

Küresel Yağış Ölçüm (GPM) Programı ve Uygulamaları

Onur DURMUŞ

Ankara Havacılık MYO
Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
odurmus@thk.edu.tr

Simla İŞLER

Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi
Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
sisler@thk.edu.tr

ÖZET

Küresel Yağış Ölçüm (GPM) programı NASA ve Japonya Uzay Araştırma Ajansı (JAXA) tarafından ortaklaşa geliştirilmiş yeni nesil bir uydu merkezli yağış ölçüm sistemidir. Bu programın temel amacı yüksek sıklık, doğruluk ve hassasiyette yağış ölçümleri ile küresel ölçekte yağış ölçüm sistemi geliştirilmesidir. GPM programı birbirleri ile senkronize bir uydu ağı ve yer sisteminden oluşur. Bu programın merkezinde ise bir uydu üzerinde ilk defa kullanılan ve uzaydan yağışları ölçmek için gelişmiş bir Ku/Ka bant yağış radarı ve yüksek çözünürlüklü mikrodalga yağış radyometre sistemi taşıyan bir "Core" uydu bulunur. Tropik Yağış Ölçüm Programı (TRMM)'nin deneyimlerinden yola çıkılarak geliştirilmiş olan GPM programı Dünya üzerindeki herhangi bir koordinatta yaklaşık 3 saatlik bir örnekleme aralığına sahiptir. Bilimsel ve toplumsal alanda birçok alanda kullanılan GPM programı verileri, ülkemizde oldukça sınırlı bir kullanım alanına sahiptir. Bu konuda yapılacak olan bilimsel çalışmalar, bu programın gelişimine katkı sağlamasının yanında, toplumsal uygulama alanlarının artışında önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada Küresel Yağış Ölçüm (GPM) programı tanıtılarak ülkemizde kullanımının yaygınlaştırılması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler — Küresel Yağış Ölçüm Programı (GPM); GPM Core; Tropik Yağış Ölçüm Programı (TRMM); Uydu merkezli Yağış Ölçüm Sistemi.

1. GİRİŞ

İnsan yaşamının temelini ve devamlılığının temel yapı taşı olan su, atmosferde farklı hal ve yapılarla bulunmaktadır. Doğada katı sıvı ve gaz halinde bulunan su; okyanuslar, atmosfer ve yeryüzü arasında sürekli bir sirkülasyon halindedir. Bu sirkülasyon hidrolojik döngü olarak adlandırılır [1]. Hidrolojik döngünün bir sonucu olarak atmosferdeki suyun dağılımı ve zamanla değişimi küresel enerji dengesini, gözlemlenen hava durumunu, iklimi ve diğer çevresel sistemleri doğrudan etkilemektedir. Yağmur, kar, karla karışık yağmur ya da dolu formunda yeryüzüne ulaşan yağış ise bu döngünün temel girdisini oluşturmaktadır.

Yağış; hidrolojinin temel odak noktasını oluştururken iklim araştırmaları, sel ve taşkın tahmini ve analizi, kuralıkla mücadele, hava ve iklim modellemeleri, su kaynakları yönetimi, tarımsal araştırma ve çalışmalar, şiddetli hava olaylarının tahmini ve analizi gibi konularda sıkça kullanılan önemli bir atmosferik parametredir. Bu çalışmalarda kullanılan yağış verilerinin güvenilirliği yapılan çalışmanın sonuçlarını doğrudan etkilediği için, yağış verilerinin doğruluğu ve çalışma alanını temsiliyeti büyük önem taşımaktadır. Ayrıca yağış verilerinin analizinde sadece yağışın miktarı değil, yağış tipi ve yerinin doğru belirlenmesi de büyük öneme sahiptir. Bu nedenle yağışın ne zaman, nerede ve hangi formda yeryüzüne ulaştığını bilmek bilimsel ve toplumsal çalışmalar için büyük önem taşımaktadır [2].

Meteorolojik ölçüm istasyonları ve meteoroloji radarları gibi yeryüzü tabanlı yağış ölçüm sistemleri yeryüzüne düşen yağış miktarını belirlemede oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Bu nedenle meteorolojik ölçüm istasyonlarından elde edilen ölçümler, radar ve uydu bazlı uzaktan algılama ürünlerinin doğrulanmasında sıkça kullanılmaktadır. Ancak meteorolojik ölçüm istasyonları sadece noktasal ölçümler yapabilmekte, kurulum - işletim maliyetleri sebebi ile yeterli sayıda kurulamamakta ve bakım gereklilikleri nedeni ile kentsel alanlara daha yakın yerlere konumlandırılmaktadır. Özellikle ölçüm istasyonu bulunmayan kırsal alanlar için bu noktasal ölçümler bazı ampirik formüller aracılığı ile geniş ölçekteki alansal yağış miktarları hesaplanmaktadır. Yağışın miktarının zamansal ve mekânsal olarak değişiklik göstermesinden dolayı istasyonlardan elde edilen geniş ölçekli yağış verileri temsil hataları içermektedir [3].

Meteorolojik ölçüm istasyonlarına göre alansal yağış ölçümlerinde daha başarılı sonuçlar verebilen meteoroloji radarları ise genellikle topoğrafik engeller, tarama menzil ve yükseklik limitlerinden dolayı kısıtlamalara maruz kalmakta ve zaman zaman yeryüzündeki yağış miktarının ölçümünde hatalar yapabilmektedir. Bunun yanında yağmur, kar ya da diğer formlardaki yağış; özellikle kara parçaları ve okyanuslar arasında büyük değişkenlik gösterirken büyük okyanus yüzeyleri üzerinde bu ölçüm sistemleri kullanılamamaktadır [4].

