

23 Şubat 2015 Tarihinde Çeşme’de Meydana Gelen Sel Felaketinin Lokal Bilgiler ve FFGS Ürünleriyle Taşkın Tahmini ve Analizi

Ertan TURGU¹ , Seyfullah ÇELİK² , Halis ÖZCAN³

Anahtar Kelimeler: FFGS, Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi, radar, uydu ve tahmini yağış verileri

Özet: Ani taşkın olaylarının meydana gelmesi doğal afetler arasında en yüksek can ve mal kaybına yol açmakta olup hidrolojik, meteorolojik ve doğal afet bilimlerini ilgilendirmektedir. 23 Şubat 2015 tarihinde Çeşme’de meydana gelen taşkın öncesinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü erken uyarı vermiştir. Taşkın öncesinde ve sonrasında olayların araştırılması ve incelenmesi doğal afetler konusunda tecrübelerin arttırılmasında önemli rol oynamaktadır. Bu amaçla yaptığımız çalışmada 23 Şubat 2015 tarihinde Çeşme’de meydana gelen taşkın olayı ile ilgili kullanılan lokal bilgiler, uydu, radar, sayısal hava tahmin modeli, kararsızlık ürünlerinin yanında FFGS (Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi) ürünlerinin gösterimi ve incelemesi yapılmıştır. Sonuçta taşkın erken uyarısı verilmesinde FFGS ürünleri ve lokal bilgilerin önemi ortaya çıkmaktadır.

1. GİRİŞ

Ani taşkınlar dünyanın bir çok yerinde olduğu gibi Türkiye’de de düzenli meydana gelen tabiat olayları olup tek bir olayda önemli ekonomik, sosyal zararlar ve can kayıplarına neden olabilirler. Ani taşkınların oluşmasında doğal nedenler olarak, yavaş hareket eden oraj nedeniyle şiddetli yağışlar, eğimli arazilerde orografik yağışlar, suya doygun toprak üzerine veya geçirimsiz toprak yüzeyi üzerine yağışlar, dere veya kanalın yetersiz hidrolik özellikleri rol oynamaktadır. Ani taşkınların diğer meydana gelme nedenleri arasında nüfus yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde alt yapı yetersizliği, yeşil alanların yok olması, toprak yapısı ve bitki örtüsünün bozulması, yamaç ve akarsu havzalarında yanlış yerleşim yerlerinin seçilmesi sayılabilir.

Türkiye atmosfer kökenli doğal afetlerin çok sık ve yaygın olarak görüldüğü bir orta kuşak ülkesidir. Sıcak ve soğuk karalar ve denizler arasında yer aldığından çok farklı hava kütlelerinin etkisi altındadır. Orta kuşak fırtınalarına kaynak oluşturan Akdeniz havzasında bulunduğu buradan kaynaklanan fırtına sistemlerinin yolu üzerindedir. Ayrıca 3 tarafı nem kaynağı olan denizlerle kıyıya paralel ve dik uzanan dağlarla çevrilidir. Türkiye yüksek (ortalama 1132m) ve engebeli (ülke yüzölçümünün %61’i %20 ve daha dik; ülke arazilerinin %45’i ise %40 ve daha dik eğimli alanlardır) bir arazi yapısına sahiptir. Bu nedenle şiddetli

¹ Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Mühendis, eturgu@mgm.gov.tr

² Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Mühendis, scelik@mgm.gov.tr

³ Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Jeomorfoloğ, hozcan@mgm.gov.tr

yağış, yağmur, kar, dolu, tipi, çığ, sel, sis, don, orman yangınları, tarımsal zararlılar, kuraklık, çölleşme, kuvvetli rüzgar, fırtına, yıldırım gibi şiddetli meteorolojik olaylara bağlı doğal afetlerin yoğun olarak görüldüğü ülkedir [8].

23 Şubat 2015 tarihinde Çeşme’de şiddetli yağışlar sonucu oluşan sel ve su baskınlarında ciddi mal kayıplarına neden olarak ekonomik zarara yol açmıştır (Şekil 1). Ilıca deresinin taşmasıyla 150’den fazla ev ve işyeri sular altında kalmıştır.



Şekil 1: Çeşme’de yaşanan sel felaketi Kaynak: internethaber (solda) ve Takvim gazetesi(sağda)

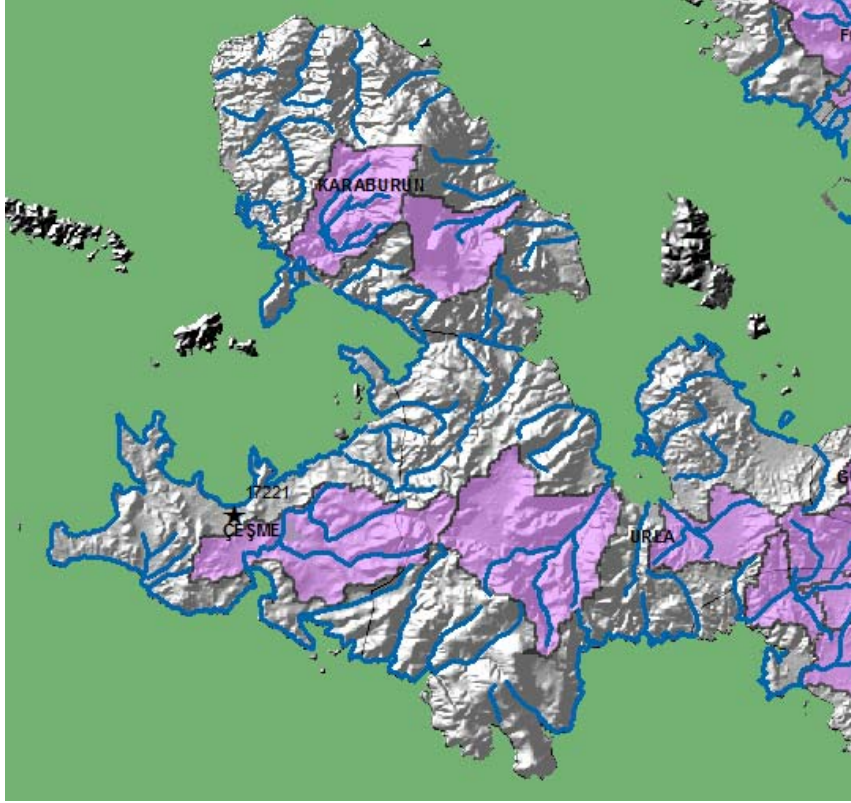
Ani taşkın, Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO) tarafından “nispeten yüksek pik debiye sahip kısa süreli taşkın” şeklinde tanımlanmıştır [1]. Amerikan Meteoroloji Cemiyeti (AMS)’nin ani taşkın tanımında ise “şiddetli yağış sonucunda nispi olarak küçük alanlarda meydana gelen, çok kısa bir sürede gerçekleşen ve önceden uyarı verilme şansı az olan debinin aniden yükselmesi ve alçalmasıdır” [2] [3] şeklindedir.

Bu çalışmanın amacı, birincisi, 23 Şubat 2013 tarihinde Çeşme’de meydana gelen ani taşkın hadisesine neden olan meteorolojik şartların (yağış intensitesi, sinoptik analizler, uydu, radar, sounding analizlerine göre) incelenmesini; ikincisi, olay etraflıca incelendikten sonra sel olayını destekleyecek bilgilerin FFGS sisteminden elde edilen ürünlerle (varsa kar erimesi, toprağın neme doygunluk derecesi, yağışın gittikçe güçlenme durumlarını da hesaba katarak) birlikte yorumlamak; üçüncüsü de tüm bu incelemelerin sonunda kullanılan veriler ve modellerden kaynaklanan belirsizlikleri de göz önüne alarak FFGS sisteminin ani taşkın erken uyarısı verme kabiliyetini ortaya koymaktır.

2.MATERYAL ve METOT

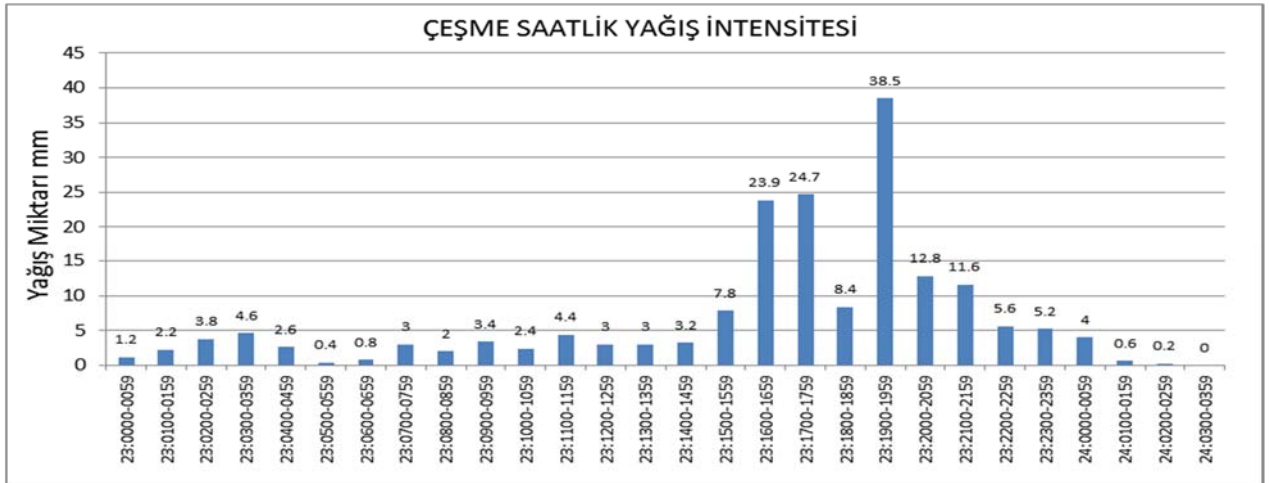
2.1.Veri

Çalışma alanı olarak, Çeşme (WMO Synoptic Station No:17221 ICAO name:CESM Elevation:5 m lat:38.3036 lon:26.3724) ele alınmıştır. Çeşme, İzmir ilinin batısında yer alan bir ilçedir. (Şekil 1). Doğudan Urla, kuzeyden Karaburun, batı ve güneyden Ege denizi ile çevrilidir. İç ve dış turizm açısından ülkemizin sayılı merkezlerinden olan Çeşme’nin, turizmdeki öneminin önümüzdeki yıllarda çok daha artacağı öngörülebilir.



Şekil 2: Çalışma Alanının Konumu (Çeşme)

Çalışmada veri olarak, ani taşkın öncesinde MGM’de mevcut lokal bilgiler, AWOS bilgileri, uydu, radar, sayısal hava tahmin modeli (ALARO), kararsızlık ürünleri ve FFGS ürünleri kullanılmış ve çıktıları değerlendirilmiştir. Çeşme’de 23 Şubat 2015 tarihinde meydana gelen ve ani taşkına neden olan şiddetli yağışların hangi saatler arasında olduğu önemlidir. Şekil 3’de Çeşme AWOS kayıtlarına göre 00:00 UTC den itibaren 19:00 UTC’ye kadar giderek artan yağış miktarları bulunmaktadır. Yağışın intensitesi saat 19:00-20:00 UTC arasında 38.5 mm/saat ile maksimuma ulaşmıştır. Yağış intensitesi 20:00 UTC’den sonra azalmaktadır.



