elde edilen bilgi "küresel kamusal mal" hâline gelmektedir.

Bu bölümde hâlen aktif olan ve yakın gelecekte uzaya gönderilecek olan uzay teleskoplarının özellikleri incelenecektir.

3.1 Optik Uzay Teleskopları

Optik (görünür ışık) astronomik gözlem, büyük ölçüde yeryüzü tabanlı gözlemevlerinde yapılabildiği için, optik gözlem araçları, uzay teleskoplarında tali bir görev yükü hâline gelmiştir. Yine de uzay tabanlı teleskoplar astronomik gözlem tarihinde önemli bir rol oynamışlardır.

Örneğin 2009-2018 yılları arasında aktif olan NASA'nın Kepler Uzay Teleskobu esasında optik bir teleskoptur. Güneş Sistemi dışındaki 2.600'den fazla gezegenin (ötegezegen) keşfini sağlamıştır^[26].

Hubble Uzay Teleskobu^{[27], [28]}

Bağlı Bulunduğu Kuruluşlar	: NASA ve ESA
Fırlatma Tarihi	: 24 Nisan 1990
Gözlem Yaptığı Dalga Boyları	: Optik, morötesi ve yakın-kızılötesi
Yörünge Yüksekliği	: 600 km
Yörünge Turu Süresi	: 96-97 dakika
Yörünge Hızı	: 7.500 m/s
Kütle	: 11.000 kg
Teleskop Tipi	: Ritchey-Chretien yansıtıcı teleskop
Çap	: 2,4 m
Toplama Alanı	: 4,3 m ²

Etkili Odak Uzunluğu : 57,6 m
Görev Yükleri : NICMOS kızılötesi kamera/
spektrometre, ACS optik gözlem kamerası, WFPC2 ge-
niş alan optik kamera, STIS optik spektrometre/kamera
Maliyeti : 1,5 milyar dolar

Uzayda 30 yıldan fazla süredir aktif olan ve şimdiden bir efsane hâline gelen Hubble Teleskobu da temelinde optik bir teleskoptur. Yine de 115 nm ile 2.500 nm dalga boyu aralığında, yani tayfın yakın kızılötesinden yakın morötesi bölgelerine kadar gözlem yapabilir. Hubble'ın modüler bir tasarımı vardır. Bu sebeple astronotlar sonraki mekik görevlerinde arızalı veya yeni parçaları yeni veya gelişmiş aletlerle değiştirebilmektedirler. Bu nedenle uzayda rekor süre kalabilmiştir. Ancak son dönemde Hubble'ın güç sistemlerinin tükendiği ve birkaç yıl içinde hizmet dışı kalacağı belirtilmektedir^[29].

NASA ve ESA işbirliğinin ürünü olan Hubble, astronomik gözlem tarihinin en verimli teleskoplarından biri olmuştur. Hubble, 40.000'den fazla gök cismi üzerinde 1,5 milyondan fazla gözlem yapmış, 150 terabayttan fazla veri üretmiştir. Hubble verilerini kullanan astronomlar, 15.500'den fazla bilimsel makale yayınlamışlardır^[27].

Hubble dışında en önemli uzay tabanlı optik teleskop ESA'nın Gaia Uzay Gözlemevidir. 2013 yılında Güneş ile Dünya arasındaki L2 noktasına konuşlandırılan Gaia 4,6 m uzunluğunda, 2,3 m çapında ve 710 kg ağırlığında, orta büyüklükte bir uzay teleskobudur. Gaia'nın astrometri çalışmalarına yönelik görev yükü de mevcuttur. Ana misyonu Samanyolu Galaksisi'nin üç boyutlu haritasını çıkarmak olan Gaia, daha önce keşfedilen Güneş Sistemi dışı gezegenler üzerinde ölçümler ve gözlemler yapmaktadır^[30]. Gaia'nın 2025 yılına kadar görev yapması planlanmaktadır.

NASA'nın 2018 yılında Yüksek Dünya Yörüngesi'ne (HEO) konuşlandırdığı Geçiş Hâlindeki Öte Gezegen Araştırma Uydusu (Transiting Exoplanet Survey Satellite- TESS), başlıca misyonu Güneş Sistemi'ne yakın yıldız sistemlerini gözlemlemek olan bir uzay teleskobudur. TESS, misyonunu tamamlayan Kepler Uzay Teleskobu'nun görevini üstlenmiş bir optik uydudur. Dört kameradan oluşan görev yüküyle, Güneş Sistemi dışındaki yıldız sistemlerinin yüksek çözünürlüklü görüntülerini yakalayabilmektedir. Söz konusu görüntüler, uzayın üç boyutlu haritalarının çıkarılmasında kullanılmaktadır. Örneğin NASA, TESS'in ilk yılında çektiği yüksek çözünürlüklü 208 fotoğrafı birleştirerek, ortaya etkileyici bir panorama çıkarmıştır^[32]. TESS'in en az 2025 yılına kadar görevde kalması ve 200.000'den fazla ötegezegeni görüntülemesi planlanmaktadır^[31].

TESS'ten bir yıl sonra uzaya gönderilen ve Dünya'nın alçak yörüngesinde 700 km irtifada konuşlandırılan ESA'nın CHEOPS (CHaracterising ExOPlanets Satellite) Teleskobu'nun da ana misyonu ötegezegenleri gözlemlemektir. CHEOPS 30 cm açıklıklı optik bir teleskoptur sadece 273 kg ağırlığında küçük bir teleskoptur.

CHEOPS'un en az 2024 yılına kadar görev yapması planlanmaktadır.

3.2 Kızıl Ötesi Uzay Teleskopları ve James Webb Uzay Teleskobu

Kızılötesi teleskop, astronomik cisimler tarafından yayılan kızılötesi radyasyonu algılamak için geliştirilen teleskoptur. Kızılötesi ışınlar uzaydaki toz ve gaz bulutlarının içinde bozulmadan ve sapmadan geçebilmektedir. Bu nedenle kızılötesi teleskoplar derin uzay çalışmalarında yeni ve önemli keşiflerin yolunu açabilir.

Bu sistemlerin her birinin merkezinde, radyasyonu toplamak ve onu bir gözlem noktasına yansıtmak için kullanılan astronomik bir ayna vardır. Gözlemede, en yaygın olarak kızılötesi kamera ve katı hâl kızılötesi dedektörü olan çeşitli araçlar kullanılabilir. Bu araçlar da çalışmak için kızılötesi radyasyon yaymaktadır. Teleskobun ürettiği radyasyonun, gözlemlenen kızılötesi dalgalarla karışması ihtimali bulunmaktadır. Bunun önüne geçmek için teleskobun aynalarının mutlaka çok düşük (-200 °C veya daha soğuk) sıcaklıklarda soğutulması gereklidir. Bu soğutma genellikle "kriyostat" adı verilen sıvı helyum içeren cihazla yapılmaktadır.

20'nci yüzyılın son çeyreğinden beri uzaya gönderilen bir dizi kızılötesi teleskop, kızılötesi astronomik gözlem için iyi bir çözümün, uzayda gözlem olduğunu göstermiştir. Termal gözlemlerin yardımıyla, bazı gezegenlerin atmosferlerinin yapısını tespit etmek, dev gezegenlerin uydularının yüzeyinde su buzu bulmak, Satürn ve Jüpiter'in termal radyasyonunu keşfetmek^[32] mümkün olabilmektedir. Kızılötesi teleskopların yardımıyla bilim insanları, evrenin yeni bir "ısı" haritasını çıkarmayı başarmışlardır^[33].

Sadece kızılötesi gözleme adanmış ilk kızılötesi uzay teleskobu olan NASA'nın IRAS Teleskobu, 1983'te fırlatılmış ancak soğutucuların hızlı bir şekilde tükenmesi nedeniyle bir yıldan kısa bir süre yörüngede çalışabilmiştir^[34]. 1995'te ESA tarafından uzaya gönderilen Kızılötesi Uzay Gözlemevi (ISO) ise uzayda üç yıldan uzun bir süre aktif kalmış ve 30.000'den fazla bilimsel çalışma yapılmasına imkân tanımıştır^[35]. Ancak ISO da soğutucu ünitesindeki sorun nedeniyle devre dışı kalmıştır.

Uzayda en uzun süre aktif kalan kızılötesi uzay teleskobu ise NASA'nın Spitzer Teleskobu olmuştur. 2003'te uzaya gönderilen Spitzer'in soğutucusundaki sıvı helyum planlandığı gibi beş yıl sonra tükenmiştir. Buna rağmen, teleskobun kızılötesi kamerasının iki kısa dalga modülü, soğutucu madde tüketilmeden 2020 yılı başına kadar önceki hassasiyetle çalışmaya devam etmiştir^[36]. Teleskop, aktif olduğu yaklaşık 17 yıl boyunca pek çok keşfe yol açmıştır. Spitzer, Samanyolu'nun daha ayrıntılı bir haritasını çıkarmaktan Satürn'ün çevresindeki yeni halkayı gözlemlemeye kadar pek çok keşfe imza atmış, Güneş Sistemi ve ötesinde daha önce gizli kalmış kozmik olayların ortaya çıkarılmasında büyük rol oynamıştır. Astronomlar Spitzer Uzay Teleskobu'nu kullanarak Güneş Sistemi dışında, yıldızların çevresinde dönen dev gezegenlerin parlamalarını doğrudan tespit edebilmişlerdir^[37].