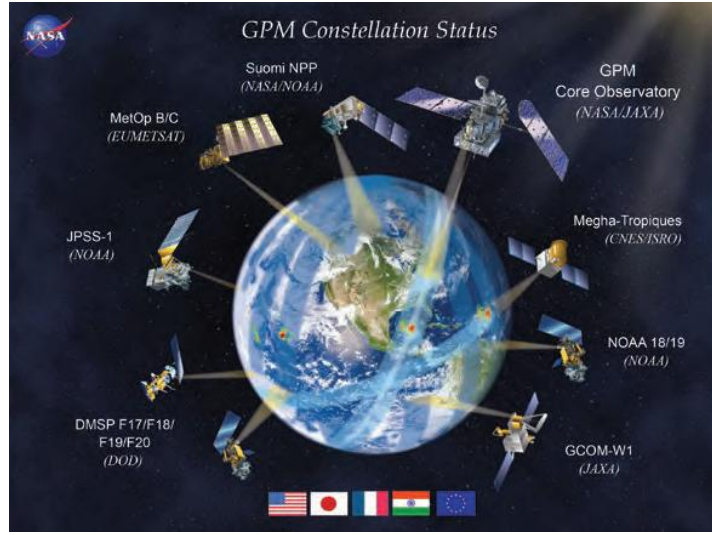
Uzaydan yapılan uydu gözlemlerin, oldukça geniş alanları kapsamaları sayesinde küresel çapta yağış ölçümleri ve yer ölçüm sistemlerinin kurulmasının mümkün olmadığı yerlerde yağışın miktarı, yeri ve tipi konusunda önemli öngörüler sağlayabilmektedir. Ancak bu uydu ürünlerinin operasyonel olarak kullanılmadan önce kalibre edilmesi ve yer ölçümleri ile doğrulanması gerekmektedir. Çünkü geleneksel uydu tabanlı yağış ölçümleri genellikle kızılötesi (IR) ve mikrodalga bandında algılama yaparak çeşitli birleştirme teknikleri ile elde edilen yağış ölçümleri yapmaktadır. Bu yağış ölçümleri örnekleme aralıkları bakımından oldukça yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle lokal ve küresel bazda birçok yağış ölçüm hatası görülebilmektedir. [5-6]

Son yıllarda teknolojinin hızlı gelişimi özellikle yağış algılama konusunda uydularda kullanılan uzaktan algılama aletlerinin hassasiyetini, örnekleme sıklığını, zamansal ve mekânsal çözünürlüklerini arttırmış; bu durum yağışın yağmur, kar ve diğer yağış türlerini ayırt edilebilmesine ve fırtınaların yapısını, yoğunluğunu ve dinamiklerinin gözlemlenebilmesine izin verecek kadar ayrıntılı hale gelmiştir. Bu yeni nesil uzaktan algılama ürünlerinin kullanılmaya başlandığı uydulara örnek olarak 1997 yılında NASA ve JAXA tarafından uzaya gönderilen ve 2015 yılına kadar görev yapan Tropikal Yağış Ölçüm Misyonu (TRMM) verilebilir. TRMM hem NASA tarafından geliştirilen pasif bir mikrodalga çok frekanslı görüntüleme radyometresine hem de JAXA tarafından geliştirilen üç boyutlu yağış yapısı görüntüleyebilen bir Ku-bant radara sahipti. Bu sistem ile tropikal ve subtropikal bölgelerde (35°Kuzey - 35°Güney enlemleri arasında) elde edilen detaylı yağış verileri günümüzde hala birçok bilimsel araştırmada kullanılmaya devam etmektedir [7].

2. KÜRESEL YAĞIŞ ÖLÇÜM PROGRAMI (GPM)

Küresel Yağış Ölçümü (GPM) programı, bilimsel araştırmalar ve toplumsal uygulamalar için uzaydan yapılan yağış ölçümlerini geliştirmek için Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) ve

Japonya Havacılık Araştırma Kurumu (JAXA) tarafından ortaklaşa yürütülen uluslararası bir küresel uydu programıdır. Program, merkezinde GPM Core uydusu olmak üzere toplam on uydudan oluşan bir uydu ağıdır. Her bir ortak uydunun kendine has bir amacı olsa da hepsi yağmur ve kar yağışından yayılan enerjiyi ölçen, bir radyometre taşımaktadır. Programdaki diğer uydulardan farklı olarak gelişmiş bir radar ve radyometre sistemini birlikte taşıyan GPM Core uydusu programda yer alan tüm uydulardan gelen ölçümlerin doğruluğunu ve tutarlılığını geliştirmek için kullanılır. Ayrıca tüm ölçümleri tek tip küresel yağış veri setinde birleştirerek gelişmiş bir veri tabanı sağlamaktadır. GPM programında yer alan uydular Şekil 1’de verilmiştir.



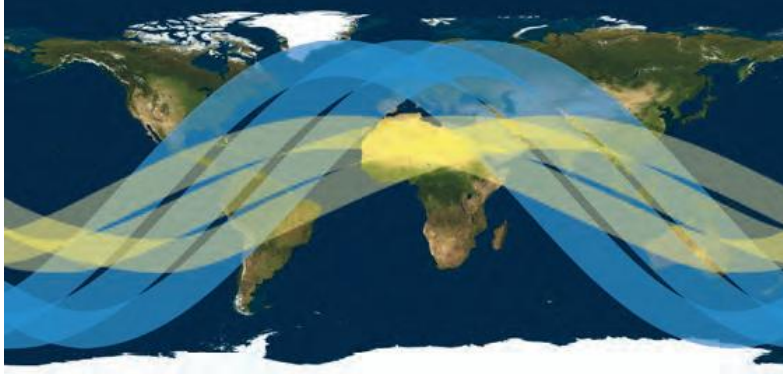
Şekil 1: GPM Programında Yer Alan Uydular (NASA,2015)

GPM programı ile bölgesel yağış miktarı ve değişimi, küresel yağış miktarı, bulut ve fırtına sistemlerinin üç boyutlu yapısına dair detaylı bilgiler, bulut içindeki sıvı ve katı haldeki suyun mikrofiziği gibi konularda doğrudan gözlemler yapılabilir. GPM programı uydularından gelen küresel gözlemler, TRMM gibi önceki yağış programları ile başlayan veri kayıtlarını genişletmekte ve dünyadaki yağış tahminlerini iyileştirmektedir. Program bilim insanlarının yerel, bölgesel ve küresel yağış düzenlerinin zaman içinde nasıl değiştiğini anlamalarına yardımcı olmaktadır [8].