Şekil 3: Çeşme AWOS (Otomatik Meteoroloji İstasyonu) Değerleri

Taşkın meydana geldiği güne ait standart zamanlardaki maksimum yağışlar bulunmuş ve tekerrür analizi (Tablo 1) yapılmıştır. Bu amaçla standart zamanlardaki (5, 10, 15, 30 dk, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 18 ve 24 saat) maksimum yağış değerleri tespit edilmiştir. Yağış-Şiddet-Süre Tekerrür analizleri yapılarak 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık tekerrür periyotlarında olması

muhtemel yağış miktarı hesaplanmaktadır. Yağışların çeşitli büyüklükleri ve bunların frekansları arasındaki ilişkiyi veren yağış frekans değerlerine göre olasılık dağılım fonksiyonlarının Khi Kare ve Kolmogrov-Simirnov uygunluk sınamalarından geçirilerek diziyeye en iyi uyan Uygun Dağılım Fonksiyonu (UDF) olarak Çeşme verisi için Log-Pearson 3 bulunmuştur.

Tablo 1: Çeşme yağış-şiddet-süre-tekerrür analizi

Tarih	Başlama	Bitiş	Devam (dak)	Miktar (mm)	Şiddet mm/saat	UDF:LP3 Tekerrür (yıl)
23/02	19:22	19:27	5	8.6	103.2	2
23/02	19:18	19:28	10	13.9	83.4	3
23/02	19:19	19:34	15	18.4	73.6	4
23/02	19:16	19:46	30	31.0	62.0	7
23/02	18:49	19:49	60	40.5	40.5	7
23/02	19:02	21:02	120	52.9	26.5	8
23/02	16:46	19:46	180	73.0	24.3	14
23/02	15:46	19:46	240	96.7	24.2	48
23/02	16:13	21:13	300	111.3	22.3	85
23/02	15:42	21:42	360	121.1	20.2	100 yıldan çok
23/02	14:54	22:54	480	133.3	16.7	100 yıldan çok
23/02-24/02	00:52	00:52	720	148.7	12.4	100 yıldan çok
23/02-24/02	07:03	01:03	1080	167.1	9.3	100 yıldan çok
23/02-24/02	01:08	01:08	1440	181.5	7.6	100 yıldan çok

24 Şubat 2015 tarihinde 01:08 GMT ye kadar 24 saatte maksimum 181.5 mm'lik yağış (Tablo 1) ölçülmüştür. Çeşme'nin geçmiş kayıtlarına bakıldığında Şubat ayı yağış normali (1981-2010) 82.0 mm, yıllık yağış normali ise 554.0 mm dir. Burada sadece 3 saatte düşen maksimum 73.0 mm'lik yağış ile Şubat ayı yağış normaline yaklaşmıştır.

2.2.Yöntem

Çalışma yöntemi olarak, 23 Şubat 2013 tarihinde Çeşme'de meydana gelen ani taşkın hadisesine neden olan meteorolojik şartlar incelenmiştir. Bu amaçla sinoptik ölçekli hava sistemlerinin yapısını araştırmak için MGM'de kullanılan METCAP programı çıktılarından sinoptik analizler (yer kartı, 850 hPa, 500 hPa ve 300 hPa) yapılmıştır.

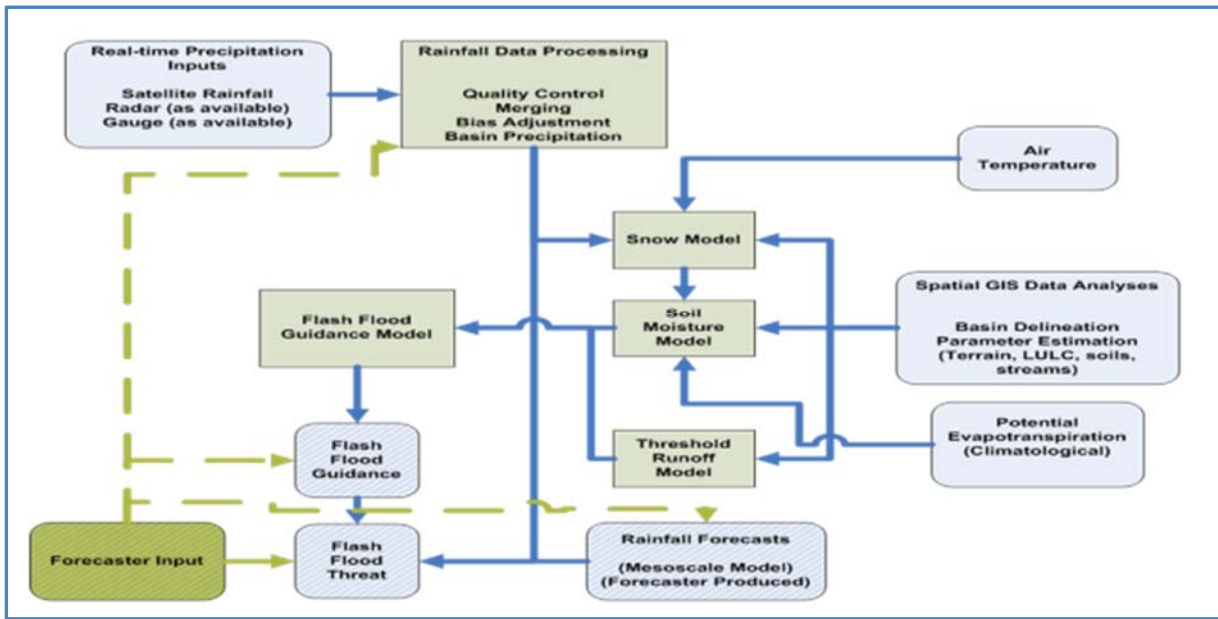
Uydu analizleri için ECMWF Operasyonel Analiz ve Tahmin Sistemi ürünü kullanılmıştır. Radar analizleri için Türkiye'de kurulu İzmir radarına ait ürün çıktılarından yararlanılmıştır. Temp analizinde Wyoming Üniversitesi tarafından hazırlanan İzmir 17220'ye ait Skew-T Log-P diyagramı değerlendirilmiştir. Bu analizlerden yağışın konvektif yada cephesel gelişme göstereceği anlaşılabilir. Her hangi bir alt havzada ani taşkın olabilirliğini hesaplamak ve erken uyarı ürünleri elde etmek için Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi (FFGS) ürünleri (özellikle toprak nem durumu haritaları, tehlike haritaları, yağış ürünleri) kullanılmıştır.

2.2.1.Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi Model Konsepti

Ani taşkın, herhangi bir havzada belirli bir süre içinde drenaj kanalı çıkışında dere ve nehir yataklarının dolu olarak akmasını sağlayan yağış miktarı olarak tanımlanmaktadır. Ani Taşkın Erken Uyarı Modelinin (FFG) amacı herhangi bir alt havzada ani taşkın durumunda dreden taşacak miktarı hesaplayıp erken uyarı ürünlerini elde etmektir. Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi ile Nehir Taşkın Tahmin Sisteminin birbirinden ayırt edilmesi önem arz etmektedir. Ani Taşkınlar yağış başladıktan sonra 6 saat içinde meydana gelen taşkınlardır. Bu taşkınlar,

genelde meteorolojide oraj olarak adlandırılan hadiselerin sonucunda meydana gelmektedir. Nehir taşkınları ise 6 saat ve daha fazla süre içinde büyük nehirlerin seviyelerinin yükselmesi ile meydana gelmekte olup, hatta bazen günlerce süren yağışlar sonunda meydana gelmektedir.

Şekil-1’de FFG modeli çalışma konsepti verilmiştir. Modelin ilk kurulumu ve parametrelerinin belirlenmesi için geçmiş meteorolojik ve hidrolojik veriler ile topografya verileri kullanılmaktadır. Modelin operasyonel çalışması için gerekli olan meteorolojik veriler yağış, sıcaklık, buharlaşma ve toprak nemidir. Ani taşkın erken uyarı sisteminde kullanılan yağış verilerinin ana kaynakları: radar, uydu, yer gözlemleri ve nümerik hava tahmin model çıktılarıdır[4] [5].



Şekil 4: BSMEFFG Sistemi Model Konsepti

Sistemde bulunan modeller Toprak nemi Sacramento (SAC-SMA), Kar modeli (SNOW-17), Yüzeş akış eşik Modeli (Threshold Runoff) ve Taşkın Erken Uyarı Modeli (FFG) birbirleriyle entegre çalışmaktadır. Türkiye için 11700 adet alt havza'nın ortalama büyüklüğü 50 km² dir. Radar yağış verisi olarak Türkiye’de şu an faaliyette bulunan 10 Adet C band radardan elde edilen saatlik toplam yağış verileri anlık olarak, hata düzeltmeleri yapıldıktan sonra 450 x 720 m grid çözünürlüğünde modele girilmektedir. Polar koordinatlı radar verileri (RAIN1 ürünü mm/saat olarak) grid bazlı verilere dönüştürülür. Uydu yağışı hesaplanırken ABD Ulusal Okyanus ve Atmosferik Ajansı (NOAA) tarafından grid bazında, her bir alt havza için son 1,3,6 ve 24 saatlik EUMETSAT MSG sabit yörüngeli uydu verilerinden elde edilmektedir. Uydu verisi, EUMETSAT MSG sabit yörüngeli uydunun kızıl ötesi kanalının atmosferik pencere 10.7 mikron dalga boyunda ölçtüğü bulut tepesinde parlaklık sıcaklığı ile yağış şiddeti arasındaki istatistiki ilişkiden elde edilir. Mikrodalga Yağış Verileriyle Düzeltilmiş Uydu Yağış Verileri (MWGHE), ürünü aslında mikro dalgayla düzeltilmiş GHE ürünüdür. MWGHE ürünü, kutupsal yörüngeli uyduların mikro dalga kanalları kullanılarak elde edilmektedir. EUMETSAT MSG taraması her 15 dakikada bir yapılırken kutupsal yörüngeli uydular 12 saatte bir aynı bölgeyi taramaktadır. Kutupsal yörüngeli uyduların mekansal çözünürlüğü, sabit yörüngeli uydulardan daha iyidir. Bu nedenle sabit yörüngeli uydu verilerinden elde edilen yağış verileri kutupsal yörüngeli uyduların yağış verileriyle düzeltilerek MWGHE uydu yağışı elde edilir. Küresel Telekomünikasyon Sisteminde (GTS) şu anda yayınlanan 129 adet otomatik meteoroloji gözlem istasyonunda ölçülen yağış,

sıcaklık, kar, buharlaşma verileri anlık olarak modele girilmektedir. Birleştirilmiş Ortalama Alansal Yağış (Merged MAP) ürünü radar, uydu yer gözlemi gibi kaynaklardan elde edilirken bir sıralama mevcuttur. Merged MAP elde edilirken elde mevcut kullanılabilir en iyi veriden ilk öncelikli olarak yer gözlemleri ile gerçek zamanlı hata düzeltmesi (bias-adjusted) yapılmış radar verisi; bu olmazsa yer gözlemleri ile gerçek zamanlı hata düzeltmesi yapılmış MWGHE verisi; bu olmazsa yer gözlemleri ile gerçek zamanlı hata düzeltmesi yapılmış GHE verisi veyahutta yer gözlemleri enterpolasyon verisinden hesaplanır. Birleştirilmiş yağış ürünü değerleri her bir alt havza için, kar modeli (SNOW-17), Sacramento Toprak Nem modeli, Yüzey akış eşik modeli ve FFG modeline input yağış verisi olarak girmektedir.