James Webb Uzay Teleskobu^[38]

Bağlı Bulunduğu Kuruluşlar	: NASA, ESA ve CSA
Fırlatma Tarihi	: 25 Aralık 2021
Hizmete Giriş Tarihi	: 13 Şubat 2022
Gözlem Yaptığı Dalga Boyu	: Kızılötesi
Yörünge Yüksekliği	: 1,5 milyon km
Yörünge Turu Süresi	: 6 ay
Kütle	: 6.161 kg
Teleskop Tipi	: Korsch Teleskobu
Çap	: 6,5 m
Toplama Alanı	: 25,4 m ²
Etkili Odak Uzunluğu	: 131,4 m
Görev Yükleri	: FGS-NIRISS kızılötesi kamera/spektrometre, MIRI orta kızılötesi kamera, NIR-Cam yakın kızılötesi kamerası, NIRSpec yakın kızılötesi spektograf
Tahmini Görev Süresi	: 20 yıl
Maliyeti	: Yaklaşık 10 milyar dolar

Gözlemsel astronomiye çok büyük katkıları olan Hubble ve Spitzer ömürlerinin sonuna gelmiştir. Bunların her ikisinin de görevini üstlenebilecek bir uzay teleskobu ise Şubat 2022’de faaliyete geçmiştir. NASA’nın, ESA ve Kanada Uzay Ajansı (CSA) ile ortaklaşa geliştirdiği James Webb Uzay Teleskobu (James Webb Space Telescope -JWST), Aralık 2021’de uzaya fırlatıldıktan sonra, Lagrange L2 yörüngesine konuşturulmuş ve 13 Şubat 2022’de faaliyete geçmiştir^[39]. JWST’nin L2 noktası etrafında dönmesi nedeniyle Güneş ile Dünya arasında hep aynı noktada bulunmakta, bu nedenle Dünya’nın termal güçlerinden ve gölgeleme etkisinden muaf kalmaktadır. Ayrıca bu konum teleskobun soğutma sistemleri için gerekli enerjiyi Güneş’ten kesintisiz olarak almasını da sağlamakta ve JWST’ye evreni, avantajlı bir açıdan kesintisiz izleme imkânı da sunmaktadır.

JWST, günümüzün en gelişmiş kızılötesi teleskop teknolojilerine, araçlarına ve aynalarına sahiptir^[40]. Teleskobun dört kızılötesi cihazı (MIRI, FGS-NIRISS, NIRCam ve NIRSpec) galaksileri ve yıldızları Hubble’dan yaklaşık 100 kat daha yüksek çözünürlükle gözlemleyecektir^[41], JWST, yıldız oluşumlarının yanı sıra Güneş Sistemi dahil olmak üzere gezegen sistemlerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini ölçecek, buraların insan yaşamına uygun olup olmadığını araştıracaktır.

JWST’nin ana aynası, teleskobu uzaya taşıyacak roketle sığması için katlanabilir tasarlanmıştır. Ayna, 18 adet altıgen parçadan oluşmaktadır. Söz konusu parçalar açılıp birbirine kenetlendiğinde toplam yüzeyi 25 m²’yi aşmaktadır ve yaklaşık 6,5 m çapında bir teleskop aynası oluşturmaktadır. Malzeme bilimindeki yenilikler sayesinde JWST, Hubble’dan hacim olarak çok daha büyük olmasına rağmen kütle ağırlığı açısından neredeyse yarı yarıya hafiftir. Hubble 11.000 kg iken^[42], JWST 6.100 kg’dan biraz daha ağırdır. JWST’nin ağırlığının azaltılması için en geniş parçası olan aynaları

berilyumdan yapılmış ve ışığı en iyi şekilde toplaması için altınla kaplanmıştır.

Teleskop, bir yandan bataryalarını dolu tutacak enerjiyi almak için Güneş’ten yararlanmak, öte yandan -220 santigrat derecede tutulması gereken aynalarını Güneş’ten korumak zorundadır. Bu nedenle aynaların Güneş’e bakan kısımları beş kat özel filminden oluşan bir “Güneş Kalkanı” ile kaplanmıştır^[43]. Güneş Kalkanı, her zaman Güneş’e bakacak şekilde konumlandırılmıştır ve 110 santigrat derece sıcaklığa rağmen JWST’nin cihazlarının sorunsuz çalışmasını sağlamaktadır.

JWST’nin dört ana misyonu bulunmaktadır^[29]:

- Büyük patlama sonrası ilk yıldızların ışığını yakalamak,
- Galaksilerin oluşumu ve gelişimini izlemek,
- Yıldız ve gezegen sistemlerinin evrimini incelemek,
- Yaşamın kökenini aramak.

JWST’nin topladığı verilerden sadece NASA, ESA veya CSA’dakiler değil, tüm dünyadaki bilim insanları yararlanabilecektir. Nitekim teleskobun işletmesini üstlenen ABD’nin Maryland eyaletindeki Johns Hopkins Üniversitesi Uzay Teleskobu Bilim Enstitüsü, 2020 yılında dünya genelindeki astronomlara gözlem çalışması teklifinde bulunmaları için bir çağrı yapmıştır. Tekliflerin yaklaşık dörtte biri kabul edilmiştir^[44].

JWST, Dünya’ya çok uzakta bir noktada hizmet vereceği için, olası bir arıza veya istenmeyen durumda insani müdahale neredeyse imkânsız olacaktır. Üstelik teleskobun yapısındaki parçaların çokluğu riskleri artırmaktadır. NASA’ya göre sadece teleskobun hizmete girmesini sağlayacak süreçte yaklaşık 140 serbest bırakma mekanizması, 400 makara, 70 menteşe takımı ve 90 kablo dahil olmak üzere yüzlerce farklı hareketli parça kullanılacaktır. Bu nedenle her bir parça ve mekanizma, olası imalat hatası ve arızalara karşı tek test edilmiş ve bunların her biri için alternatifler geliştirilmiştir. Aynı alternatifler teleskobun yazılımları ve iletişim sistemleri için de geliştirilmiştir. Örneğin Dünya’dan gönderilecek komutların işe yaramaması hâlinde, teleskobu otomatik olarak harekete geçirecek yapay zekâ da geliştirilmiştir. Yine de teleskobun 300’den fazla teknik risk senaryosunda alternatifsiz olduğu belirtilmektedir^[45].

3.3 Morötesi Uzay Teleskopları

Morötesi (Ultraviyole) teleskoplar, elektromanyetik spektrumun morötesi dalga boylarında, yani yaklaşık 10 ile 320 nm arasında astronomik gözlem yapılmasını sağlayan cihazlardır. Ultraviyole radyasyon yayan gök cisimleri arasında Güneş, diğer yıldızlar ve galaksiler bulunmaktadır.

Atmosferin ozon tabakası, çoğu morötesi ışığı engelleyerek yeryüzündeki yaşamı bu zararlı ışıklardan korur. Bu nedenle morötesi ışınları görmek için tasarlanmış teleskoplar atmosferin üzerinde olmalıdır. Havada özel uçak teleskopları veya yüksek irtifa balonlarıyla yapılan morötesi astronomi gözlemleri sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle 1960’lı yılların sonundan itibaren morötesi astronomik gözlemlerde uzay teleskopları ön plana çıkmıştır.

O dönemde NASA'nın Yörünge Astronomik Gözlemevi (Orbiting Astronomical Observatory -OAO) ilk yüksek kaliteli morötesi gözlemler yapmayı başarmıştır.

Uzaya Şubat 2022'ye kadar morötesi astronomik gözlem kabiliyetine sahip 22 teleskop gönderilmiştir. Bunlardan yedisi hâlen aktiftir^[46].

Aktif uzay teleskoplarından biri olan Hubble, Bölüm 3.1'de belirtildiği üzere esasında optik bir teleskoptur ancak Kozmik Köken Spektrografi (Cosmic Origin Spectrograph -COS) adı verilen, ultraviyole radyasyonu ayrıntılı olarak incelenebilecek bileşenlere ayıran bir cihaza da sahiptir^[47]. COS, yıldızlar veya kuasarlar (evrenin merkez bölgelerinden muazzam miktarda ışık yayan uzak galaksiler) gibi ışık noktalarının incelenmesinde kullanılmaktadır. Galaksinin evrimini, gezegenlerin oluşumunu ve yaşam için gerekli elementlerin yükselişini incelemek için kullanılmıştır. Hubble, morötesi astronomik gözlemleriyle özellikle kuasarların yapılarına ve yıldızlararası ortama dair önemli bilgiler vermiştir.

NASA'nın Kasım 2004'te uzaya gönderdiği SWIFT ise aslında uzayda gama patlamalarını takip etmek için geliştirilmiş bir uzay teleskobu olmasına rağmen morötesi ve optik teleskoba da sahiptir. Ancak söz konusu teleskop, bağımsız olarak çalışmamakta ve bir gama ışını patlaması sonrasında optik ve morötesi ışınlar olup olmadığını tespit etmekte kullanılmaktadır.

Hindistan Uzay Ajansının (ISRO) 2015 yılında uzaya gönderdiği Astrosat ise bir "uzay gözlemevidir", yani birden fazla dalga boyunda gözlem yapabilen cihazlara sahiptir. Bunlardan biri Morötesi Görüntüleme Teleskobudur (UVIT)^[48]. Ancak Astrosat misyon itibarıyla X-ışını astronomisine eğilmektedir ve UVIT, tali ölçümler için kullanılmaktadır.