3. GPM CORE GÖZLEMLERİ

TRMM'in başarısından yola çıkılarak geliştirilen Küresel yağış ölçüm misyonu (GPM) Core uydusu hem kanal sayısı artırılmış dual frekans yağış radarına (DPR) ve hem de hafif şiddetteki yağmur ya da karı bile algılayabilen gelişmiş bir mikrodalga görüntüleyiciye (GMI) sahiptir.

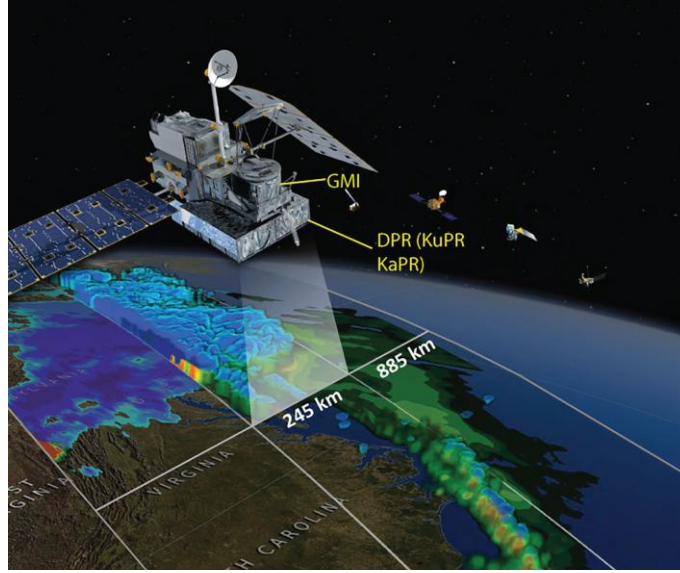
NASA-JAXA ortaklığında tasarlanan GPM Core, Şubat 2014 itibari ile güneşe eşzamanlı olmayan ve 65° Kuzey ve 65° Güney enlemleri arasındaki yörüngesine yerleştirilmiştir. Bu yörünge GPM Core'un tropik bölgelerden Kuzey Kutbu ve Antarktika çevrelerine kadar günün her saatinde yağışları örnekleyebilmesini ve tropik bölgelerden orta enlemlere geçerken kasırga ve tayfunları gözlemleyebilmesini sağlamaktadır. Bu ölçümler programında yer alan diğer uydulardan alınan gözlemlerle birleştirildiğinde yaklaşık üç saatte bir küresel yağış gözlemleri sağlamaktadır [4]. TRMM ve GPM Core uydusunun yörüngesi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: TRMM Uydusu Yörüngesi (Sarı), GPM Core Uydusu Yörüngesi (Mavi) (NASA,2014)

NASA'nın Goddard Uzay Uçuş Merkezi'nde geliştirilen ve test edilen GPM Core uydusu, Mikrodalga Görüntüleyici (GMI) ve dual frekans yağış radarı (DPR) için gerekli güç kaynağını, yörünge ve yükseklik kontrolünü, iletişim ve veri depolamasını sağlamaktadır.

GPM Core uydusu, Dünya yüzeyinin 407 kilometre (253 mil) üzerinde dolaşırken, GMI ve DPR cihazları, yer yüzeyinin koordine edilmiş alanlarını sürekli olarak taramaktadır. GMI, 885 kilometrelik bir alanı tararken, DPR'nin Ku ve Ka band frekans radarları GMI eşiğinin ortasındaki üst üste binen taramaları almaktadır. Spesifik olarak, Ka-bandı radarı, 120 kilometrelik, Ku-bandı radarı ise daha geniş tarama alanı içinde 245 kilometrelik bir bölgede tarama yapmaktadır. Örtüşen parçaların içindeki ölçümler, verilerin yağış alımlarını ve özellikle de radyometreye dayalı ölçümleri iyileştirmek için önem taşımaktadır. Şekil 3'de örnek bir yağış üzerinde GMI ve DPR'in yüzey tarama alanları gösterilmiştir.



Şekil 3: 17 Aralık 2016'da Carolina kıyılarındaki kar ve yağmur olayının GPM Core gözlemleri. Kar yağışı mavi ve mor tonlarında, yağmur ise yeşil ve kırmızı tonlarda verilmiştir. GMI'nin tarama genişliği 885 km ve DPR Ku bant tarama genişliği ise 245 km'dir, DPR Ka ise 125 km'dir (gösterilmemiştir). (Hou ve diğ., 2014)

GPM Core uydusu üzerinde bulunan GPM Mikrodalga Görüntüleyici (GMI) ve dual frekanslı Yağış Radarı (DPR) sayesinde yüksek doğruluk ve sıklıkta bulut ve yağış gözlemleri yapabilmektedir. GPM Core uydusu üzerinde bulunan mikrodalga görüntüleyici (GMI) yağmuru ya da karı hafif şiddetten – aşırı şiddete kadar bir aralıkta yağışın miktarını, boyutunu, yoğunluğunu ve cinsini tespit edebilmektedir. Dual frekanslı yağış radarı (DPR) ise sıvı ya da katı formdaki yağışın yoğunluğunu ve profilini üç boyutlu olarak belirleyebilmektedir.

GMI ve DPR'in beraber kullanılmasının en önemli avantajı yüksek kalitede ve doğrulukta yağış verisinin elde edilebilmesidir. GMI ve DPR' dan gelen gözlem verileri ile özellikle tropikal fırtınaların dinamik yapıları, yaşam döngüleri boyunca incelenebilmekte ve zaman içinde nasıl değiştikleri belirlenebilmektedir. Bu durum, tropiklerden orta enlemlere ilerleyen fırtınaların yoğunluğunda meydana gelen değişikliklerin sebeplerinin anlaşılmasında yeni bir bakış açısı sağlamıştır [9].