Ani taşkın oluşumunda şiddetli yağış nedeniyle toprak üst kısmı suya doyduktan sonra yüzey akışına geçmesi önemlidir. Toprak nemi, toprak yüzeyinden 20-30 cm derinlikteki toprağın suya doygunluk yüzdesi olarak ifade edilir. Sacramento SAC-SMA modeli ile alt havzalarda toprak nemi, yüzey akış, taban akışı ve sızma hesaplamaları yapılmaktadır. Yüzey akışı hesaplanırken bitki örtüsü, toprak tipi, tekstürü (kumlu, killi, siltli), topoğrafya ve jeomorfolojik parametreler kullanılmaktadır.

Alt Havzaya Dağıtılmış Tahmini Yağış (FMAP), ALADIN-Alaro'dan elde edilir. ALARO ise ALADIN'in non-hidrostatik versiyonu olup yatay çözünürlükleri sırasıyla 2.5km ve 57km. dir. Non-hidrostatik'in anlamı: bu sınırlı alan modelinde hidrostatik denge eşitliği dahil edilmemiştir. Yani bulut ölçeklendirme ve bulut çözümü modelleri genelde çok yüksek çözünürlük gerektiren tahmin problemlerinde kullanılmaktadır. Bu modelin başlangıç ve sınır koşulları ARPEGE global modelinden elde edilmektedir. ALADIN modeli yağış ürünleri: 6 saatte bir güncellenir, 4 x 4 km çözünürlüktedir.

FFG (Ani Taşkın Kılavuzu), belirli bir süre içinde (1,3 ve 6 saat) herhangi bir alt havza çıkışında drenaj kanalının banket seviyesine kadar dolması için gerekli olan yağış miktarıdır (mm). FFT (Ani Taşkın Tehlikesi), su seviyesi banket seviyesine ulaştıktan sonra taşkına neden olan yağış miktarıdır. IFFT ve PFFT değerleri, birleştirilmiş yağış ürünü değeri ile FFG değeri arasındaki farka eşittir. FFFT değeri ise ALADIN modelinden elde edilen tahmini ortalama alansal yağış değeri (FMAP) ile FFG değerinin arasındaki farka eşittir.

3.SİNOPTİK ANALİZLER

Yurdumuz orta kuşakta yani Ekvator ile Kuzey kutbunun ortasında yer almakta olup genellikle kışın polar (kutbi) yazın ise tropikal oluşumlu hava kütlelerinin etkisi altında kalmaktadır. Dünyanın en büyük iç denizlerinden birisi olan Akdeniz, buraya gelen hava kütleleri için ikinci kaynak alanı gibidir. Çeşme'de taşkın meydana getiren yağışlarda Akdeniz'e kendi kaynak sahasının özellikleriyle yönelen ve sonrasında Akdeniz'de termodinamik değişikliklere uğrayan hava kütleleri rol oynamıştır. Kış mevsiminde Türkiye'yi etkileyen hava kütlelerinin kaynak bölgesi yer ve yüksek seviye haritalarından mP (Denizsel Kutbi) olduğu anlaşılmaktadır. mP hava kütlesi aslında esas kaynak bölgesi Kuzey Amerika olan cP hava kütlelerinin Atlas Okyanusundan geçerken modifikasyona uğramış halidir.

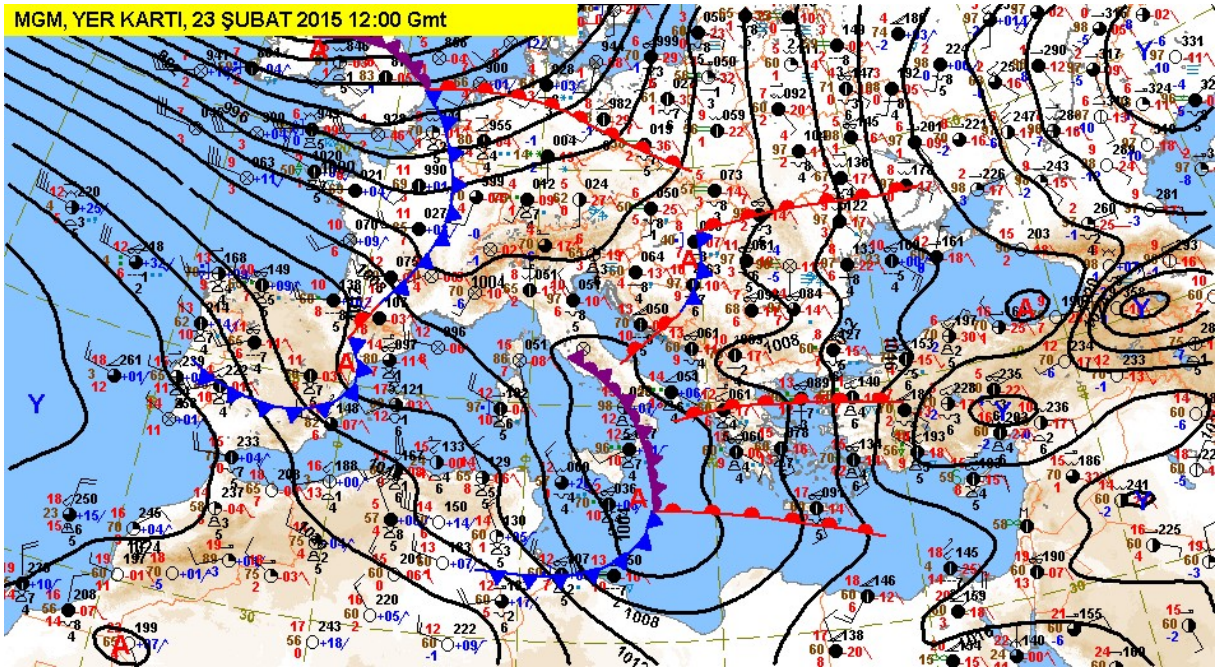
Yüksek seviye sabit basınç kartlarında (örn:850 hPa, 500 hPa, 300 hPa) basınç değerleri yerine; geopotansiyel metre olarak deniz seviyesinden itibaren eşit basınç yüksekliklerini birleştiren eğriler (kontur) kullanılır. Yer sinoptik kartlarında kapalı siklona "alçak basınç merkezi veya siklon" denildiği halde yüksek seviye kartlarında "alçak merkez" adı verilir. Yer seviyesinde alçak basınç merkezi bulunmasına rağmen yukarı atmosferde de (özellikle yani 850 hPa, 500 hPa ve 300 hPa'da) alçak merkez bulunduğu için bu tip alçak basınçlara soğuk nüveli /çekirdekli alçak basınç adı verilir. Rüzgar akışları yer seviyesindeki alçak basınç

merkezinden 300 hPa ya kadar saat akrep ve yelkovanının dönüşünün tersi istikamette esmekte ve basınç değerleri etraftan merkeze doğru azalmaktadır. Bu siklonlar konverjans alanlarıdır. Yer seviyesinden yukarı atmosfer seviyelerine kadar konverjans meydana gelmektedir. Bu durumda 23 Şubat 2015 tarihinde yer seviyesinde soğuk nüveli /çekirdekli alçak basınç merkezi, İtalya'nın güneyindeki Sicilya adası üzerinde meydana gelmiştir. Bu alçak basınç merkezinde nüve soğuk olduğu için soğuk havanın yukarı yükselmesi zayıf olacağından veya aşağı çökeceğinden (sübsidans) çok aktiftir. Bu durumda hem yükselen hava hem de çöken hava görülebilmektedir.

Özellikle 850 hPa ve 500 hPa yüksek seviye haritalarında İtalya'nın güneyindeki Sicilya adası üzerinde görülen alçak merkeze doğru kontur ve izoterm birbiriyle kesişim içinde olduklarından soğuk adveksiyon (yatay hava hareketi) görülmektedir (Şekil 6 ve Şekil 7). Soğuk adveksiyon sayesinde konturlar boyunca konturlara paralel akan rüzgarlar adveksiyon noktalarına daha soğuk havayı taşımaktadır. Yer seviyesinden 300 hPa'ya kadar tüm seviyelerde bir eksen üzerinde bulunan ve adveksiyondan dolayı hareketli olan siklonlar baroklinik model olarak adlandırılmaktadır.

3.1.Yer Sinoptik Kartı

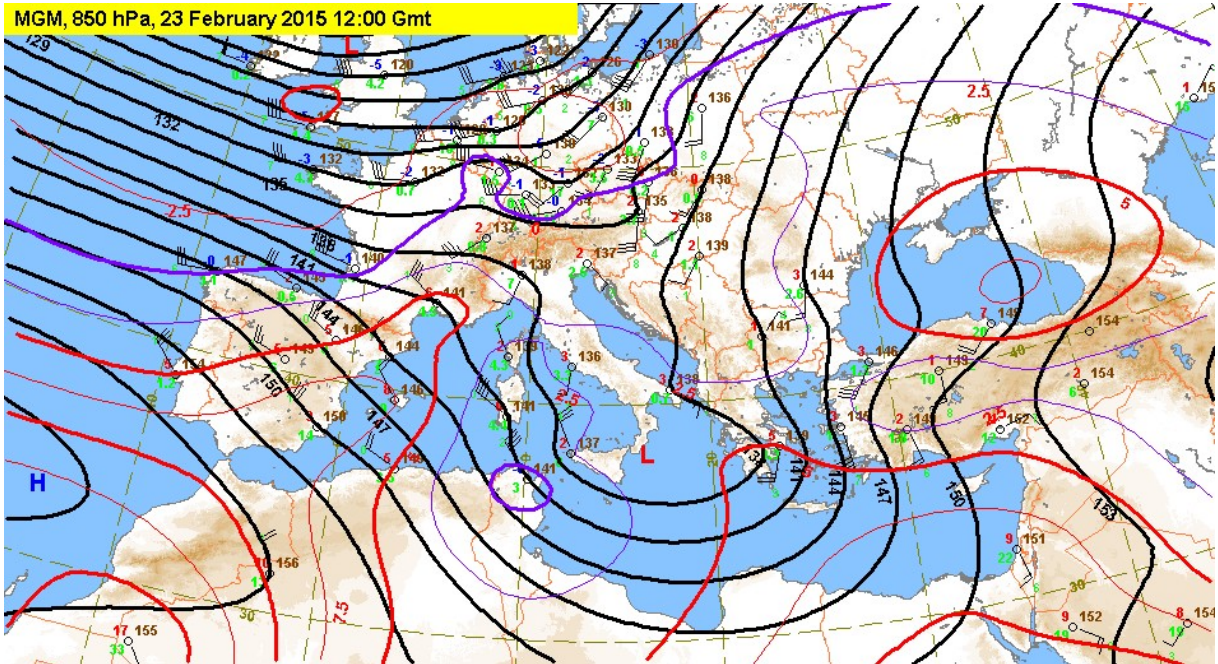
Yer kartındaki izobarlar, eşit basınç değerine sahip noktalar birleştirilerek elde edilen eğrilerdir. 23 Şubat 2015 12:00 UTC yer kartında (Şekil 5) Çeşme'de sel'e yol açan olayda rol oynayan cephe sistemi, 1004 hPa değerindeki İtalya'nın güneyindeki alçak basınç merkeziyle ilişkili sıcak cephedir. Sıcak cephe son derecede aktif hareket etmiştir. Sıcak cephe, sıcak havanın soğuk hava üzerinde hareket etmesi neticesinde oluşur. Cephe içinde oluşan gizli Cb'lerden sağanak yağışlar meydana gelmektedir. Sıcak cephe önünde görülen Ci bulutları cephe gelişinin habercisidir. Sıcak cephe önünde sıcaklık düşük olmasına rağmen cephe gerisinde yüksektir. Sıcaklık , sıcak cephe geçişi ile yükselme gösterir. Tandans, sıcak cephe önünde kuvvetli düşüş, cephe üzeri ve gerisinde hafif düşüş şeklindedir. Sıcak cephe önünde rüzgarlar, güney doğulu, cephe gerisinde ise batıdır. İzobarlar, sıcak cephe üzerinde rüzgar devamsızlığı olarak nitelendirilen V (king) yapmaktadır. [6] Ege bölgesi ve Çeşme çevresinde izobarların birbirine yakın ve sık olduğu görülmektedir. İzobarlardaki bu sıklık ve yoğunluk bölgedeki hakim rüzgar hızını attırmaktadır.