Çin Ulusal Uzay İdaresinin (CNSA) 2013 yılında Ay'a indirmeyi başardığı Chang'e-3 robot gezgininde (rover), 50 mm'lik bir Ay Tabanlı Ultraviyole Teleskop (LUT) da bulunmaktadır. Ay'da konumlanmış olması açısından LUT astronomik gözlem tarihinde bir ilktir ve bir ikiz yıldız gözlemlenmesi gibi bazı önemli çalışmalarda kullanılmıştır^[49]. Ancak bu küçük bir teleskoptur ve kabiliyetleri sınırlıdır^[50].

Uzayda hâlen sadece morötesi astronomi gözlemlerine adanmış iki adet uzay teleskobu bulunmaktadır. Bunlardan biri NASA'nın Arayüz Bölgesi Görüntüleme Spektrografıdır (Interface Region Imaging Spectrograph -IRIS). IRIS'in sadece iki görev yükü bulunmaktadır: 20 cm çapında bir aynası bulunan morötesi teleskop ve bir görüntüleme spektrografi. Küçük bir uzay teleskobu olan IRIS'in tek görevi Güneş'i gözlemlemektir. Teleskop, her 5 ila 10 saniyede bir yeni bir görüntü ve her bir ila iki saniyede bir spektrum yakalamaktadır. Bu benzersiz kabiliyetle yakalanan görüntüler daha sonra üç boyutlu dijital modelleme teknolojisi ile birleştirilmektedir^[51]. IRIS tarafından toplanan veriler Güneş'in "arayüz bölgesinin" önceden düşünülen çok daha karmaşık olduğunu, söz konusu bölgede çok sayıda ısı bombaları, yüksek hızlı plazma jetleri, nano patlamalar ve mini kasırgalar yaşandığını göstermiştir^[52].

Hisaki (SPRINT-A)^{[53], [54], [55]}

Bağlı Bulunduğu Kuruluş	: JAXA
Fırlatma Tarihi	: 14 Eylül 2013
Gözlem Yaptığı Dalga Boyları	: Morötesi
Yörünge Yüksekliği	: Yaklaşık 1.000 km
Yörünge Turu Süresi	: 106.27 dakika
Kütle	: 340 kg
Teleskop Tipi	: Aşırı Morötesi Teleskop
Çap	: 20 cm
Görev Yükleri	: Uzak Morötesi Spektrograf
Maliyeti	: Yaklaşık 100 milyon dolar

Faal olarak derin uzay çalışmaları yapan morötesi astronomi gözlemine adanmış tek uzay teleskobu ise Japonya Uzay Ajansına (JAXA) ait Hisaki Uzay Teleskobu'dur. Dünya'nın alçak yörüngesine konuşlandırılan aşırı morötesi spektroskoplu Hisaki, Venüs, Mars ve Jüpiter gibi gezegenlerin uzaktan gözlemlenmesinde çok önemli katkılarda bulunmuştur.

JAXA, çok daha gelişmiş bir morötesi uzay teleskobunun geliştirilmesi için Rusya Uzay Ajansı ROSCOSMOS ile işbirliği yapmaktadır. İspanya'nın da destek verdiği Dünya Morötesi Uzay Gözlemevi (World Space Observatory UV- WSO-UV) 1,7 m'lik bir morötesi uzay teleskobu ve gelişmiş morötesi spektroskopi ile donatılmıştır. WSO-UV sadece Güneş Sistemi ve ötesindeki gezegenlerinin gözlemlenmesinde kullanılacaktır. Teleskobun 2025 yılında uzaya fırlatılması planlanmaktadır^[56].

3.4 X-ışını Uzay Teleskopları

X-ışını (X-Ray, röntgen) uzay teleskopları, ana görev yükü patlamış yıldızlar, galaksi kümeleri ve karadeliğin etrafındaki maddeler gibi evrenin çok sıcak bölgelerinden gelen X-ışını emisyonunu tespit etmek için özel olarak tasarlanmış teleskopları olan yapay uydulardır.

X-ışınları, nötron yıldızı ve karadeliğin gibi gök cisimlerinin çevrelerinde, genellikle büyük patlamalar sonrası oluşan yüksek enerjili manyetik alanlardan kaynaklanmaktadır. X ışınları yüksek frekanslı ışınlardır. Bu nedenle dalga boyları yerine enerjileri ile ölçülmektedir. Tipik bir X ışını, 1 kg elektron volt (keV) enerjiye ve 0,12 nm dalga boyuna sahiptir. X-ışınlarının yüksek enerjisi mercekleme odaklamaya imkân tanımamaktadır. X-ışınlarını yakalamak için geniş açılı parabolik aynalar da kullanılamaz çünkü X-ışınları ayna yüzeye çarptıklarında yansımazlar: Ya emilirler ya da çanak yüzey inceyse geçip giderler. Bu yüzden 10 keV'a kadar olan X-ışınlarını odaklamak için çok küçük açılı teleskoplar kullanılır^[57]. Bunlar, yüzey alanını genişletmek için iç içe geçmiş metal silindirlere oluşmaktadır. Yüksek enerjili X-ışınları, içi boş olan bu silindirlerin iç kısımlarına çarpar ve elektronik dedektörlere odaklanır. Hangi dedektörün kullanıldığına bağlı olarak,

kozmetik kaynağın çok detaylı görüntüleri veya spektrumları yapılabilir ve analiz edilebilir^[58].

Bugüne kadar 40 kadar X-ışını gözlemi yapabilen uzay teleskobu geliştirilmiş ve uzaya gönderilmiştir. Bunlardan 11'i, Şubat 2022 itibarıyla aktiftir. Aktif X-ışını uzay teleskoplarından en uzun süredir görevde olanları, her ikisi de 1999'da uzaya gönderilen NASA'nın Chandra X-ışını Gözlemevi ile ESA'nın XMM-Newton teleskoplarıdır. 20 yıldan uzun süredir aynı yörüngede birbirini tamamlayan görevler yürüten iki teleskop, şimdiye kadar yapılmış en gelişmiş X-ışını teleskoplarıdır. Dünyanın X-ışınları üzerindeki olumsuz etkilerinden sakınmak için Dünya çevresinde dairesel bir yörünge yerine Son Derece Eliptik Yörüngeye (HEO) konuşlandırılmışlardır. HEO'nun Dünya'ya en uzak noktası 139.000 km, en yakın noktası ise 10.000 km uzaklıktadır.

Chandra, patlamış yıldızlardan kalan sıcak gaz bulutları gibi yüksek enerjili bölgelerden gelen X ışınlarını gözlemlemek için tasarlanmıştır. Teleskop, iridyumdan yapılmış ve iç içe geçmiş çok hassas dört aynaya sahiptir. Bu sayede gök cisimlerinin konumlarını hassas biçimde tespit edebilir ve yüksek çözünürlüklü görüntülerini elde edebilir. Chandra, şimdiye kadar patlamış yıldızların kalıntılarını görüntülemiş, Samanyolu'nun merkezindeki süper kütleli karadeliğin etrafındaki bölgeyi gözlemlemiş ve evrenin çeşitli yerlerinde bilinmeyen karadelikler keşfetmiştir. Chandra ayrıca bir galaksi çarpışmasında karanlık maddenin normal maddeden ayrılmasını izlemiştir^[59]. Chandra'nın 2020 yılında ilk kez bir başka galaksideki bir gezegeni izleyebildiği de bildirilmiştir^[60].

Chandra yüksek enerjili X-ışınlarına odaklanırken, XMM-Newton ise daha geniş aynalarıyla düşük enerjili X-ışınlarını toplayabilmekte ve bu sayede sönük ışıklı gök cisimlerinin incelenmesine fırsat tanımaktadır. Chandra ve XMM Newton, 22 yılı aşan görev sürelerinde binlerce keşfe imza atmışlar ve binlerce bilimsel çalışmanın yapılmasına imkân tanımışlardır^[61].

Chandra ve XMM Newton'dan sonra X-ışını gözlem kabiliyetine sahip bir dizi teleskop daha uzaya gönderilmiştir. ESA'nın 2002'de uzaya gönderdiği INTEGRAL, NASA'nın 2004'te uzaya gönderdiği Swift^[62], İtalya Uzay Ajansının (ASI) 2007'de uzaya gönderdiği Agile Uzay Gözlemevi, üzerlerindeki güçlü X-ışını algılayıcıları ve teleskoplarına rağmen, esasen Gama ışını misyonları yürütmektedir. Söz konusu cihazlar, genellikle gama ışını patlamaları sonrasında oluşan X-ışınlarını incelemek içindir.

NASA'nın 2012'de uzaya gönderdiği Nükleer Spektroskopik Teleskop Dizisi (Nuclear Spectroscopic Telescope Array -NuStar) ise derin uzayın astrofiziksel araştırması için tasarlanmış küçük bir X-ışını yörünge teleskopudur. Dünyanın alçak yörüngesine konuşlandırılan NuSTAR'ın tasarımı diğerlerinden hayli farklıdır. NuSTAR Teleskobu, maliyetlerin düşük tutulması amacıyla yörüngeye tümüyle açılmadan yerleştirilmiştir. Bunun yerine açılarak uzayabilen kafes tipi bir iskeleye sahiptir. Bu iskele, X ışın teleskoplarında odaklama için ihtiyaç duyulan büyük odak uzunluklarını (azami 10 metre) elde etmekte kullanılır^[63].