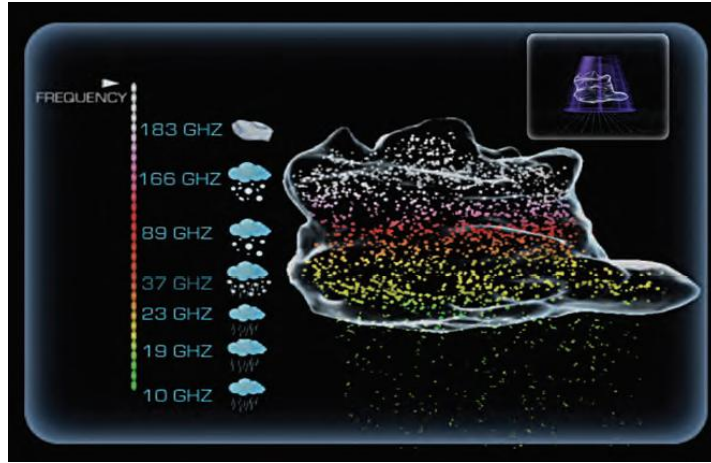
Ayrıca GPM Core uydusu elde ettiği GMI ve DPR verileri ile GPM programında bulunan diğer uyduların mikrodalga gözlemlerinin tek tip küresel yağış veri setleri oluşturmak için anlamlı bir şekilde karşılaştırılıp birleştirilebileceği bir ölçümler veri tabanı sağlamaktadır. Yani GPM Core uydusundan elde edilen ölçümler GPM programındaki diğer uyduların çapraz kalibrasyonu için bir referans standardı olarak hizmet etmektedir. Örneğin, aynı koordinatta üst üste binen iki

ölçümleri yapıldığında, GPM programındaki diğer uydulardan gelen yağış verilerini tutarlı bir çerçevede kalibre etmek için GPM Core uydusu ölçümleri kullanılmaktadır [9].

3.1. GPM Mikrodalga Görüntüleyici (GMI)

NASA'nın Goddard Uzay Uçuş Merkezi ile sözleşme kapsamında, Boulder, Colorado'da Ball Aerospace & Technology Corp. tarafından üretilen GPM Mikrodalga Görüntüleyici (GMI), hafif şiddette yağmur ve kar dahil tüm bulut katmanları içindeki toplam yağışları algılamak için tasarlanmış çok kanallı bir mikrodalga radyometresidir.

Spesifik olarak, GMI, Dünya yüzeyinden ve atmosferinden yayılan mikrodalga radyasyon yoğunluğunu ölçmek için 10 GHz ile 183 GHz arasında 13 kanal kullanır. Düşük frekans kanalları (10 - 89 GHz, TRMM uydusundaki mikrodalga görüntüleyicinininkilere benzer şekilde) şiddetli yağışları algılanırken, orta ile hafif yağış miktarını ölçecek dört ek yüksek frekans kanalı (166 ila 183 GHz arasında) bulunmaktadır [8]. GPM Mikrodalga Görüntüleyici (GMI) düşük ve yüksek frekans aralığı ile kar ve buz kristalleri dâhil olmak üzere tüm bulut katmanlarındaki yağışı algılayabilmektedir (Şekil 4).



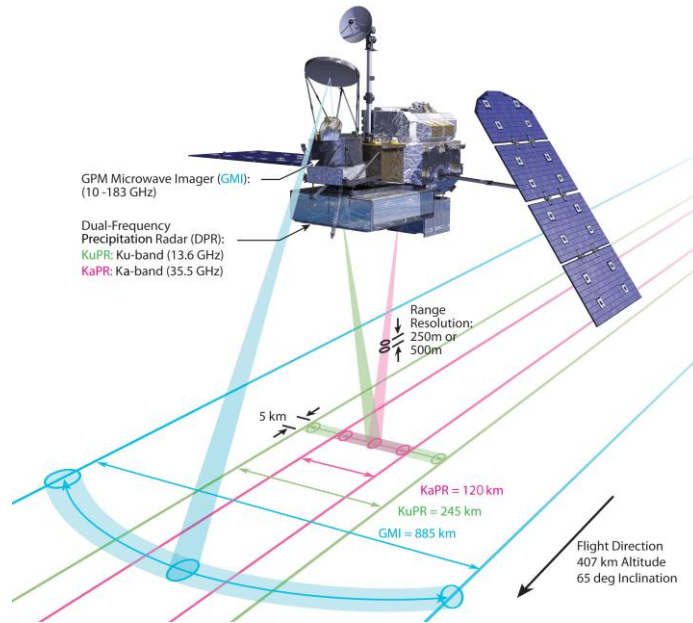
Şekil 4: GPM Mikrodalga Görüntüleyici (GMI) Düşük ve Yüksek Frekans Aralığı ile Bulut İçindeki Yağışın Algılanması (NASA,2014)

3.2. GPM Dual Frekans Yağış Radarı (DPR)

II. Dünya savaşı sırasında ortaya çıkan radarlar, günümüzde kara yüzeyleri üzerindeki yağışın ölçümü için en sık kullanılan uzaktan algılama ürünleridir. Ancak radarlar 1997 yılında TRMM uydusunun fırlatılmasına kadar daha önce radarlar hiç uydu sistemleri üzerinde kullanılmamıştı.

TRMM'de bulunan yağış radarı (PR) karada ve okyanuslarda üç boyutlu tropik ve subtropikal yağış haritaları sağlayarak özellikle fırtınaların gözlemlenmesinde detaylı bilgi ve yeni bir bakış açısı sağlamıştı.