Şekil 5: 23 Şubat 2015 12:00 UTC Yer Kartı, Kaynak:Metcap

3.2.850 hPa Sabit Basınç Seviye Kartı

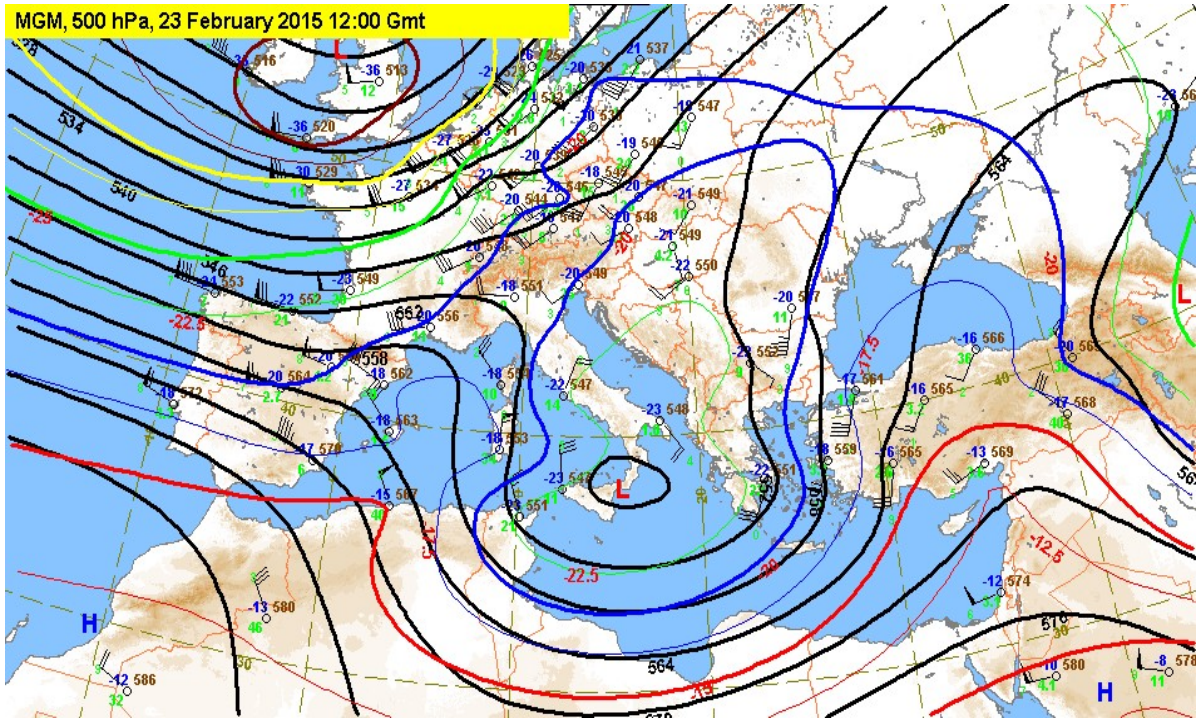
23 Şubat 2015 12:00 UTC 850 hPa haritasında (Şekil 6) İtalya'nın güneyinde Baroklinik Alçak Merkez bulunmaktadır. Cephe önü ve gerisinde rüzgarlar shift yapmaktadır. Soğuk cephe soğuk adveksiyonların başlama noktasındadır. Genelde soğuk adveksiyonlar soğuk cephenin gerisine düşmektedir. Çünkü soğuk kütle soğuk cephenin gerisindedir. İtalya'nın güneyindeki Sicilya adasıyla Trablus arasında uzanan soğuk cephe, 850 hPa haritasında izotermilere paralel olarak en fazla izoterm gradyanının (sıkışmasının) bulunduğu bölgede bulunmaktadır. İtalya'nın güneyinde Baroklinik Alçak Merkez'in sol tarafında Tunus üzerinde soğuk izoterm çekirdeği ve izoterm trofu bulunmaktadır.



Şekil 6: 23 Şubat 2015 12:00 UTC 850 hPa, Kaynak:Metcap

3.3.500 hPa Yüksek Seviye Kartı

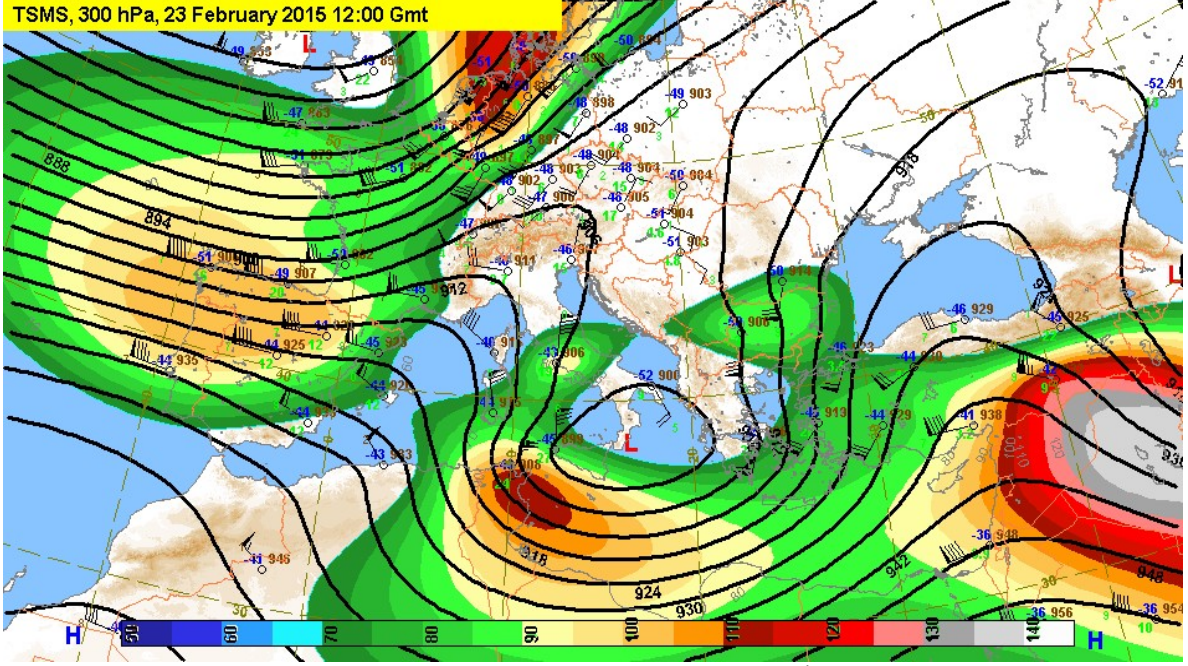
İtalya'nın güneyindeki Sicilya adası üzerinde görülen (Şekil 7) alçak merkezde (L) oluşan ve merkezden itibaren cep veya oluk gibi içten dışa doğru artış gösteren kontura sahip modele trof denilmektedir. Troflar rüzgar akışlarına doğru iç bükey kesik kesik çizgi ile belirtilmektedir. Her trofta mutlaka rüzgar şiftinin olması gerekmektedir. Sicilya adasının sol tarafında (trof gerisinde) izoterm trofu (soğuk hava) görünmektedir. Bu trofların önünde güney-batılı, arkalarında kuzey-batılı, tam üzerlerinde ise batılı (270 derece) rüzgar akışları görülmektedir. Bu trofların kaybolmamaları için soğuk havayla beslenmeleri gerekmektedir. Trof gerisinde kuzey ve kuzey-batılı rüzgar akışları bulunduğu çökme (sübsidans) ve konverjans alanlarıdır. Çöken hava soğuk cephe gerisinde basıncın artmasını sağlar. Aşağı doğru çöküşten dolayı dikine faaliyet olmadığından trof gerisinde faaliyet yoktur. Trof önünde atmosferik dikey hareketler (güney-batılı rüzgarlar) vardır. Bu suretle etkili ve sürekli yağışlar meydana gelmiştir. Şekil 5 de yayvan (U) trof görünmektedir. Bu trof'da rüzgar şifti azdır ve geniş bir alana yayılmıştır. Çeşme için yer kartında okunan sıcaklık 15 °C iken 500 hPa seviyesinde sıcaklık -18 °C dir. Bu sıcaklık farkı 33 °C olup kararsız atmosferik şartları belirtmektedir.