NuSTAR Teleskobu'nun öncelikli hedefleri karadelik taraması yapmak, genç süpernova patlamalarını haritalamak, güçlü kozmik hızlandırıcıları incelemek ve evrendeki yüksek enerji kaynaklarını tanımlamaktır. Ancak NuStar, öncelikle Güneş'in atmosferinden yayılan X-ışınlarını takip ederek Güneş atmosferi hakkında daha fazla bilgi edinilmesini sağlamaktadır^[64].

Yine NASA'nın 2017 yılında Uluslararası Uzay İstasyonu'na monte ettiği NICER adı verilen X-ışını teleskobu, nötron yıldızlarının sıradışı yerçekimsel, elektromanyetik ve nükleer fizik ortamlarının incelenmesi için geliştirilmiştir. Teleskobun yumuşak X-ışını alıcıları son derece hassastır ve tekil fotonları bile yakalayabilmektedir^[65]. Bu hassasiyet sayesinde NICER'in X-ışını pulsarları kullanılarak uzay araçlarının konumunun belirlenmesi de hedeflenmektedir. Söz konusu çalışma "uzay araçları için navigasyon sistemi" olarak tanıtılmış ve ilgi görmüştür^[66].

NICER ile aynı yıl uzaya fırlatılarak Dünya'nın alçak yörüngesine konuşlandırılan Güçlü X-ışını Modülasyon Teleskobu (HXMT) veya "Insight", Çin'in ilk X-ışını uzay teleskobu olarak hizmet vermektedir. Insight'ın temel bilimsel hedefleri; yeni geçici kaynaklar bulmak ve bilinen değişken kaynakları izlemek için Galaksi Düzlemini (Galaktik düzlem ya da galaksi düzlemi, galaksinin disk şeklinde uzandığı ana oluşum kitlesidir.) taramak, güçlü yerçekiminde dinamikleri ve emisyon mekanizmasını incelemek için X-ışınlarını gözlemlemek ve gama ışını patlamalarını incelemektir^[67]. Insight Uzay Teleskobu, Doğrudan Demodülasyon Yöntemine (DDM) dayalı olarak, taranan gökyüzü bölgesinin görüntüsünü yeniden oluşturabilir^[68]. Insight'ın bir amacı da tıpkı NICER gibi derin uzay çalışmalarında kullanılacak uzay araçları için bir "navigasyon sistemi" oluşturulmasına katkı sağlamaktır^[67].

Spektr-RG^[69], [70]

Bağlı Bulunduğu Kuruluşlar

: Rus Uzay Araştırma Enstitüsü (RSRI), Alman Havacılık ve Uzay Merkezi (MPE)

Fırlatma Tarihi

: 13 Temmuz 2019

Gözlem Yaptığı

Dalga Boyları

: X-ışını

Yörünge Yüksekliği

: Yaklaşık 1,5 milyon km

Kütle

: 2.712 kg

Teleskoplar

: ART-XC güçlü X-ışını teleskobu, eROSITA orta güçte X-ışını teleskobu

Maliyeti

: Yaklaşık 10 milyar dolar

Tahmini Görev Süresi

: 4-7 yıl

Maliyeti

: 600 milyon dolar

X-ışını gözlem uzay teleskobu Spektr-RG ise Temmuz 2019'da uzaya fırlatılmıştır ve Lagrange L2 noktasına konuşlandırılmıştır. Rusya ve Almanya'nın ortaklaşa geliştirdiği Spektre-RG'nin ana görev yüklerini,

Rusya'da geliştirilen güçlü X-ışını teleskobu ART-XC ve Almanya'da geliştirilen orta güçte eROSITA teleskopları oluşturmaktadır.

Spektr-RG'nin ana misyonu, dört yıl boyunca tüm gökyüzünü X-ışını aralığında yüksek çözünürlükte fotoğraflayarak evrenin bir haritasını çıkarmaktır. Her biri altı ay sürecek proje etaplarında toplam sekiz harita oluşturulacaktır. Tüm çalışmaların birleştirilmesi sonucunda oluşturulacak harita, 2025'te yayınlanacaktır.

En yeni X-ışını uzay teleskobu ise NASA'nın İtalya Uzay Ajansı ile (ASI) birlikte geliştirdiği IXPE veya SMEX-14 teleskobudur. 9 Aralık 2021'de Dünya'nın alçak yörüngesine konuşlandırılan IXPE, 188 milyon dolar gibi görece düşük bir maliyetle üretilmiştir^[71].

IXPE, karadeliklerin, nötron yıldızlarının ve pulsarların kozmik X-ışınlarının polarizasyonunu (gök cisimlerinin fiziki özelliklerini çıkarmak için kullanılan yöntem) ölçmek için tasarlanmış üç özdeş teleskopa sahip bir uzay gözlemevidir. Misyon egzotik astronomik nesnelere inceleyecek ve karadeliklerin, nötron yıldızlarının, pulsarların, süpernova kalıntılarının, magnetarların (güçlü manyetik alana sahip yıldızlar), kuasarların ve aktif galaksi çekirdeklerinin^[72] manyetik alanlarının haritalanması için kullanılacaktır^[73].

3.5 Gama Işını Teleskopları

Gama ışını uzay teleskopları, görev yüklerinde gök cisimlerinden kaynaklanan ancak atmosfer tarafından emildiği için yeryüzünden gözlenmesi mümkün olmayan yüksek enerjili gama ışınlarını toplamak ve ölçmek için gerekli teleskop ve dedektörler bulunan uzay araçlarıdır. Gama ışını uzay teleskopları 1960'lı yıllardan bu yana uzaya gönderilmektedir. Bugüne kadar 13 gama uzay teleskobu uzaya gönderilmiştir ve bunlardan beşi hâlen aktiftir^[46].

INTEGRAL^{[74], [75]}

Bağlı Bulunduğu

Kuruluşlar	: ESA, ROSCOSMOS, NASA
Fırlatma Tarihi	: 17 Ekim 2002
Gözlem Yaptığı	
Dalga Boyları	: Gama ışını X-ışını
Yörünge	: HEO
Boyutlar	: 5 m x 2,8 m x 3,2 m, 3.450 kg
Görev Yükleri	: ACS teleskop, IBIS görüntüleyici, IREM radyasyon izleme cihazı, JEM-X X-ışını izleme aracı, optik izleme kamerası, spektrometre.
Maliyeti	: Yaklaşık 10 milyar dolar
Tahmini Görev Süresi	: 4-7 yıl
Maliyeti	: 330 milyon avro

Aktif olanlardan en uzun süredir faaliyette olanı ESA'nın, NASA ve ROSCOSMOS ile işbirliği yaparak geliştir-

diği Uluslararası Gama Işın Astrofizik Laboratuvarı'dır (International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory, INTEGRAL). Yaklaşık 5 m uzunluğunda; 3,7 m çapında ve 4 ton ağırlığındaki INTEGRAL, büyük bir uzay teleskopudur.

Ekim 2002'de Son Derece Eliptik Yörüngeye (HEO) yerleştirilmiştir. Bu yörünge, büyük bölümü Dünya'dan uzakta bulunması nedeniyle, INTEGRAL'e, atmosferin geçişine izin vermeyip yansıttığı elektromanyetik ışınların yol açtığı radyasyondan muaf şekilde gözlem yapabilmeye olanağı vermektedir^[76].

INTEGRAL, görev yükü olarak dört hassas bilimsel cihaz taşımaktadır: Gama ışını kaynaklarının yüksek çözünürlüklü görüntülerini yakalayabilen bir görüntüleyici, gama ışınlarının enerji miktarını ölçen bir tayfölçer, gama ışını kaynaklarını tespit etmek için bir X-ışını takipçisi ve bir optik kamera. Dört enstrümanın hepsi, gökyüzündeki aynı bölgeyi, aynı anda gözlemleyebilmektedir. Uzay aracının cihazları çok geniş görüş alanlarına sahiptir ve bu, gökyüzünün büyük bölümlerini sürekli olarak izleyebildikleri için geçici kaynaklardan gelen gama ışını emisyonunu tespit etmek için yararlıdır.

Uzayda yaklaşık 20 yılı geride bırakan INTEGRAL, süpernova patlamaları ve karadelikler ile nötron yıldızları gibi kompakt nesnelere son derecede enerjili doğaları hakkında bazı bilimsel bilgilerin elde edilmesine önemli katkılarda bulunmuştur^[74]. Bu katkılar şöyle sıralanabilir:

- Gama ışını kaynaklarının spektral ölçümleri,
- Kayıtlardaki en yakın ve en zayıf olanlar da dahil olmak üzere gama ışını patlamalarının tespiti,
- Galaksi düzleminin gama ışınlarıyla haritalanması,
- Galaksi merkezinden yayılan gama ışını emisyonunu çözme,
- Yüksek oranda emilen nesnelere yeni sınıfını bulma.

NASA'nın INTEGRAL'den iki yıl sonra uzaya gönderdiği ve hâlen aktif olan SWIFT Gözlemevi, temel misyonu uzaydaki gama ışını patlamalarını incelemek olan üç teleskoplu bir uzay aracıdır. Yaklaşık 5 m uzunluğunda ve 5,4 m çapında ve görev yüküyle birlikte yaklaşık 1,5 ton ağırlığında büyük bir uzay teleskobudur. INTEGRAL'in aksine Dünya'nın alçak yörüngesinde, yaklaşık 600 km irtifada dairesel bir yörüngede konuşlandırılmıştır.