NEC Toshiba Space Systems, Ltd. JAXA ve Japonya'daki Ulusal Bilgi ve İletişim Teknolojileri Enstitüsü tarafından tasarlanan yeni nesil dual frekans yağış radarının (DPR) GPM core uydusunda kullanılmasıyla birlikte yağışlar konusunda detaylı üç boyutlu gözlemler yapılabilmektedir. GPM dual frekans yağış radarı (DPR)'ı TRMM'de kullanılan yağış radarından (PR) ayıran en önemli özellik ikinci bir radar frekansı kullanmasıdır. DPR'nin 13.6 GHz'de (PR'ye benzer şekilde) orta-şiddetli yağmuru ölçecek olan Ku-band radarına ek olarak, Ka-band radarı donmuş yağışları ve hafif yağmuru 35.5 GHz'de ölçmektedir. Ka / Ku-bant verilerinin üst üste binen alanlarının eşzamanlı olarak ölçülmesi, bulut içinde damlacık ya da buz kristalinin büyüklüğü ve dağılımları hakkında yeni bilgiler sağlamaktadır. Örnek olarak bu sistem kullanılarak bir bulut içerisinde farklı katmanlarda damlacıkların çapı belirlenerek, bulut boyunca bulut damlacık boyut dağılımları rahatlıkla belirlenebilir [8]. Şekil 5'de GPM Core uydusu ve üzerinde bulunan GPM Mikrodalga Görüntüleyici (GMI) ve Dual Frekans Yağış Radarı (DPR)'ın bazı teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 5: GPM Core uydusu ve GPM Mikrodalga Görüntüleyici (GMI) ve Dual Frekans Yağış Radarı (DPR) Teknik Özellikleri (NASA, 2014)

Yağış büyüklüğünün, şeklinin ve dağılımının iyileştirilmiş gözlemleri, bilim insanlarına yağışın mikrofiziksel süreçleri hakkında yeni fikirler vermektedir. Bu gözlemler ile yağmur ve kar bölgeleri arasında rahatlıkla ayırım yapılabilmektedir. Ayrıca, yağış yoğunluğu, miktarı ve bulut su içeriği miktarı gibi toplu yağış özellikleri elde edilebilmektedir. Yağışın bulut içindeki dağılımı ve büyüklüğü, GMI tarafından yapılan mikrodalga radyometre ölçümleriyle birlikte, yağmur ve kar yağışı tahminlerinin doğruluğunu arttırmaktadır.

GPM Core uydusu üzerinde bulunan GPM Mikrodalga Görüntüleyici (GMI)'ın algılama yaptığı frekans ve mekânsal çözünürlüğü ve Dual Frekans Yağış Radarı (DPR)'ın teknik özellikleri Tablo 1 ve 2'de verilmiştir [10].

Tablo 1: GPM Mikrodalga Görüntüleyici (GMI)

Frekans	Çözünürlük
10.65 GHz (V&H)	19.4 x 32.2 km
18.7 GHz (V&H)	11.2 x 18.3 km
23.8 GHz (V)	9.2 x 15.0 km
36.5 GHz (V&H)	8.6 x 14.4 km
89.0 GHz (V&H)	4.4 x 7.3 km
165.5 GHz (V&H)	4.4 x 7.3 km
183.3±3 GHz (V)	4.4 x 7.3 km
183.3±7 GHz (V)	4.4 x 7.3 km

Tablo 2: GPM Dual Frekans Yağış Radarı (DPR)

	KuPR	KaPR
Frekans	13.6 GHz	35.55 GHz
Tarama Alanı	245 km	120 km
Yatay Çözünürlük	5 km	5 km
Düşey Çözünürlüğü	250 m	250/500 m
Minimum Algılama	<0.5 mmh ⁻¹	<0.2 mmh ⁻¹

3.4. GPM Verilerinin Doğrulanması, İşlenmesi ve Kullanıcıya Sunulması

GPM programı yer sistemi, GPM Core uydusu ve programda bulunan diğer uyduları komuta edecek ve bu uydulardan alınan verileri yönetmek ve dağıtmak için gerekli yapıları içerir. GPM programındaki uydulardan elde edilen gözlemsel veriler, NASA İzleme ve Veri Aktarma Uydu Sistemi (TDRSS) aracılığıyla NASA'nın Goddard Uzay Uçuş Merkezinde bulunan White Sands yer istasyonu üzerinden GPM Görev Operasyon Merkezi'ne iletilir. Bu ham veriler NASA'nın Yağış İşleme Sistemi (PPS) ve JAXA'nın veri dağıtım sistemi tarafından neredeyse gerçek

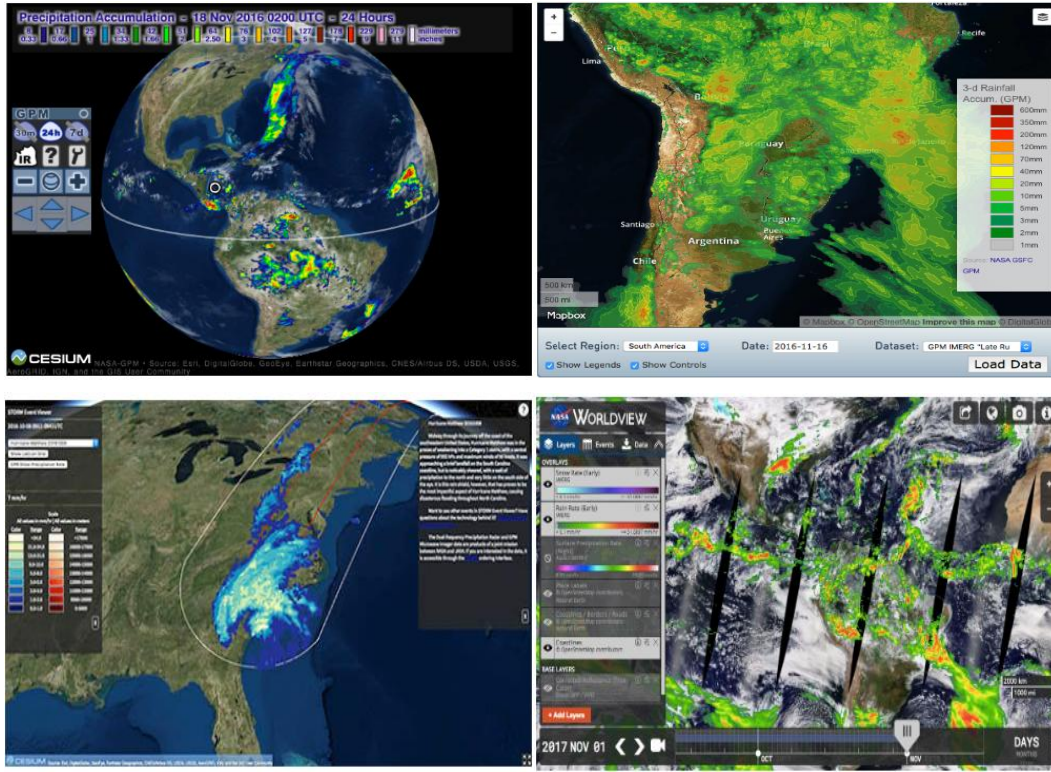
zamanlı olarak (3 saat içinde) doğrulanır ve çeşitli algoritmalarla işlenerek ürünlere çevrilir ve kullanıcılara sunulur. Yağış işleme sistemi (PPS), GPM ve diğer uydulardan gelen verileri işlemek ve GPM ürünlerini oluşturan ölçüm tabanlı, çok merkezli bir veri işleme ve bilgi sistemidir.