Şekil 7: 23 Şubat 2015 12:00 UTC 500 hPa Haritası, Kaynak:Metcap

3.4.300 hPa Yüksek Seviye Kartı

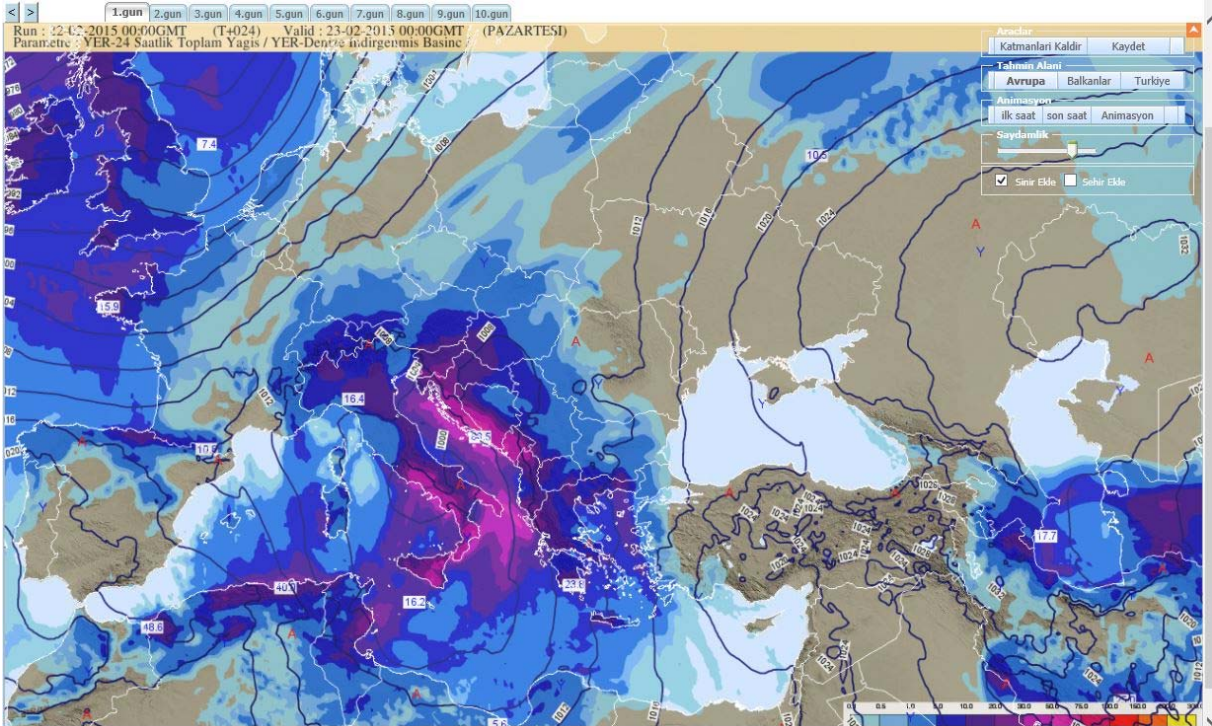
İtalya'nın güneyindeki Sicilya adası üzerinde alçak merkez (L) görülmektedir. Şekil 8'de Jet akımları alçak merkezin hemen altındaki jet çekirdeğinde 9120 jeopotansiyel metrede Tunus üzerinde 110-120 knot hıza sahip kuzey-batılı rüzgarlar iken güney-batılı rüzgarlar olarak, Çeşme üzerinde 70-80 knot hızla devam etmektedir. Jet akımları sadece yüksek rüzgar hızlarıyla değil aynı zamanda düşey ve yatay rüzgar shearlarıyla de karakterize edilirler.



Şekil 8: 300 hPa Yüksek Seviye Haritasında 23 Şubat 2015 12:00 UTC'de İtalya'nın güneyindeki Sicilya adası üzerinde Baroklinik Alçak Merkez.

4.ECMWF OPERASYONEL ANALİZ ve TAHMİN SİSTEMİ GÖRÜNTÜSÜ

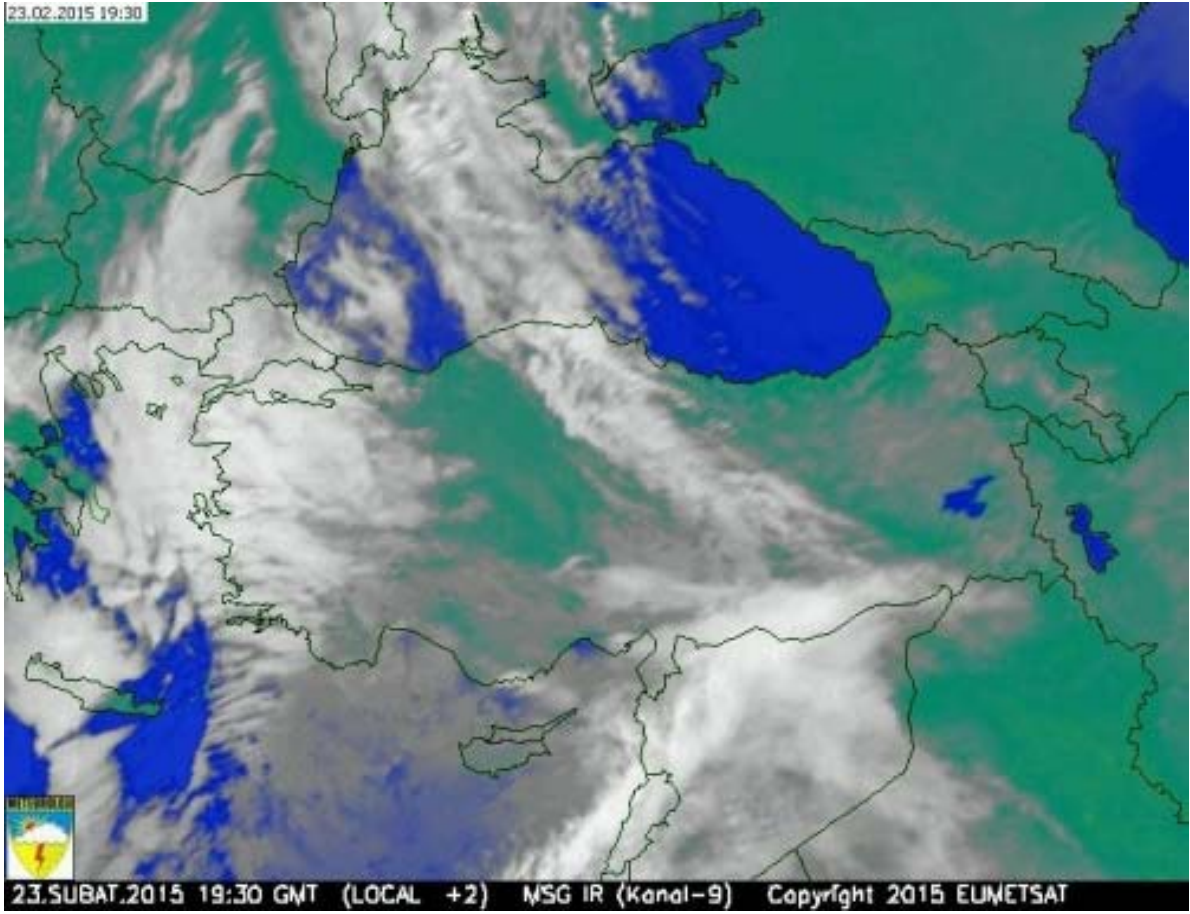
23 Şubat 2015 tarihinde Çeşme'de meydana gelen taşkın öncesinde SHT web sayfasında yayınlanan 22 Şubat 2015 00:00 UTC T+024 ECMWF Operasyonel Analiz ve Tahmin Sistemi ürünü cephe sisteminin gelişimi hakkında bilgiler içermektedir (Şekil 9). Bu ürün, ECMWF-Integrated Forecast System küresel modelini kullanarak 16 km çözünürlükte ve 91 seviye olarak günde 2 kez yani 00:00 UTC ve 12:00 UTC'de günlük tahmin yapmak üzere çalıştırılmaktadır. 22 Şubat 2015 00:00UTC'dan itibaren 24 saatte 70 mm yağış olacağını tahmin etmiştir.



Şekil 9: 22 Şubat 2015 00:00 UTC T+024 ECMWF Operasyonel Analiz ve Tahmin Sistemi ürünü

5.UYDU VERİ ANALİZİ

Uydu görüntüsü analiz edilirken esasen cephe şekli ile resimdeki bulutluluğun benzerlikleri aranır. Genelde bulutluluk soğuk ve sıcak cephe hattı üzerinde uzanır. Oklüzyon cephesi de bulutluluğun içinde analiz edilir. Kümülüform tipi soğuk cephe bulutları ve daha kesif ve parçalar halindeki stratiform tipi sıcak cephe bulutları ve siklon gözü görülmektedir. [6] Infrared görüntüler radyasyon yayan yüzeylerin sıcaklığını göstermektedir. Şekil 10’da termal IR dalga boylarında (10-12 mikron) yer ve atmosferin emisyonlarından elde edilen görüntü bulunmaktadır. Bulut tepesi sıcaklığının yükseklikle düşmesi nedeniyle IR görüntüler farklı seviyedeki bulutlar arasındaki kontrastı göstermektedir. IR görüntüde bulutların tepeleri çok yüksek ve çok soğuk olduğundan daha beyaz görünmektedirler.



Şekil 10: 23 Şubat 2015 19:30 UTC de EUMETSAT MSG IR (Kanal 9) görüntüsü

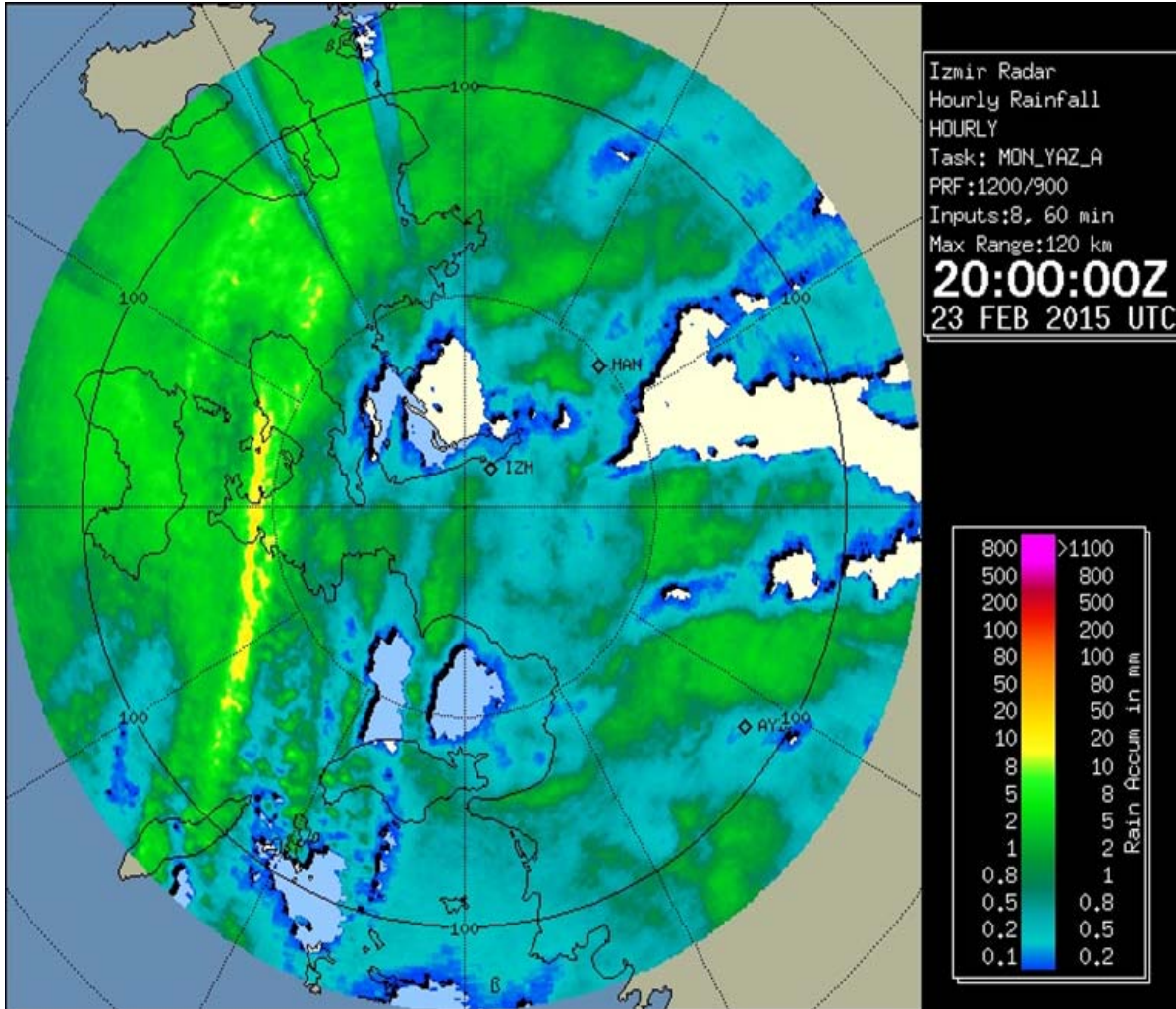
6.RADAR VERİ ANALİZİ

Meteoroloji radarları, yer gözlem sistemleri gibi yağış miktarını doğrudan ölçen sistemler değildir. Radarlar atmosfere gönderdikleri elektromanyetik dalganın hidro-meteorlara çarpması neticesinde geri yansıyan elektromanyetik dalga (eko) şiddetini algılar. Geri yansıyan eko şiddeti yağış parçacıklarının büyüklüğü, yoğunluğu ve dağılımına bağlıdır. Sonuçta yağış miktarı (R) ve eko şiddeti (Z) arasındaki matematiksel ilişkiden (Z-R ilişkisi) olası yağış miktarı hesaplanır.[7]