SWIFT'in üç teleskobundan ilki olan Patlama Uyarı Teleskobu (BAT), gama patlamalarını 10 saniye içinde büyük hassasiyetle algılamakta ve yerini tespit edebilmektedir. Teleskobun bugüne kadar 2.000'e yakın patlama tespit ettiği belirtilmektedir^[77]. SWIFT'in X-ışını teleskobu (XRT) ise patlamanın ardından yayılan X-ışınlarını 60 saniye içinde yakalayıp, patlamanın konumuna ilişkin bilgiyi daha da güçlendirmektedir. Üçüncü teleskop olan mortotesi optik teleskop (UVOT) ise yaklaşık iki saat içinde BAT ve XRT tarafından elde edilen bilgileri işleyerek gama ışını patlamasının net bir görüntüsünü çıkarabilmektedir^[78].

İtalyan Uzay Ajansı ASI'nin 2007 yılında Dünya'nın alçak yörüngesinde, yaklaşık 550 km irtifada

konuşlandırdığı Astro Görüntüleme Gama Işığı Dedektörü (Astro rivelatore Gamma a Immagini Leggero- AGILE) ise evrendeki gama ışıklarını gözlemlemek için geliştirilen bir uzay teleskobudur. Yaklaşık 216.000 cm³ hacme ve sadece 350 kg ağırlığa sahip küçük bir uydudur. Buna rağmen hassas gama ışını (Gamma Ray Imaging Detector GRID) ve güçlü X-ışını algılayıcılarına sahiptir. AGILE, 14 yılı geride bırakan görev süresinde nebularlar, uzak galaksiler ve karadeliğler üzerinde çok sayıda başarılı gözleme imza atmıştır.

2008'de dünyanın alçak yörüngesinde yaklaşık 500 km irtifada yerleştirilen Fermi Gama Işını Teleskobu ise NASA, ABD Enerji Bakanlığı ve Japonya ile Avrupa'daki kurumların ortaklığıyla geliştirilmiş bir teleskobtur. 2,8 m uzunluğunda 2,5 m genişliğinde kübik tipte bir uzay aracı olan Fermi, yaklaşık 4,5 ton ağırlığındadır ve orta büyüklükteki bir uzay teleskobudur.

Fermi, diğer gama ışını uzay teleskoplarından farklı olarak bir Geniş Alan Teleskobu'na (Large Area Telescope -LAT) sahiptir. LAT, kendinden önce uzaya gönderilen gama ışını teleskoplarından çok daha geniş görüş alanına ve gama ışınlarına 30 kat daha fazla hassasiyete sahiptir^[79].

Fermi'nin ana misyonu görünür evrenin haritasını çıkarmaktır. Fermi ile yoğun gama ışınlarının alındığı karadeliğler, uzak galaksiler ve pulsarlar tespit edilmekte ve konumlandırılmaktadır. ABD'li bilim insanları, Fermi'den topladıkları verilerden yola çıkarak uluslararası işbirliğiyle gök cisimlerinin bir katalogunu hazırlamaktadır.

4. UZAY TELESKOBU PROJELERİ

Uzay teleskopları, geliştirilmeleri uzun zaman alan cihazlardır. Çoğunun Ar-Ge'si için harcanan süre, uzayda aktif kaldıkları süreden daha uzundur. Geliştirme süreci devam ederken, teknolojiler de değişmekte, bazen uzay teleskobu uzaya fırlatıldığında bile "eskimiş teknolojiye" sahip olabilmektedir. Bu nedenle uzay teleskopları geliştirilirken, bir sonraki nesil uzay teleskoplarının çalışmaları yürütülmektedir. Bu bölümde 2040 yılına kadar uzaya fırlatılması beklenen bazı uzay teleskopları incelenecektir.

4.1 Uluslararası Ay Gözlemevi (The International Lunar Observatory -ILO-1)

Bir grup özel şirket ve kuruluş Ay'da bir astronomi gözlemevi oluşturulması için Uluslararası Ay Gözlemevi Birliği (ILOA-Hawaii) adını verdikleri bir girişim başlatmıştır. ILOA-Hawaii ilk etapta Ay'ın güney kutbuna küçük bir optik teleskop kurmayı hedeflemektedir. ILO-1 adı verilen bu robot teleskobun 2022 yılının ikinci çeyreğinde uzaya fırlatılması hedeflenmektedir. Ay'ın atmosferinin olmaması nedeniyle optik teleskobun, yeryüzü tabanlı optik teleskopların atmosfer koşullarında sapmaya uğrayan görünür ışıkları doğru bir açıdan almasını sağlayan ve bir dizi hareketli aynadan oluşan ancak hayli pahalı olan "adaptif sistemlere" sahip olması gerekmektedir. Ayrıca Ay'da kesintisiz astronomik gözlem yapılabilecektir. Fırlatma dahil projenin toplam maliyetinin 50 milyon dolarda kalacağı tahmin edilmektedir^[80].

4.2 X-ışını Polarimetre Uydusu (XPoSat)

Hindistan Uzay Ajansının (ISRO) geliştirdiği küp teleskop uydusudur. 2022 yılının ikinci çeyreğinde uzaya gönderilmesi planlanmaktadır. XPoSat yaklaşık 60 cm³lük hacme ve 125 kg ağırlığa sahip bir X-ışını uzay teleskobudur. Dünya'nın alçak yörüngesinde 500-700 km irtifada konuşlandırılması planlanmaktadır. XPoSat, Hindistan'ın X-ışını astronomi gözlemine adanmış ilk uzay teleskobu olacaktır. Uzay teleskobunun ana misyonu Güneş'in izlenmesidir^[81]. Hindistan Güneş atmosferini incelemek için ayrıca 2022'nin sonbaharında, üzerinde morötesi X-ışını teleskopları ve algılayıcıları bulunan, Aditya-L1 adlı uzay gözlemevini de fırlatmayı planlamaktadır^[81].

4.3 X-ışını Görüntüleme ve Spektroskopi Misyonu (XRISM)

2016 yılında uzaya Hitomi adını verdiği bir X-ışını teleskobu gönderen Japonya Uzay Ajansı (JAXA), bir dizi arızanın ardından bir ay sonra bu teleskobu yitirmişti. JAXA 2022 yılında hemen hemen Hitomi'nin aynısı bir X-ışını gözlem teleskobunu uzaya göndermeye hazırlanmaktadır. XRISM adı verilen yeni teleskop, düşük enerjili X-ışını görüntüleme spektroskopisine sahip olacaktır. XRISM ayrıca, Hitomi'de de bulunan X-ışını mikro kalorimetresi ve X-ışını CCD kamerası ile de donatılacaktır^[82]. Dünya'nın alçak yörüngesinde yaklaşık 550 km irtifada konuşlandırılacak XRISM'in görev ömrünün en az üç yıl olacağı tahmin edilmektedir^[83].

4.4 Euclid

Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından kara madde, kara enerji ve evrenin genişlemesine dair gözlemlerde bulunmak için geliştirilen görünür ışık (optik) ve yakın kızılötesi uzay teleskobudur.

Astronomideki en büyük gizemlerden ikisi, karanlık madde ve karanlık enerjidir. Karanlık enerji, uzak galaksilerin hareketlerini açıklayabilmek için geliştirilmiş bir teoridir. Astronomlar, uzak galaksileri gözlemlediklerinde bizden uzaklaşırken beklenenden çok daha hızlı olduklarını gözlemlemişlerdir^[84]. Evren, gittikçe genişlemektedir ve bu genişleme giderek hızlanmaktadır. Euclid ile ESA, bu fenomeni daha iyi anlamaya çalışacaktır. ESA, Euclid'in hassas ölçüm yapan bileşenlerinin geliştirilmesinde NASA'dan yardım almıştır. NASA mühendisleri, -136 derecede dondurucu soğuklarda çalışması gereken teleskop için 20 adet sensör elektronik donanımı tasarlamıştır. 2023 yılında uzaya fırlatılıp Lagrange L2 noktasına konumlandırılması planlanan Euclid'in en az altı yıl aktif kalması planlanmaktadır^[85].

4.5 TOLIMAN

Avustralya'nın Sidney Üniversitesine bağlı Sidney Astronomi Enstitüsünün, NASA ile işbirliği içinde geliştirdiği TOLIMAN, Güneş Sistemi'ne en yakın yıldız sistemi olan Alpha Centauri'yi daha yakından izleyecek olan optik bir teleskobtur. Teleskobun 2023 yılında uzaya gönderilmesi planlanmaktadır. TOLIMAN Teleskobu, Alpha Centauri'nin "Goldilocks bölgesine", yani tıpkı Güneş ile

Dünya arasında olduğu gibi, kendi yıldızına “canlı yaşamına uygun” mesafede bulunan gezegenlere odaklanacaktır. Söz konusu mesafe, gezegenlerde sıvı hâlde su bulunması olasılığını artırmakta, dolayısıyla gezegeni yaşamaya uygun hâle getirmektedir.

Bir başka deyişle TOLIMAN, Alpha Centauri’de Dünya benzeri gezegenler arayacaktır. Bunun için yakalanan yıldız ışığı üzerinde hassas şekilde kesin ölçümler yapılabilmesine imkân veren “kırınımlayıcı göz bebeği (diffractive pupil lense)” adı verilen yeni bir teknoloji kullanacaktır^[86]. Dünya’nın alçak yörüngesine konuşlandırılacak küçük teleskobun maliyetinin de oldukça düşük olacağı belirtilmektedir.