Uydu yağış verilerini doğrulamak için geleneksel yaklaşım, uydu ürünlerinin kalitesini doğrudan değerlendirmek için yer bazlı gözlemleri (örneğin: radarlar ve ölçüm istasyonları) referans olarak kullanmaktır. Bu tür karşılaştırmaların oldukça faydalı ve gerekli olmasına rağmen, ölçüm ağının eksikliği ya da temsiliyet sınırları nedeni ile uydu yağış verilerinin doğrulanmasında yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle yağış verilerinin işlenmesinde kullanılacak algoritmalar oluşturulmadan önce GPM programında yer alan uydulardan alınan yağış verileri NASA'nın ulusal ve uluslararası ortakları ile yürüttüğü yer tabanlı gözlem sistemi (uçak ölçümleri de dâhil) ile üç kategoriden oluşan veri doğrulama işleminden geçer. Bu kategoriler; ulusal ağları kullanarak yüzeyde doğrudan istatistiksel doğrulama, düşey bir atmosfer sütunundaki yağış özelliklerinin fiziksel olarak doğrulanması ve hidrolojik uygulamalar ile alansal ve zamansal doğrulamadan oluşmaktadır [9].

GPM programındaki çoklu uydu ağından elde edilen IMERG algoritmaları, programda bulunan uydulardaki tüm pasif mikrodalga araçlarını, yağış tahminlerini analiz etmek ve yeniden oluşturmak için kullanılır. Mevcut diğer ölçüm kaynakları ile birlikte yer ölçüm verileri değerlendirmesi sonucunda nihai ürün olarak $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ mekânsal çözünürlükte ve yarım saatlik zamansal çözünürlükte çıktılar elde edilir. Ayrıca NASA, Çok yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlüklerde çoklu uydu yağış tahminleri gerektiren bazı hidrolojik uygulamalar için (özellikle bölgesel hidrolojik uygulamalar) 1-2 km çözünürlükte dinamik olarak küçültülmüş yağış analizleri üretmek için uydu yağış bilgisini bulut çözme modellerine asimile etme teknikleri geliştirmektedir [11].

Verilerin doğrulanmasının ardından sürekli güncellenen radar, radyometre, kombine radar-radyometre ve çoklu uydu algoritmaları ile yağış verileri PPS tarafından işlenir. 2019 Kasım ayı itibari ile en güncel yağış algoritmaları GPM-L2-L3-CSH-V06'dır. Ayrıca bu algoritmalar aracılığı ile tüm TRMM ölçümleride yeniden işlenebilmektedir. Böylece 1998 yılından günümüze kadar standart bir yağış veri seti elde edilmektedir [12].

PPS tarafından üretilen işlenen GPM yağış verileri kullanıcılara çeşitli formatlarda (GIS, TIFF, ASCII text gibi) kullanıcılara sunulur. Bu veri setlerine, “pps.gsfc.nasa.gov” adresindeki PPS web sitesinden ücretsiz olarak adresinden ulaşılabilir. Ayrıca “https://pmm.nasa.gov/data-access/visualization” adresinden NASA’nın hazır görselleştirme ürünlerine de ulaşılabilir (Şekil 6).



Şekil 6: Sol Üstte "Global Viewer", Sol Altta "STORM Event Viewer", Sağ Üstte "Precipitation and Applications Viewer", Sağ Altta "NASA Worldview"

4. GPM VERİLERİ UYGULAMA ALANLARI

TRMM'nin gözlemleri ile başlayan, şu anda daha geniş enlem aralığında GPM tarafından sağlanan yüksek kalitedeki yağış verileri, araştırmacılar, bilimsel alanda ve toplumsal konularda yapılan çalışmaların kalitesini arttırmış ve yeni çalışmalar yapılabilmesine olanak sağlamıştır.

GPM programı ile küresel yağış, hidrometeor ve mikro fiziksel yapıların mekânsal ve zamansal değişkenliği gözlemlenebilmekte ve bu özelliklerin küresel su ve enerji döngülerindeki değişimlerle ilişkisinin belirlenmesinde araştırmacılara yeni bakış açıları sağlamıştır. TRMM ile başlayan ve GPM programı ile devam eden uzun yıllara ait yüksek çözünürlükteki yağış

verilerinin iklim modellerinde kullanılması, iklim modellerinin başarı oranlarını arttırmakta ve yüksek çözünürlükte çıktılar sağlamaktadır. Ayrıca bu uzun vadeli ve kesintisiz veriler küresel yağış ve sirkülasyon modelleri içinde önemli bir veri seti oluşturarak, bu konularda detaylı çalışmalar yapılabilmesine olanak sunmuştur. GPM programı ile günlük, aylık, mevsimlik ya da yıllık ortalamalar olarak da elde edilebilen veriler; klimatolojik çalışmalarda da sıkça kullanılmaktadır. GPM Core uydusu gözlemleri şiddetli yağışa neden olan ekstrem hava olaylarının mikrofiziksel yapısı gözlemlenebilmiş ve bu alanda birçok yeni çalışma yapılmasına imkan sağlamaktadır.