Çeşme taşkınının meydana geldiği gündeki en yüksek yağış intensitesi 23 Şubat 2015 19:00 UTC ile 20:00 UTC arasında (Şekil 3) gerçekleştiğinden bu saatlerde elde edilen IZMIR radar

ürünleri incelenmiştir. Şekil 11’de IZMİR radar MAX 20:00 UTC’de saatlik toplam yağış (Rain Accumulation in mm) 50 mm civarında gözükmektedir.

Şekil 11’de çok ilginç bir şekilde Squall hatları da görülmektedir. Aslında squall hattı özellik olarak soğuk cephe özelliklerine benzerler; ancak soğuk cepheyle bir bağlantısı yoktur. Squall hattı aktif ve dar oraj (thunderstorm, Kümülonimbus) bandıdır. Squall hatları, kümülonimbus ve iyi gelişmiş kümülüs bulutlarının yarattığı gök gürültüsü, şimşek, hamleli yer rüzgarı, türbülans, kuvvetli yağmur sağanağı, kuvvetli dikey hareket ile karakterize edilirler. Squall hatları, ilerleyen soğuk hava parselinin önündeki sıcak havayla yer değiştirdiği kesimlerde, yani süreksizlik alanlarında görülmektedir. Rüzgar yönü, squall hatlarının önünde güneyli (güneyden esen) iken hattın hemen üzerinde batılı, hattın gerisinde ise kuzeyli esecek şekilde keskince yön değiştirmektedir.



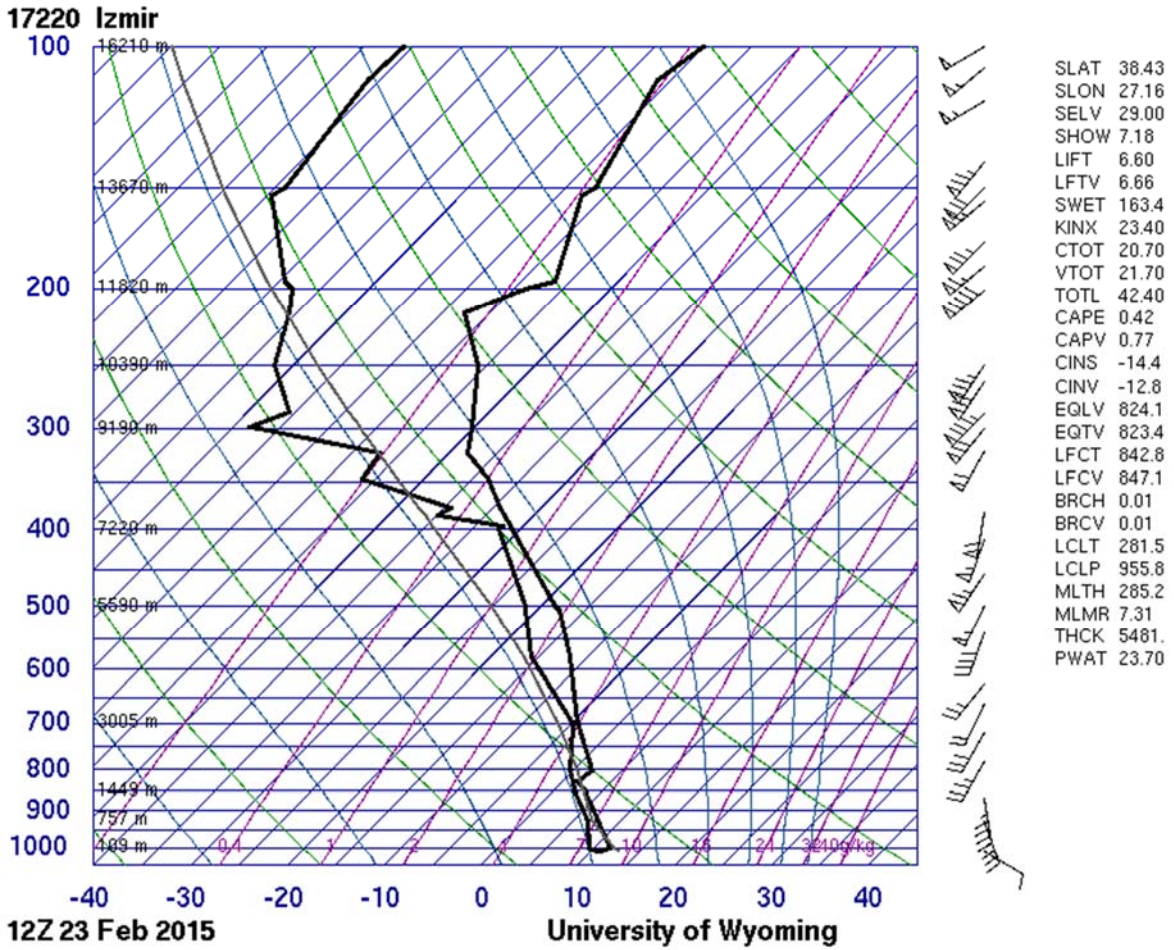
Şekil 11: IZMİR Radar Hourly Rainfall 23 Şubat 2015 20:00 UTC
Saatlik Toplam Yağış Miktarını Gösteren Görüntü, Kaynak: MGM Radar

7.SOUNDING ANALİZ

Bu bölümde Temp analizinde Wyoming Üniversitesinin web sayfasından alınan İzmir (istno:17220) istasyonunun 23 Şubat 2015, 12Z tarihine ait Skew-T Log-P diagramı analiz edilmiştir. SkewT-LogP diagramı, Radyosonde istasyonunda atmosferin dikey profilinde sıcaklık, işba sıcaklığı, rüzgar hız ve yönü gibi parametreler işlendikten sonra atmosferin karakteristik yapısını tespit etmek için kullanılmaktadır [9]. İzmir için gözlemlenen radiosonde değerlerine göre yerden 10 kilometreye kadar uzanan troposfer tabakasının alt

kısımlarında jeopotansiyel olarak 7220 metrede veya yer seviyesinden 400 hPa'lık basınca ulaşınca kadar sıcaklığın (sıcaklık ve işba sıcaklığı) atmosfer sütunu boyunca durumunu ifade eden çizgiler ile yoğunlaşma noktalarının dikey atmosfer boyunca durumunu ifade eden çizgiler birbirlerine çok yakınlaşmışlardır. Bunun anlamı yerden itibaren 400 hPa'ya kadar çok nemli hava olduğunu göstermektedir. Yer seviyesinden jeopotansiyel olarak 400 hPa'lık basınca kadar rüzgarların güneyli olduğu görülmektedir.

Çeşme'de ani taşkına yol açan olayda atmosferin dikey profilindeki kararsızlıkları belirlemek amacıyla Şekil 12 nin sağ tarafında da görülen kararsızlık indeksleri incelenmiştir. 23 Şubat 2015 12 Z itibarıyla İzmir 17220 Radyosonde istasyonu için Skew-T Log P diyagramında indeks değerlerine göre Lifted indeks değeri 6.6 dır. Bu değer kararlı havayı temsil etmektedir. Eğer Lifted indeks -2 ile 1 arasında ise kararsızlık durumudur ve oraj ihtimali çok fazladır. K indeks değeri 23.4 olup oraj ihtimali yok demektir. Eğer K indeks değeri 44 -52 arasında ise oraj başlar ve şiddetli orajla birlikte tornado mevcuttur. SWEAT indeks değeri 163.4 dür. Eğer SWEAT indeks değeri 300 ile 400 arasında ise kuvvetli oraj ve hatta tornado potansiyeli var demektir. CINS indeksi (Konvektiviteyi Engelleyen Enerji) -14.4 dür. Bunun anlamı zayıf düşey hareket veya bulut oluşumu yok demektir. Showalter Stability Indeks değeri 7.18 dir. Bunun anlamı oraj ihtimali yoktur. Eğer Showalter Stability Indeks değeri 1 ile 3 arasında olursa oraj başlayabilir. -2 ile -6 arasındaki değerler kararsızlık ve oraj potansiyelinin yüksek olduğuna işaret etmektedir.

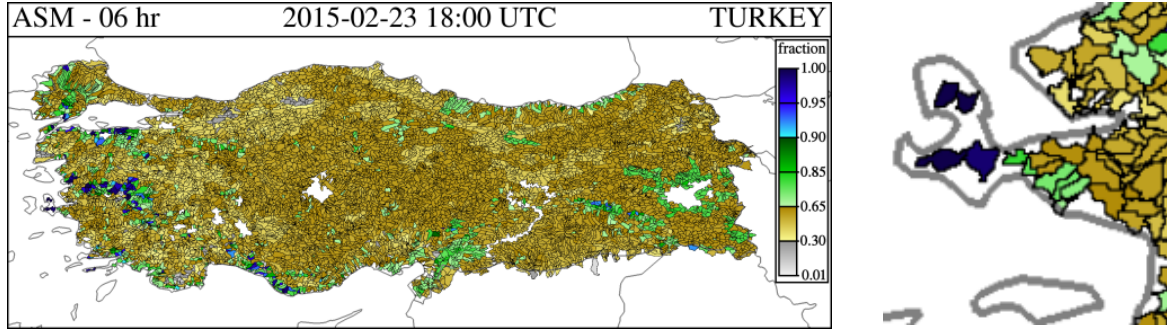


Şekil 12: İzmir 17220 Radyosonde İstasyonu için Skew-T Log P diagramı. Kaynak: University of Wyoming.