4.6 SPEREx

NASA’nın Nisan 2025’te uzaya göndermeye hazırlandığı yakın kızılötesi teleskoptur^[87]. Geniş bir gözlem aralığı bulunan teleskop yaklaşık 450 milyon galaksinin yakın kızıl ötesi tayfını ölçecektir. 96 renk bandında bir harita oluşturmak için her altı ayda bir tüm gökyüzünü haritalandıracak olan SPHEREx, yıldızların doğdukları ve yeni gezegenlerin olduğu bölgelerde su ve metanol gibi organik molekülleri arayacaktır. Projenin maliyeti ise, fırlatma maliyetleri hariç 242 milyon dolardır^[87]. SPEREx’in en az iki yıl görev yapması planlanmıştır.

4.7 PLATO

ESA’nın 2026 yılında uzaya göndermeyi planladığı optik gözlemevidir. PLATO’nun görev yükü, ikisi hızlı kamera olmak üzere 26 adet kameradan oluşmaktadır^[88]. En az dört yıl sürecek misyonun amacı, yıldızların etrafında canlı yaşamına uygun koşullara sahip gezegenleri tespit etmektir. PLATO ayrıca yıldızlardaki sismik aktiviteyi araştırmak için de tasarlanmıştır^[89]. Projenin maliyetinin 600 milyon avro olacağı belirtilmektedir^[90].

4.8 Roman Uzay Teleskobu

Kısaca Roman Uzay Teleskobu olarak anılan Nancy Grace Roman Uzay Teleskobu, NASA’nın 2027 yılı ortasına kadar uzaya gönderip Lagrange L2 noktasında konuşlandırmayı planladığı, kızılötesi astronomi gözlemi yapmayı amaçlayan uzay teleskobudur. “Hubble Teleskobu’nun annesi” olarak da anılan NASA’nın ilk kadın yöneticilerinden Nancy Grace Roman’ın adını taşıyan teleskop, görünüş ve büyüklük açısından Hubble Teleskobu’nu andırmaktadır ancak ondan çok daha gelişmiş cihazlara sahiptir. 2,4 m çapındaki Roman Teleskobu’nun iki önemli görev yükü bulunmaktadır. Bunlardan birincisi olan Geniş Alan Enstrümanı (Wide Field Instrument), görevi boyunca milyarlarca galaksiden gelen ışığı ölçecektir ve Hubble kızılötesi dedektörüne göre 100 kat daha geniş görüş alanı sunacaktır^[91]. Geniş alan, gözlem süresinin de kısılmasını sağlamaktadır. Gözlem süresinin kısılması toplam veri miktarının artmasını ve süpernova patlaması oluşumu gibi kısa süreli fenomenlerin anında tespit edilip takibe alınmasını sağlayacaktır. Roman Teleskobu, beş yıl sürecek olan birincil görev süresi boyunca 20.000 terabayt veri toplayacak ve bunu Hubble’dan yaklaşık 500 kat daha hızlı

yapabilecek. Coronagraph aleti ise yakında bulunan diğer dış gezegenlerin yüksek çözünürlükte görüntülerinin alınmasını ve spektroskopisini sağlayacaktır.

Nancy Grace Roman Uzay Teleskobu^{[92], [93]}

Bağlı Bulunduğu Kuruluşlar	: NASA
Planlanan Fırlatma Tarihi	: 2027
Gözlem Yaptığı Dalga Boyları	: Kızılötesi
Yörünge	: Lagrange L2
Ağırlık	: 4.059 kg
Görev Yükleri	: Geniş Alan Enstrümanı (Wide Field Instrument), Coronagraph.
Maliyeti	: Yaklaşık 3,2 milyar dolar
Tahmini Görev Süresi	: En az 5 yıl

Roman Uzay Teleskobu’nun tasarlanma amacı karanlık enerji, ötegezegenler ve kızılötesi astrofizik alanlarındaki temel sorulara yanıt bulmaktır. Roman, bunun için kütleçekimsel mercekleme (mikrolensing) adı verilen bir yöntem kullanacaktır. Kütleçekimsel mercekleme, kütlesi bulunan cisimlerin uzay-zamanı bükmesi sonucu oluşan gözlemsel bir etkidir. Bu etki yoğunluk ve kütlesi fazla olan karadeliğe ve galaksilerin çevresinde sık sık görülür. Fakat bunlar ancak hassas mikrolensleme ile saptanabilir. Roman’ın mikrolensing tasarımı ile çok daha ayrıntılı izler keşfedilebilecektir. Roman Teleskobu’nun maliyetinin 3,2 milyar doları bulunduğu belirtilmektedir.

4.9 ATHENA

Athena (Yüksek Enerjili Astrofizik için Gelişmiş Teleskop), ESA’nın 2030’lu yılların başında uzaya göndermeyi planladığı X-ışını gözlemevi projesidir. Athena, güneş sistemi gövdelerinden bilinen en uzak nesnelere kadar tüm astrofiziksel nesne sınıflarında yüksek enerjili fenomenler hakkında araştırma yapacaktır.

Athena, Avrupa’da geliştirilen Yüksek performanslı “Si gözenek optiği” adı verilen yeni bir teknoloji kullanan, 12 m odak uzaklığına sahip X-ışını teleskobundan oluşacaktır. Görev yükleri arasında Geniş Alan Görüntüleyici (WFI) ve X-ışını spektroskopisi sağlayan X-ışını İntegral Alan Birimi (X-IFU) bulunmaktadır. Maliyetinin bir milyar avroyu bulacağı ifade edilmektedir^[94].

4.10 LISA

Lazer Interferometre Uzay Anteni (Laser Interferometer Space Antenna -LISA), ESA’nın 2034 yılında uzaya göndermeyi planladığı, Yerçekimsel Dalgaları (Gravitational Waves) ölçmek için gerekli olan teknolojileri test etmeyi planlayan bir takımuydudur^[95].

Yerçekimsel dalgalar, Albert Einstein’ın göreliliğin genel kuramında da öngördüğü gibi, gökbilimsel olayların ve gök cisimlerinin sebep olduğu uzay zamanının yapısındaki dalgalıdır. Yerçekimsel dalgaların varlıklarına

dair dolaylı kanıtlar olmasına rağmen, varlıkları doğrudan gözlenmiş değildir. Karadelik çarpışmaları gibi kozmik olayların gözlemlenebilir yerçekimsel dalgalar oluşturabildiği düşünülmektedir. Yerçekimsel dalgaların doğrudan keşfinin astronomide yeni bir döneme öncülük etmesi beklenmektedir. ESA yerçekimsel dalgaları tespit etmek için üç uzay aracından oluşan bir takımuydu sitesi öngörmektedir. Sistemin 2034 yılında uzaya gönderilmesi planlanmaktadır.

4.11 LUVOIR

Büyük Morötesi, Optik ve Kızılötesi Araştırma Teleskobu (LUVOIR) NASA için önerilen bir uzay teleskobudur. Ana misyonu Dünya dışı canlı varlığına ilişkin araştırmalar yapmak olacaktır^[96]. 2030'lu yılların sonunda James Web Teleskobu'nun yerini alacağı ancak ondan çok daha büyük olacağı kaydedilmektedir. Boyutları dışında LUVOIR Teleskobu'nun en önemli farkı modüler yapısı sayesinde güncellenebilir, yenilenebilir ve onarılabilir olmasıdır. Böylece teleskobun ömrü uzayacak ve uzay tabanlı gözlemlerin maliyeti düşecektir.

5. SONUÇ

21'inci yüzyılda uzay çalışmaları, hem devlet hem de özel sektör şirketleri arasındaki kıyasıya rekabetle şekillenmekte ve tam teşekküllü bir uzay ekonomisine doğru evrilmektedir. Bu ortamda, rekabetten çok işbirliği ve işbölümünün hakim olduğu tek alan astronomi çalışmalarıdır. Birçok ülkenin uzay çalışmalarına ilişkin kuruluşları, akademik kuruluşlar ve sivil inisiyatifler, derin uzay gözlemsel astronomi çalışmalarında eşine az rastlanır bir dayanışma göstermektedir. Bu dayanışma özellikle pahalı ve zahmetli girişimler olan uzay teleskoplarının geliştirilmesinde kendini göstermektedir. Söz konusu kuruluşlar, uzay teleskoplarının türünün belirlenmesi, geliştirilmesi, finansmanı, uzaya gönderilmesi ve elde edilen verilerin analizinde omuz omuza vermektedirler.

Bu olumlu enerjiyle geliştirilen uzay teleskopları, evreni daha iyi anlamamızın yanı sıra, kataloglama ve haritalandırma gibi çalışmalarla, gelecek nesillere Güneş Sistemi'nin ötesindeki fırsat ve tehditleri de aktarmaktadır. Bu değerli çabalara Dünya'da herkes, her kurum, bir şekilde (finansman, tasarım, Ar-Ge, veri toplama, veri analizi vb.) katkı verebilir ve vermelidir de.