GPM verileri bilimsel uygulama alanlarının yanında, birçok toplumsal uygulama alanına da sahiptir. Özellikle NASA tarafından geriye dönük olarak 2000 yılından günümüze kadar uzanan IMERG verilerinin 2018 yılında tüm kullanıcılara sunulması ile bu verilerin uygulama alanları oldukça gelişmiştir. Bu veri seti, yeni nesil GPM tabanlı algoritmalar ile hesaplanan yirmi yıllık küresel yağış verilerini yüksek kalitede sunmaktadır. Neredeyse gerçek zamanlı olarak işlenen bu veriler, fırtına sistemlerinin tahmini ve takibi, taşkın erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi, taşkın analizleri, kuraklık gözlemleri, dünya üzerindeki tatlı su mevcudiyeti ve yönetimi de dahil olmak üzere birçok uygulama ve operasyonel faaliyet alanına hizmet etmektedir [13]. GPM programının toplumsal uygulama alanları özet olarak Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3: GPM Programı Verilerinin Toplumsal Uygulama Alanları (Skofronick-Jackson ve diğ., 2017)

Alan	Konu	Uygulamalar
Ekstrem Olaylar ve Afetler	Taşkın	Taşkın tahmini için hidrolojik modellere veri girdisi
	Toprak Kayması	Potansiyel toprak kayması tahminleri için yağış süre ve miktarı gözlemleri
	Fırtına ve Tropikal Siklonlar	Fırtına ve tropikal siklonların takibi
	Orman Yangınları	Yağış gözlemlerine dayalı olarak potansiyel orman yangını tahminleri
	Afet Müdahalesi	Potansiyel olarak etkilenen bölgelerde yağış durum bilgisi
	Sigorta Faaliyetleri	Düşük sigorta için ödemeleri için yağış verilerinin klimatolojik olarak değerlendirilmesi
Su Kaynakları ve Tarım	Kuraklık	Uzun kayıtlara dayanan yağış anomalilerinin değerlendirilmesi
	Su Kaynakları Yönetimi	Havzalara ve rezervuarlara tatlı su girişinin ve çıkışının değerlendirilmesi
	Tarımsal Uygulamalar ve Gıda	Büyüme mevsiminin başlangıcını, mahsul verimliliğini ve diğer değişkenleri tahmin etmek için yağış verilerinin tarımsal

	Güvenliği	modellere entegrasyonu
Hava ve İklim Modellemesi	Sayısal Hava Tahmini	Sayısal hava tahmini modellerinde girdi olarak entegrasyonu
	Arazi Yüzey Modellemesi	Çevre değişkenlerini tahmini için arazi yüzey modellerine veri asimilasyonu
	İklim Değişkenliği ve Değişimi	İklim modellerinin doğrulanması
Halk Sağlığı ve Ekoloji	Hastalık İzleme	Su kaynaklı hastalıklar için çevresel koşullarla yağış anomalilerinin izlenmesi
	Ekolojik Tahminler	Yağış değişimine bağlı ekolojik tahminler
Teknoloji ve Politika	Uydu Hizmetleri ve Veri Dağıtımı	Veri dağıtımını, yer sistemleri hizmetlerini desteklemesi

GPM verilerini kullanan bilimsel çalışmalar ve toplumsal uygulamalar devam etmekte ve hızla artmaktadır. Dünya genelinde oldukça yaygın bir kullanıma sahip olan GPM programı ürünleri, ülkemizde oldukça sınırlı bir kullanıma sahiptir. Ülkemizde 2017 yılında yapılan bir çalışmada 2014 – 2017 yılları arasında Türkiye genelindeki 707 otomatik meteoroloji gözlem istasyon (OMGİ) verileri ile TRMM, GPM ve ECMWF elde edilen yağış verileri karşılaştırılmış, günlük ortalama yağış ortalaması göz önünde bulundurulduğunda; GPM verileri istasyon verilerine göre %5 oranında daha ıslak iken TRMM ve ECMWF verileri ise %18 ve %21 oranında daha ıslak sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda özellikle ortalama yağış verilerinin kullanımı gerektiren çalışmalarda, GPM verilerinin kullanımının TRMM ve ECMWF verilerine göre daha tutarlı sonuçlara ulaşılmasını sağlayacağı ortaya konulmuştur [3].

5. SONUÇLAR

GPM programı ile lokal ölçekten küresel ölçeğe kadar bir skalada, Kuzey Kutup Dairesi'nden Güney Kutup Dairesi'ne kadar olan alandaki yağış miktarı, cinsi ve yağış sistemleri hakkında detaylı bilgiler elde edilmektedir. GPM Core uydusunda bulunan yeni nesil ölçüm araçlarının ve çoklu uydu gözlemlerinin birlikte kullanılması ile uzaydan daha doğru, yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlüğe sahip yağış gözlemleri yapılabilmesi sağlanmıştır. GPM Core uydu gözlemleri ve programdaki diğer uydu verileri ile birleştirilerek 0.1° x 0.1° mekânsal çözünürlükte, 30 dakikaya kadar indirgenebilen zamansal çözünürlükteki ürünler elde edilebilmektedir. Ayrıca GPM Core uydusunda bulunan gelişmiş ölçüm aletleri ile birlikte hafif

şiddetten ve aşırı şiddete kadar yağışın algılanabilmesinin yanında yağışın damlacık ve parçacık büyüklüğü ve dağılımı gibi bulut mikrofiziği konusunda da önemli bilgiler elde edilmektedir.