8.FFGS ÜRÜN ANALİZLERİ

8.1.Toprak Nemi Haritası (Average Soil Moisture)

Sacramento Soil Moisture Accounting (SAC-SMA) modeli her 6 saatte bir model koşma zamanlarında (00, 06, 12 ve 18 UTC) güncellenmektedir. Bu model her bir alt havza için yüzey akışını hesaplar. SAC-SMA modeline yağış girdisi (input) olarak Birleştirilmiş Ortalama Alansal Yağış (Merged MAP) ürünü değerleri girmektedir. Eğer bir bölgede toprak nemi zaman içinde artıyorsa ve doyma noktasına yaklaşıyorsa bu bölgenin bir sonraki yağışta sel veya su baskınına maruz kalma ihtimali yüksek demektir. Şekil 13-b’de Çeşme’de 23 Şubat 2015 18:00 UTC itibarıyla son 6 saatte toprak nemi açısından doymun olduğu gözükmektedir. Yağış 18:00’den sonra devam ettiği için (Şekil 3) toprağa yağın yağmurun fazlası yüzey akışına geçeceğinden muhtemel ani taşkınlara neden olmuştur. Yüzey akışı hesaplanırken bitki örtüsü, toprak tipi ve tekstürü, topoğrafya ve jeomorfolojik parametreler modele girdi olarak verilmiştir. Ani taşkınlar için toprağın üst tabakasının doymuş olması önemlidir. Toprak nem haritası (ASM), toprağın üst katmanındaki (20-30 cm) toprağın nem oranını vermektedir.



Şekil 13: Toprak Nemi Haritası,ASM-6hr,Tüm alt havzalar için(a) ve çalışma alanı büyütülmüş(b)

8.2.Ani Taşkın Kılavuz Değeri (FFG)

FFG değeri, belirli bir süre içinde (1, 3, 6 saat) herhangi bir alt havza çıkışında drenaj kanalının banket seviyesine kadar dolması için gerekli aktüel yağış miktarıdır (mm). Toprağı doymuş bir alt havzada yağış devam etme eğiliminde ise yağın yağmur suyu yüzey akışına geçeceğinden, FFG değerine ulaşması da yağmurun şiddetine bağlı olarak o kadar hızlı olacaktır.

$$FFG = TR + PL$$

$$TR = (Q_p * A) / q$$

TR: Yüzey akış eşik değeridir. Alt havza çıkışlarında drenaj kanallarının banket seviyesine kadar dolması için gereken etkili yağış miktarıdır (mm).

PL: Yağış kayıplarıdır (mm). Bu kayıplar evapotranspirasyon, infiltrasyon, perkolasyon ve yana akışları kapsamaktadır.

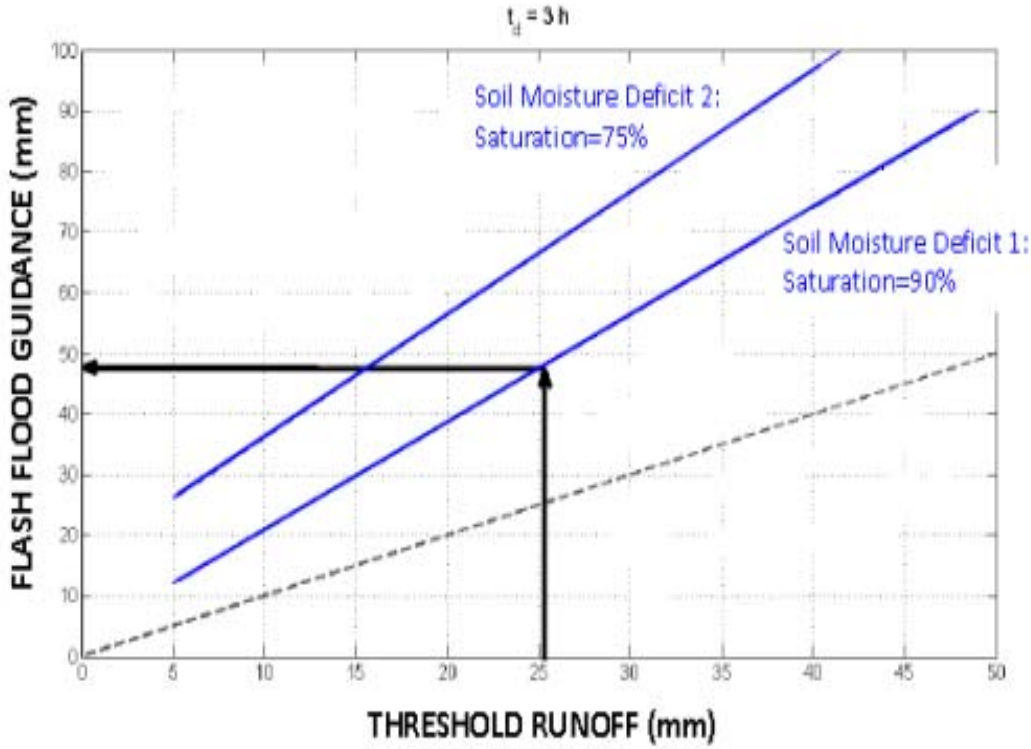
Q_p: Kanalda taşkın meydana geleceği maksimum debisi (m³/sn). Bu değer kanal geometrisi ve Manning denkleminde hesaplanır [10].

A: Alt havza alanı (m²)

q: Belirli bir süre içinde (1, 3, 6 saat) alt havzanın jeomorfolojik birim hidrograf pik değeri

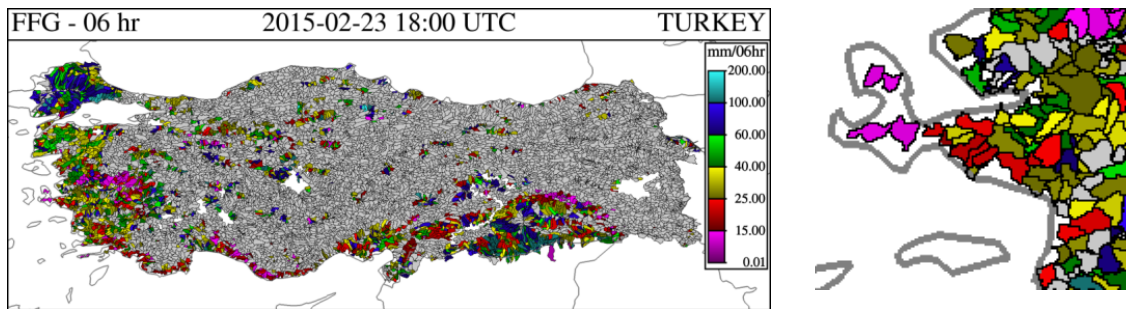
FFG değeri FFG modelinden elde edilmektedir. FFG modeline iki veri girmektedir. Bunlardan birincisi yüzey akış eşik değeri ve diğeri ise toprak nemi modeli çıktılarıdır. Bunlardan yüzey akış eşik değerleri sadece bir kez hesaplanmaktadır. Toprak nemi ise her altı saatte bir model koşullurken hesaplanmaktadır.

Şekil 14’de havza çıkışında havzada taşkın meydana getirecek (bankfull flow) miktardaki yüzey akış eşik değerinden (TR), SAC-SMA modelinde hesaplanan toprak nem açığına göre aynı süre içinde (1,3,6 saatlik toplam) ne kadarlık bir yağışa tekabül ettiği (FFG) bulunmaktadır.



Şekil 14: Yüzey Akış Eşik değeri 'nden(TR) FFG'ye transformasyon.

Şekil 13-b’de Çeşme’de 23 Şubat 2015 18:00 UTC itibarıyla son 6 saatteki toprak nemine doymuş gözükmekteydi, Şekil 15-b’de aynı yerde FFG-06 hr haritasında mor renkli kodlanmıştır. Bunun anlamı mor renkte kodlanan bu alt havzaların çıkışında drenaj kanalının banket seviyesine kadar dolması için gerekli olan aktüel yağış 0.01 mm’dir; yani artık dere dolduğundan yağışın devam etmesi taşkına neden olabilir.



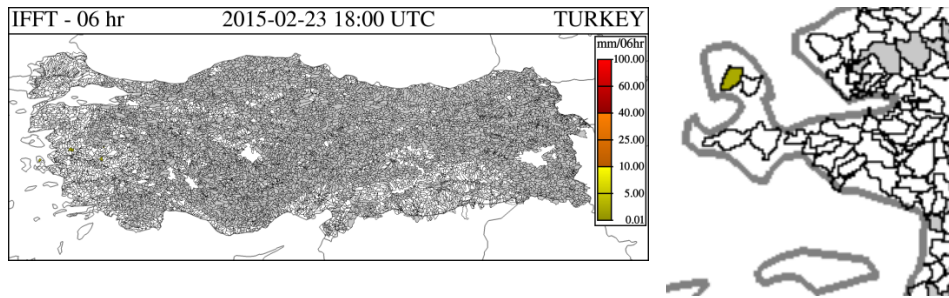
Şekil 15: FFG-06hr Haritası, Tüm alt havzalar için (a) ve çalışma alanı büyütülmüş(b)

8.3. Ani Taşkın Erken Uyarısı Veren Tehlike Haritaları

Ani taşkın tehlikesi (FFT) tanım olarak, su banket seviyesini aştıktan sonra taşkına neden olan yağış miktarıdır (mm). BSMEFFG arayüzü konsolunda 3 farklı tehlike haritası vardır. Bunlar olası (imminent) taşkın tehlike haritası (IFFT), mevcut (persistence) taşkın tehlike haritası (PFFT) ve tahmini (forecast) taşkın tehlike haritasıdır (FFFT). Bu ürünlerin renklendirme skalası sarı, turuncu ve kırmızıdır. Sarı renk ani taşkın olma ihtimalinin düşük; turuncu renk orta; kırmızı renk ise yüksek olduğunu göstermektedir. Taşkın erken uyarısı vermeden önce FMAP ile 1,3,6 ve 24 saatlik haritaları dikkatle incelenmelidir.

8.3.1. Olası Taşkın Tehlike Haritası (IFFT)

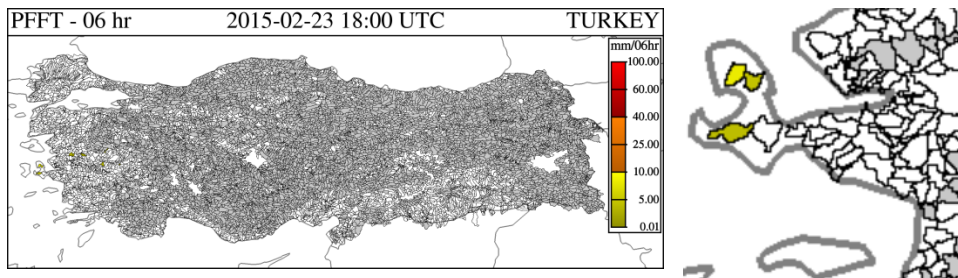
23 Şubat 2015 tarihinde 18:00 UTC'deki IFFT 06 hr, her bir alt havza için 18:00UTC'deki 6 saatlik Birleştirilmiş Ortalama Alansal Yağış (Merged MAP 06 hr) miktarı ile 12:00UTC'deki 6 saatlik FFG-06hr arasındaki farktır. Altı saatlik IFFT ürünleri 00,06,12 ve 18 UTC saatlerinde hesaplanarak güncellenmektedir. [11] IFFT alt havzalarda ani taşkın olma ihtimalinin ne kadar yüksek olduğunu göstermektedir. Şekil 16-b'de Çeşme'de IFFT-06 hr haritasında sarı renkli (10 mm/6saat civarında) kodlanmıştır.