KAYNAKÇA

- [1] Dreier, Casey; (2021), "How much does the James Webb Space Telescope cost?", *Planetary Society*, (25 Ekim 2021), <https://www.planetary.org/articles/cost-of-the-jwst#:~:text=Most%20scientists%20believe%20this%20investment,science%20project%20of%20all%20time.> (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [2] Carter, Jamie; (2021), "What is astronomy? Definition & History", *Space*, (29 Ekim 2021), <https://www.space.com/16014-astronomy.html>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [3] *Library of Congress*, "Galileo and the Telescope", <https://www.loc.gov/collections/finding-our-place-in-the-cosmos-with-carl-sagan/articles-and-essays/modeling-the-cosmos/galileo-and-the-telescope#:~:text=While%20there%20is%20evidence%20that,Jacob%20Metius%20independently%20created%20telescopes.> (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [4] *Swinburne Astronomy Online*, "Astronomy", <https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/a/Astronomy>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [5] *Tucson Amateur Astronomy Association*, "WHAT IS ASTRONOMY?", <https://tucsonastronomy.org/astronomy/what-is-astronomy/>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [6] *exploredspace*, "What is Deep Space?", <https://exploredspace.com/deep-space-mission-3/what-is-deep-space/>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [7] Barmby, P.; (2019), "Astronomical observations: a guide for allied researchers", *Arxiv*, (13 Mart 2019), <https://arxiv.org/pdf/1812.07963>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [8] *Swinburne Astronomy Online*, "Cosmological Redshift", <https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/c/cosmological+redshift#:~:text=In%20cosmological%20redshift%2C%20the%20wavelength,motion%20of%20an%20individual%20body.> (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [9] *ESA Hubble*, "Optical Astronomy", <https://esahubble.org/wordbank/optical-astronomy/>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [10] *Webb Space Telescope*, "Beyond Visible Light", <https://webbtelescope.org/webb-science/the-observatory/infrared-astronomy>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [11] *National Radio Astronomy Observatory*, "Karl Guthe Jansky", <https://public.nrao.edu/gallery/karl-guthe-jansky/>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [12] *Go Astronomy*, "RADIO OBSERVATORIES", <https://www.go-astronomy.com/radio-telescopes.php>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [13] *EO Portal*, "FAST (Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope)", <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/content/-/article/fa-2>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [14] *Uzay Bimer*, "Tanıtım", <https://uzaybimer.erciyes.edu.tr/#:~:text=Astronomi%20ve%20Uzay%20Bilimleri%20G%C3%B6zlemevi,teleskoplar%C4%B1%20ile%20en%20yeni%20g%C3%B6zlemevidir.> (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [15] *Uzay Bimer*, (2020), "Türkiye'nin İlk Radyo Astronomi Çalışmaları Kayseri'de Başlıyor.", (6 Ocak 2020), <https://uzaybimer.erciyes.edu.tr/?p=156>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [16] Bandyopadhyay, Saptarshi; (2020), "Lunar Crater Radio Telescope (LCRT) on the Far-Side of the Moon", *NASA*, (7 Nisan 2020), https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/niac/2020_Phase_I_Phase_II/lunar_crater_radio_telescope/. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [17] Degrange, Bernard; Fontaine, Gerard; (2015), "Introduction to high-energy gamma-ray astronomy", *Research Gate*, (Eylül 2015), https://www.researchgate.net/profile/Gerard-Fontaine/publication/282895420_Introduction_to_high-energy_gamma-ray_astronomy/links/614846a3519a1a381f701d0a/Introduction-to-high-energy-gamma-ray-astronomy.pdf. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [18] *Cosmos ESA*, "SCIENTIFIC OBJECTIVES & ACHIEVEMENTS", <https://www.cosmos.esa.int/web/integral/science>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [19] Karle, Albrecht; (2006), "Gamma astronomy with ground based air Cherenkov telescopes and other ground based detectors", *IceCube Neutrino Observatory*, (Mart 2006), https://icecube.wisc.edu/~tmontaruli/801/gammaastronomy_karle.pdf. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)

- [20] *Hawaii University, Department of Physics*, “An Introduction to Neutrino Astronomy”, <https://www.phys.hawaii.edu/~jgl/nuastron.html>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [21] *IceCube Neutrino Observatory*, <https://icecube.wisc.edu/>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [22] *BBC*, (2016), “Yerçekimi dalgaları: 6 soruda evrenle ilişkimizi değiştirecek keşif”, (11 Şubat 2016), https://www.bbc.com/turkce/haberler/2016/02/160211_yercekimi_dalgaları_kesfedildi#:~:text=1%2D%20Yer%20C3%A7ekimi%20dalgalar%C4%B1%20nedir%3F,%2C%20uzay%2Dzaman%C4%B1n%20t%C3%BCm%C3%BCne%20yay%C4%B1%C4%B1yor. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [23] Davis, Nichola; (2021), “Light pollution from satellites ‘poses threat’ to astronomy”, *Guardian*, (30 Mart 2021), <https://www.theguardian.com/science/2021/mar/30/light-pollution-satellites-astronomy-mega-constellations>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [24] *Go Astronomy*, “Observatories”, <https://www.go-astronomy.com/observatories-space.php>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [25] *STM ThinkTech*, (2020), “YENİ UZAY ÇAĞI: 21’İNCİ YÜZYILDA KOZMİK REKABET I - Uzay Teknolojilerinin Geleceği”, (4 Haziran 2020), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/yeni-uzay-cagi-21inci-yuzyilda-kozmik-rekabet-i-uzay-teknolojilerinin-gelecegi>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [26] Chou, Felicia; (2018), “NASA Retires Kepler Space Telescope, Passes Planet-Hunting Torch”, *NASA*, (30 Ekim 2018), <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-retires-kepler-space-telescope-passes-planet-hunting-torch>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [27] *ESA Hubble*, “Fact Sheet”, https://esahubble.org/about/general/fact_sheet/
- [28] Taylor Tillman, Nola; (2022), “Hubble Space Telescope: Pictures, facts & history”, *Space*, (31 Ocak 2022), <https://www.space.com/15892-hubble-space-telescope.html#:~:text=Hubble%20finally%20launched%20aboard%20the,well%20%E2%80%94%20both%20expected%20and%20unexpected>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [29] Tarantola, A.; (2021), “NASA’s \$10 billion James Webb Space Telescope will study the universe’s origins”, *Engadget*, (24 Aralık 2021), <https://www.engadget.com/nasa-10-billion-james-webb-space-telescope-will-study-universe-origins-180049573.html>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [30] *ESA*, “Gaia”, <https://sci.esa.int/web/gaia/>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [31] *NASA*, (2019), “NASA’s TESS Presents Panorama of Southern Sky”, (5 Kasım 2019), <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2019/nasa-s-tess-presents-panorama-of-southern-sky>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [32] Cain, Fraser; (2008), “Radiation on Saturn”, *Universe Today*, (3 Temmuz 2008), <https://www.universetoday.com/15381/radiation-on-saturn/#:~:text=Just%20like%20Jupiter%2C%20Saturn%20radiates,the%20beauty%20of%20planet%20Saturn>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [33] *NASA*, (2017), “Best Map Ever of the Universe”, (7 Ağustos 2017), https://www.nasa.gov/mission_pages/planck/multimedia/pia16873.html. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [34] Neugebauer, G.; (1984), “The Infrared Astronomical Satellite (IRAS) mission”, *Research Gate*, (Nisan 1984), https://www.researchgate.net/publication/28643555_The_Infrared_Astronomical_Satellite_IRAS_mission. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [35] *COSMOS ESA*, “THE INFRARED SPACE OBSERVATORY (ISO)”, <https://www.cosmos.esa.int/web/iso>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [36] *Center for Astrophysics Harvard & Smithsonian*, “Spitzer Space Telescope”, <https://pweb.cfa.harvard.edu/facilities-technology/telescopes-instruments/spitzer-space-telescope#:~:text=As%20an%20infrared%20observatory%2C%20Spitzer,for%20star%20and%20planet%20formation>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [37] Schmidt, Megan; (2020), “What Spitzer discovered in its 16 years scanning the sky in the infrared”, *Astronomy.com*, (28 Ocak 2020), <https://astronomy.com/news/2020/01/what-spitzer-discovered-in-its-16-years-scanning-the-sky-in-the-infrared>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [38] *James Webb Space Telescope Goddard Space Flight Center*, “Web Key Facts”, <https://webb.nasa.gov/content/about/faqs/facts.html>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [39] Fisher, Alise; (2022), “Webb’s Journey to L2 Is Nearly Complete”, *NASA*, (21 Ocak 2022), <https://blogs.nasa.gov/webb/2022/01/21/webbs-journey-to-l2-is-nearly-complete/>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [40] *Physics World*, (2022), “A new cosmic dawn: peering across the universe with NASA’s James Webb Space Telescope”, (7 Ocak 2022), <https://physicsworld.com/a/a-new-cosmic-dawn-peering-across-universe-with-nasas-james-webb-space-telescope/>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [41] *Koberlein, Brian*; (2015), “A Deeper Sky”, (13 Mayıs 2015), <https://briankoberlein.com/blog/deeper-sky>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [42] *Hubblesite*, “HUBBLE SPACE TELESCOPE STATS”, <https://hubblesite.org/mission-and-telescope/hubble-stats>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [43] Pappas, Monica; (2022), “NASA’s James Webb Space Telescope is beginning to come to life in deep space”, *Teslarati*, (13 Şubat 2022), <https://www.teslarati.com/nasa-webb-space-telescope-commissioning-progress/>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [44] Resnick, Brian; (2022), “The largest space telescope in history is about to blow our minds”, *VOX*, (4 Ocak 2022), <https://www.vox.com/science-and-health/22664709/james-webb-space-telescope-launch-date-december-science-hubble>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [45] Grush, Loren; (2021), “NASA’S JAMES WEBB SPACE TELESCOPE IS ABOUT TO TRANSFORM INTO ITS FINAL FORM”, *The Verge*, (28 Aralık 2021), <https://www.theverge.com/2021/12/28/22816310/nasa-james-webb-space-telescope-jwst-deployment-sequence>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [46] *Wikipedia*, “List of space telescopes”, https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_space_telescopes#Visible_light. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [47] *Hubblesite*, “HUBBLE’S SCIENCE INSTRUMENTS”, <https://hubblesite.org/mission-and-telescope/instruments>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [48] *Department of Space, Indian Space Research Organisation*, “Ultra Violet Imaging Telescope (UVIT)”, <https://www.isro.gov.in/astrosat/ultra-violet-imaging-telescope-uvit>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [49] Nowakowski, Tomasz; (2016), “China’s lunar-based telescope observes a binary star system”, *Phys.org* (8 Ağustos 2016), <https://phys.org/news/2016-08-china-lunar-based-telescope-binary-star.html>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [50] Qi, Zhaoxiang; (2015), “Astrometric Support for the Lunar-based Ultraviolet Telescope”, *JSTOR*, (Kasım 2015), https://www.jstor.org/stable/10.1086/683850?seq=1#metadata_info_tab_contents. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [51] *NASA*, “IRIS Spacecraft & Instruments”, https://www.nasa.gov/mission_pages/iris/spacecraft/index.html. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [52] *NASA*, “IRIS – Science”, https://www.nasa.gov/mission_pages/iris/science/index.html. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [53] *Institute of Space And Astronautical Science*, “Hisaki Spectroscopic Planet Observatory Satellite”, <https://www.isas.jaxa.jp/en/missions/spacecraft/current/hisaki.html>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [54] *Nikon*, (2013), “Spectroscopic Planet Observatory for Recognition of Interaction of Atmosphere (SPRINT-A, nicknamed HISAKI) employs the primary mirror made by Nikon”, (17 Eylül 2013), ht-