Yeni nesil çok uydulu küresel yağış ölçümünden elde edilen gözlemler, yer ölçümleri ile doğrulanmasıyla kullanılan yağış algoritmalarını (güncel olarak V0.6) sürekli olarak güncellemektedir. Bu durum her geçen gün daha iyi yağış verilerinin gelişmesini sağlamaktadır. GPM programında yer alan uydularda bulunan mikrodalga sensörlerin birbiriyle kalibre edilmiş olması, ortak bir yağış veri tabanı oluşturmaktadır. Ayrıca GPM programı bu yağış algoritmaları ile yeniden işlenen TRMM verileri aracılığı ile 1998 yılından günümüze uzanan bir küresel yağış verisine ulaşım imkânı sağlamaktadır.

GPM programı ile birlikte küresel ölçekte gelişmiş yağış ölçümleri elde edilmesi özellikle küresel yağış verisine ihtiyaç duyulan bilimsel çalışmalarda başarı oranlarını arttırmış ve yağış verisi bulunmayan bölgelerde yeni bilimsel çalışmalar yapılabilmesine olanak sağlamıştır. GPM programı Hidrolojik Döngü ve bu döngüdeki değişimler, yağış algoritmalarının oluşturulması, hava tahminlerinin geliştirilmesi, hidrolojik ve iklim modellerinin tahmin yeteneklerinin iyileştirilmesi, küresel iklim değişimini tahminlerinin güncellenmesi, bulut ve yağış mikro fiziği ve iklim re analizleri gibi birçok bilimsel konuda yeni uygulama alanları oluşturmuştur. Günümüzde bu konularda uluslararası alanda yapılan çalışmalarda GPM gözlemleri sıkça kullanılmaktadır. Bilimsel uygulama alanlarına ek olarak, GPM verileri ekstrem hava olaylarına neden olan atmosferik sistemlerin takibi ve detaylı analizleri, iklim tahminleri, tarımsal uygulamalar, taşkın erken uyarı sistemleri, kuraklık gözlemleri, dünya üzerindeki tatlı su mevcudiyeti ve yönetimi gibi toplumsal birçok uygulama alanına sahiptir. Ülkemizde de benzer konularda yapılacak bilimsel ve toplumsal çalışmalarda GPM programı verilerinin kullanımının oldukça yararlı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] <https://www.mgm.gov.tr/genel/hidrometeoroloji.aspx?s=4>, Hidrolojik Çevrim, Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Son Kontrol: 25.10.2019
- [2] **Skofronick-Jackson G., W.A. Petersen, W. Berg, C. Kidd, E.F. Stocker, D.B. Kirschbaum, R. Kakar, S.A. Braun, G.J. Huffman, T. Iguchi, P.E. Kirstetter, C. Kummerow, R. Meneghini, R. Oki, W.S. Olson, Y.N. Takayabu, K. Furukawa, and T. Wilhelm** (2017). The Global Precipitation Measurement (GPM) Mission for Science and Society. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 98, 1679–1695, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00306.1>
- [3] **Yıldız, M.T., Amjad, M., Bulut, B., Yücel, İ.** (2017) TRMM ve GPM Uzaktan Algılama ve ECMWF Numerik Model Kaynaklı Yağış Verilerinin Doğrulanması. III. Meteorolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu, Antalya
- [4] **Hou, A. Y., Kakar, R. K., Neeck, S., Azarbarzin, A. A., Kummerow, C. D., Kojima, M., ... & Iguchi, T.** (2014). The Global Precipitation Measurement Mission. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(5), 701-722.
- [5] **Yong, B., L. Ren, Y. Hong, J.J. Gourley, Y. Tian, G.J. Huffman, X. Chen, W. Wang, and Y. Wen,** (2013) First Evaluation of the Climatological Calibration Algorithm in the Real-Time TMPA Precipitation Estimates Over Two Basins at High and Low Latitudes. *Water Resources Research* 49(5):2461-2472, <https://doi.org/10.1002/wrcr.20246>
- [6] **Sorooshian, S., K.-L. Hsu, X. Gao, H. V. Gupta, B. Imam, and D. Braithwaite,** (2000) Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 81, 2035–2046.
- [7] **Kozu, T., Coauthors,** (2001) Development of Precipitation Radar onboard the Tropical Rainfall Measuring Mission satellite. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, 39, 102–116, [doi:10.1109/36.898669](https://doi.org/10.1109/36.898669).
- [8] **Hanson Heather and Ellen Gray** (2012). *Global Precipitation Measurement: Core Observatory*. National Aeronautics and Space Administration (NASA).
- [9] **Draper, D. W., D. A. Newell, D. A. Teusch, and P. K. Yoho** (2013). Global Precipitation Measurement Microwave Imager hot load calibration. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 51, 4731–4742, [doi:10.1109/TGRS.2013.2239300](https://doi.org/10.1109/TGRS.2013.2239300).
- [10] **Kidd C., Arthur H.** (t.y.) “The Global Precipitation Measurement (GPM) Mission: Hydrological Applications.”

- [11] **Omranian, Ehsan, and Hatim O. Sharif** (2018) “Evaluation of the Global Precipitation Measurement (GPM) Satellite Rainfall Products over the Lower Colorado River Basin, Texas.” JAWRA Journal of the American Water Resources Association, vol. 54, no. 4, 2018, pp. 882–898., doi:10.1111/1752-1688.12610.
- [12] <https://pmm.nasa.gov/science/precipitation-algorithms>, Precipitation Algorithms. Son Kontrol: 25.10.2019
- [13] **Skofronick-Jackson G., Kirschbaum D., Petersen W., Huffman G., Kidd C., Stocker E., Kakar R.** (2018) “The Global Precipitation Measurement (GPM) Missions Scientific Achievements and Societal Contributions: Reviewing Four Years of Advanced Rain and Snow Observations.” Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 144, no. S1, 2018, pp. 27–48., doi:10.1002/qj.3313.