Şekil 16: IFFT-06hr Haritası, Tüm alt havzalar için (a) ve çalışma alanı büyütülmüş(b)

8.3.2. Mevcut Taşkın Tehlike Haritası (PFFT)

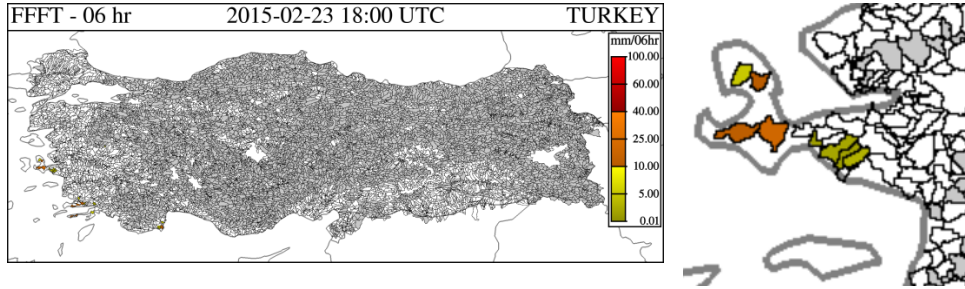
23 Şubat 2015 18:00 UTC tarihinde PFFT 06 hr, her bir alt havza için 18:00UTC'deki 6 saatlik Birleştirilmiş Ortalama Alansal Yağış (Merged MAP 06 hr) miktarı ile 18:00UTC'deki 6 saatlik FFG-06hr arasındaki farktır. Altı saatlik PFFT ürünleri 00,06,12 ve 18 UTC saatlerinde hesaplanarak güncellenmektedir. [11] Şekil 17-b'de Çeşme'de PFFT-06 hr haritasında sarı renkli (10 mm/6saat civarında) kodlanmıştır.



Şekil 17: PFFT-06hr Haritası, Türkiye'deki tüm alt havzalar için (a) ve büyütülmüş(b)

8.3.3.Tahmini Taşkın Tehlike Haritası (FFFT)

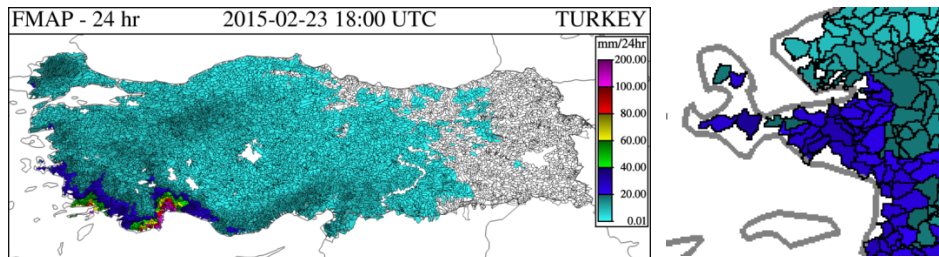
23 Şubat 2015 18:00 UTC tarihinde FFFT 06 hr, her bir alt havza için 18:00UTC'deki 6 saatlik Birleştirilmiş Ortalama Alansal Yağış (Merged MAP 06 hr) miktarı ile 18:00UTC'deki 6 saatlik FMAP-06hr) arasındaki farktır. Altı saatlik FFFT ürünleri 00,06,12 ve 18 UTC saatlerinde hesaplanarak güncellenmektedir. [11] Şekil 18-b'de Çeşme'de FFFT-06 hr haritasında turuncu (40 mm/6saat civarında) ve kırmızı renkli (60 mm/6saat civarında) kodlanmıştır.



Şekil 18: FFFT-06hr Haritası, Türkiye'deki tüm alt havzalar için (a) ve çalışma alanı büyütülmüş(b)

8.4.Tahmini Alansal Yağış Değeri (FMAP)

FMAP ürünü, ALADIN-ALARO nümerik hava tahmin modeli kullanılarak her bir alt havza için 1,3,6 ve 24 saatlik tahmini alansal ortalama yağışa çevrilerek elde edildiğinden havza bazında tahmini gelebilecek yağışı göstermektedir. Yağışın tahmini olarak ne kadar uzun sürebileceği ve büyüklüğü hakkında bilgiler vermektedir.



Şekil 19: FMAP-24hr Haritası, Türkiye'deki tüm alt havzalar için (a) ve çalışma alanı büyütülmüş(b)

Şekil 19-b'de Çeşme'de FMAP-24 hr haritasında 23 Şubat 2015 18:00UTC'den itibaren koyu mavi renkte (40 mm/24 saatlik) tahmini yağışlar gözükmemektedir. Bu sonuçlar ALADIN-Alaro nümerik hava tahmin modeli verilerine göre yağışın devam edeceği anlamına gelmektedir.

4.SONUÇLAR

- 23 Şubat 2015 tarihinde Çeşme’de meydana gelen taşkın öncesinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü erken uyarı vermiştir (Şekil 20).



T.C.
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI
METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ



Tarih : 23.02.2015 Saat : 18:00 Uyarı No : 2017 Uyarı Kodu: Kısa Süreli Acil

Uyarı Yapan Merkez	İzmir Bölge Tahmin ve Erken Uyarı Merkezi
Genel Başlık	İzmir'in Batı İlçelerinde Aşırı Yağış!
Beklenen Hadise	Gökgürültülü Sağanak Yağış
Hadisenin Şiddeti	Aşırı Yağış
Beklendiği Yer	İzmir Meteoroloji Radarından alınan son görüntülere göre; halihazırda devam eden yağışın etkisini arttırarak İzmir'in Çeşme, Karaburun, ve Urla ilçelerinde aşırı yağış (100 mm ve üzeri) şeklinde olması beklendiğinden yaşanabilecek olumsuzluklara karşı ilgililerin ve vatandaşların dikkatli ve tedbirli olmaları gerekmektedir.
Geçerlilik Periyodu	23.02.2015 20:00-24:00
Oluşması Muhtemel Riskler	Ani Sel - Su Baskını - Yıldırım

Yağış Şiddeti Sınıflandırması

Hafif Yağış	1 - 5 mm
Orta Kuvvette Yağış	6 - 20 mm
Kuvvetli Yağış	21 - 50 mm
Çok Kuvvetli Yağış	51 - 75 mm
Şiddetli Yağış	76 - 100 mm
Aşırı yağış	100 mm üzeri

Not: 12 Saatlik periyotta miktara bağlı değerlendirme yapılmış ve bölgeler arası topografik farklılıklar dikkate alınmadan sınıflandırılmıştır.

Şekil 20: Çeşme ve Karaburun için MGM tarafından 23 Şubat 2015 tarihinde yerel saat ile 18:00 da verilen sel taşkın uyarısı.

- 23 Şubat 2013 tarihinde Çeşme’de meydana gelen ani taşkın olayı ile ilgili olarak olay öncesinde MGM’de mevcut olanaklarla buna neden olan meteorolojik şartlar (yağış intensitesi, sinoptik analizler, uydu, radar, sounding analizlerine göre) incelenmiştir. 23 Şubat 2015 12:00 UTC tarihinde Çeşme’de yaşanan ani taşkın olayına İtalya’nın güneyindeki Sicilya adası üzerinde soğuk nüveli (çekirdekli) alçak basınç merkeziyle ilişkili sıcak cephe yol açmıştır. Bu çalışmada ani taşkın olayına meydana gelmesiyle ilgili bilgiler, FFGS sisteminden elde edilen ürünlerle (ASM ile toprağın neme doygunluk derecesi, FFG, tehlike haritaları ve FMAP ile yağışın güçlenme veya azalma durumlarını da hesaba katarak) birlikte yorumlanmıştır. Bu incelemelerin sonunda kullanılan veriler ve modellerden kaynaklanan belirsizlik (uncertainty) durumları da değerlendirilerek taşkın uyarısı verilmiştir.
- Türkiye’de cephesel yağış sistemleri ve/veya konvektif yağış şeklinde meydana gelen şiddetli yağışlar sonucu oluşan sel ve taşkınlarda ana unsur yağış olmakla beraber aynı zamanda jeomorfolojik yapı, çarpık şehirleşme, dere üzerinde sonradan yapılan yollar için derenin daraltılması, dere ıslahı gibi uygulamaların önemli rol oynadığı unutulmamalıdır. Gelecekte bu tür sorunlar halledilmeden ani taşkınları sadece uydu, radar, numeric model ve benzeri gelişmiş teknolojik ürünlerle tahmin etmek kolay olmayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Seyfried, M. S., and B. P. Wilcox, Scale and the Nature of Spatial Variability: Field Examples Having Implications for Hydrologic Modeling, *Water Resour. Res.*, 31(1), 173–184, doi:10.1029/94WR02025, 1995.
- [2] **American Meteorological Society (AMS)**, Glickman, T.S (Ed.), *Glossary of Meteorology.*, 2nd Ed. American Meteorological Society, Boston, 855 pp., 2000a.
- [3] **American Meteorological Society (AMS)**, Prediction and mitigation of flash floods (adopted by AMS Council on 14 Feb2000). *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 81, 1338–1340, 2000b.
- [4] **Georgakakos Konstantine P.**, Realtime Flash Flood Predictions, *Journal of Geophysical Research*, 1987.
- [5] **Georgakakos Konstantine P.**, Hydrometeorological Models for Realtime Rainfall and Flow Forecasting, *Water Resources Publications*, 2002.
- [6] **Mustafa Çöleri, Mehmet Yayvan, Aziz Deniz, Ümit Turgut, Ahmet Eryılmaz, Cüneyt Geçer, Alper Guser**, Hava Analiz ve Tahmin Tekniği, MGM Yayını, Yayın No:2006-1, 2007.
- [7] **Cüneyt Geçer, İbrahim Sönmez, Sema Arıman, Kurtuluş Öztürk, Alper Çubuk**, Samsun Meteoroloji Radarının Havza Su Yönetiminde Kullanımı: 3 Temmuz 2012 Örnek Olay İncelemesi, Cilt 2, sayfa:885-894, VII. Atmospheric Science Symposium, ATMOS 2015.
- [8] **C.Şahin, S. Sipahioğlu.**, Doğal Afetler ve Türkiye, Ankara, 2002.
- [9] <http://www.theweatherprediction.com/thermo/interpret/>, The Weather Prediction, Interpretation of Skew-T indices, 2015.
- [10] **T.M.Carpenter, J.A.Sperflage, K.P.Georgekakos, T.Sweeney, D.L.Fread**, National Threshold Estimation Utilizing GIS in Support of Operational Flash Flood Warning Systems, *Journal of Hydrology*, 1999.
- [11] **BSMEFFG Real-Time Product Console v.1.0**, HRC, Release Date: June 2013: BSMEFFG Real-Time Product Console Operational Output Product Descriptions. https://212.175.180.79/CONSOLE/page_reference_product_definitions.php