- tps://www.nikon.com/news/2013/0917_sprint-a_01.htm. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [55] BEATTY, J. KELLY; (2013), "HISAKI: A NEW ORBITING PLANET-WATCHER", *Skyandtelescope*, (15 Eylül 2013), <https://skyandtelescope.org/astronomy-news/hisaki-a-new-orbiting-planet-watcher/#:~:text=Hisaki%20is%20now%20in%20an.planets%20at%20far%20ultraviolet%20wavelengths.> (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [56] *Institute of Space And Astronautical Science*, "WSO-UV: World Space Observatory UV", <https://www.isas.jaxa.jp/en/missions/spacecraft/future/wso-uv.html>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [57] *Yakın Doğu Üniversitesi*, "X-İŞİNLARI VE KULLANIM ALANLARI", <https://neu.edu.tr/wp-content/uploads/2015/11/BMT-211-ders-notu-X-Isinlari.pdf>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [58] NASA, "Chandra Overview", https://www.nasa.gov/mission_pages/chandra/astronomy/index.html. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [59] *Chandra X Ray Observatory*, "About Chandra", <https://chandra.harvard.edu/about/>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [60] Rincon, Paul; (2021), "Signs of first planet found outside our galaxy", *BBC*, (25 Ekim 2021), <https://www.bbc.com/news/science-environment-59044650>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [61] ESA, "XMM-Newton", <https://sci.esa.int/web/xmm-newton/>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [62] *NASA Goddard Space Flight Center*, "The Neil Gehrels Swift Observatory", <https://swift.gsfc.nasa.gov/>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [63] *NuSTAR*, "About", <https://www.nustar.caltech.edu/page/about>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [64] *NuSTAR*, "Science", <https://www.nustar.caltech.edu/page/science>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [65] *NASA Goddard Space Flight Center*, "The Neutron Star Interior Composition Explorer Mission", <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/nicer/>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [66] Sarıgül, Tuba; (2018), "Uzay Araçları İçin Navigasyon Sistemi", *TÜBİTAK Bilim Genç*, (7 Mart 2018), <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/uzay-araclari-icin-navigasyon-sistemi>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [67] *Hard X-ray Modulation Telescope*, "Results", <http://hxmten.ihep.ac.cn/>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [68] Zhang, ShuangNan; (2019), "Overview to the Hard X-ray Modulation Telescope (Insight-HXMT) Satellite", *Arxiv*, (21 Ekim 2019), <https://arxiv.org/abs/1910.09613>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [69] Zak, Anatoly; "Spektr-RG to revive Russian space-based astronomy", *Russianspaceweb.com*, http://www.russianspaceweb.com/spektr_rg.html. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [70] Clark, Stephen; (2019), "Russia to launch science mission probing dark energy", *Spaceflight Now*, (20 Haziran 2019), <https://spaceflightnow.com/2019/06/20/russia-to-launch-mission-probing-dark-energy/>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [71] Ali, Shirin; (2021), "A \$188 million x-ray telescope was launched into space to explore black holes", *The Hill*, (9 Aralık 2021), <https://thehill.com/changing-america/enrichment/education/585176-a-188-million-x-ray-was-launched-into-space-to-explore/>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [72] *Rasyonalist*, "Kozmoloji – 16: Aktif Galaksi Çekirdeği (AGN)", (11 Şubat 2021), <https://rasyonalist.org/yazi/kozmozoloji-aktif-galaksi-cekirdegi-agn/>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [73] *Wikipedia*, "IXPE", <https://en.wikipedia.org/wiki/IXPE>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [74] ESA, "integral fact sheet", <https://sci.esa.int/web/integral/-/47360-fact-sheet>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [75] ESA, (2011), "integral", (3 Aralık 2011), https://www.esa.int/esaSC/SEM9P5374OD_0_spk.html#:~:text=The%20mission%20cost%20to%20ESA,in%20exchange%20for%20observing%20time. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [76] ESA, "integral summary", <https://sci.esa.int/web/integral/-/31149-summary>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [77] *NASA Goddard Space Flight Center*, "Gamma-Ray Bursts", <https://imagine.gsfc.nasa.gov/observatories/learning/swift/mission/grbs.html>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [78] *NASA Goddard Space Flight Center*, "Swift Observatory", <https://imagine.gsfc.nasa.gov/observatories/learning/swift/mission/observatory.html>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [79] *NASA Goddard Space Flight Center*, "Large Area Telescope (LAT)", <https://fermi.gsfc.nasa.gov/science/instruments/lat.html>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [80] *International Lunar Observatory Association*, <https://ilooa.org/>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [81] Dutt, Anonna; (2021), "India's first solar mission likely to launch next year: ISRO", *Hindustan Times*, (17 Eylül 2021), <https://www.hindustantimes.com/india-news/indias-first-solar-mission-likely-to-launch-next-year-isro-101631860455183.html>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [82] *XRISM Project*, "Greetings from the Project Team", <https://xrism.isas.jaxa.jp/en/about/>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [83] *XRISM Project*, "Mission Specification", https://xrism.isas.jaxa.jp/en/technology/detail_01/. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [84] NASA, "Dark Energy, Dark Matter", <https://science.nasa.gov/astrophysics/focus-areas/what-is-dark-energy>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [85] *Euclid*, (2017), "Euclid and the origin of the accelerating universe", (27 Aralık 2017), <https://www.euclid-ec.org/>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [86] *The University of Sydney*, (2021), "Worlds next door: looking for habitable planets around Alpha Centauri", (17 Kasım 2021), <https://www.sydney.edu.au/news-opinion/news/2021/11/17/worlds-next-door-habitable-planets-alpha-centauri-exoplanets-breakthrough.html>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [87] *NASA Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology*, "SPHEREx", <https://www.jpl.nasa.gov/missions/spherex>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [88] ESA, "Plato-Payload", <https://sci.esa.int/web/plato/-/61111-payload>
- [89] ESA, "Plato - REVEALING HABITABLE WORLDS AROUND SUN-LIKE STARS", <https://www.cosmos.esa.int/web/plato>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [90] Amos, Jonathan; (2014), "European Space Agency picks Plato planet-hunting mission", *BBC*, (20 Şubat 2014), [https://www.bbc.co.uk/news/science-environment-26267918#:~:text=It%20is%20expected%20to%20cost,a%20billion%20\(%C2%A3800m.](https://www.bbc.co.uk/news/science-environment-26267918#:~:text=It%20is%20expected%20to%20cost,a%20billion%20(%C2%A3800m.) (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [91] *NASA Nancy Grace Roman Space Telescope Goddard Space Flight Center*, "Roman Space Telescope Mission Overview", <https://roman.gsfc.nasa.gov/about.html>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [92] *Planetary*, "Roman Space Telescope, investigating dark energy and dark matter", <https://www.planetary.org/space-missions/roman-space-telescope>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [93] *NASA Nancy Grace Roman Space Telescope Goddard Space Flight Center*, "Observatory", <https://roman.gsfc.nasa.gov/observatory.html>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [94] Amos, Jonathan; (2014), "Athena: Europe plans huge X-ray space telescope", *BBC*, (27 Haziran 2014), [https://www.bbc.co.uk/news/science-environment-28053831#:~:text=The%20European%20Space%20Agency's%20\(Esa,at%20over%20one%20billion%20euros.](https://www.bbc.co.uk/news/science-environment-28053831#:~:text=The%20European%20Space%20Agency's%20(Esa,at%20over%20one%20billion%20euros.) (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)
- [95] *Britannica*, "Laser Interferometer Space Antenna", <https://www.britannica.com/topic/Laser-Interferometer-Space-Antenna>. (Erişim Tarihi: 18 Nisan 2022)
- [96] NASA, (2019), "The Large UV/Optical/Infrared Surveyor (LUVOIR)", (7 Mart 2019), <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20190001458/downloads/20190001458.pdf>. (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2022)



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

