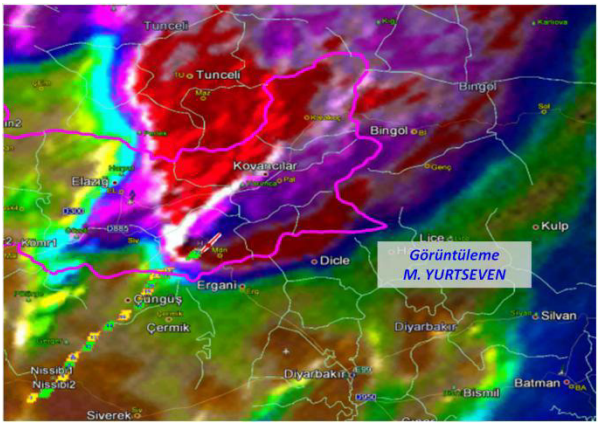
T.C.

ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI

METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

"GELİŞMİŞ-V" YAPILI ORAJ FIRTINA MODELİ OLARAK ELAZIĞ-MADEN HORTUMU

(ELAZIĞ-MADEN TORNADO
AS "ENHANCED-V" STRUCTURED THUNDERSTORM MODEL)



MUSTAFA YURTSEVEN

Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Araştırma Dairesi Başkanlığı
Atmosfer Modelleri Şube Müdürlüğü

Şubat 2013

Ankara

Çevre ve Orman Bakanlığı
Meteoroloji Genel Müdürlüğü

Yayın Kurulu Karar Tarihi : 01.11.2013
Yayın Kurulu Karar No : 40

HER TÜRLÜ YAYIN ve TELİF HAKLARI MAHFUZ OLUP, METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜNE AİTTİR.

ÖNSÖZ

Hortum hadisesi, en yaygın olarak Amerika Birleşik Devletlerinde görülmekle birlikte, Finlandiya, İngiltere, Çin, Rusya, Avusturya, İsviçre, Rusya, Polonya, Romanya ve Avustralya gibi çok farklı fiziki ve coğrafik konum etkilerine açık, deniz ve kara etkilerinin çok baskın olduğu ülkelerde de görülebilmektedir.

Türkiye'de ise Antalya'nın içinde bulunduğu Akdeniz bölgesinde daha sık olmak üzere; Ege, Marmara ve Karadeniz kıyıları ile daha nadir olarak da iç kesimlerimizde görülebilmektedir. Ankara, Konya ve Elazığ'da ölüme sebep olmak üzere, görülme sıklığı farklı olsa bile; Kars, Ardahan, Şanlıurfa, Kütahya, Manisa v.b. karasal etkilerin büyük olduğu yerleşim yerlerinde oluşabilmektedir.

Ölüme sebep olması bakımından Maden’den önce görülen son hortum hadisesi; 2004 yılında Ankara'nın Çubuk ilçesine bağlı Sünlü köyünde (Esenboğa havaalanının 5 km kuzeyi), olay yerinde üç, yaralı bir kişinin de sonradan ölmesiyle, dört kişinin hayatını kaybetmesine sebep olan ve köyde çok büyük hasarlar oluşturan hortumdur.

9 Nisan 2012 tarihinde, Elazığ'ın Maden ilçesinin 6 km kuzeyinde bulunan Diyarbakır-Elazığ karayolundaki yol yapım şantiyesi ile ilçeye bağlı Dutpınar ve Kaşlıca köylerini vuran hortum, şantiyedeki dört işçinin olay yerinde, ağır yaralı iki kişinin de sonra ölmesiyle, altı kişinin hayatını kaybetmesine, altı kişinin yaralanmasına, Dutpınar köyünde 32, Kaşlıca köyünde 25 evin çatısında hasara yol açmıştır.

Hortum, şantiyedeki çadır ve konteynırları kaldırıp karşı tepeye vurarak tamamen parçalamış ve şantiye civarında bir aracı dereye uçurup, bir traktör ve bir otomobilde de büyük hasara yol açmıştır. Ayrıca şantiye civarında ve şantiyenin

3 km güneybatısındaki Dutpınar köyü ile 6 km kuzeydoğusundaki Kaşlıca köylerinde duvar ve ağaçlarda birçok hasara sebep olmuştur.

Hortum hadisesi, yapısı gereği çok farklı alanlarda ve birkaç kilometre ölçeğinde oluştuğundan, insan kaynaklı gözlem yapılarak tespit edilmesi son derece zor olup, bu amaçla, radar verileri kullanılmaktadır. Türkiye'de topoğrafya değişkenliğinin çok fazla olması, radar kurulacak bölgede en fazla radar kapsama alanının aranması gibi sebeplerle, meteorolojik amaçlı kurulacak radarlar Türkiye'de, yüksek rakımlı yerlere kurulmak durumunda kalmıştır.

Bu durum, özellikle yere yakın seviyede gelişen, kuvvetli konveksiyona ait meteorolojik verilerin, radarın ilk tarama seviyesinin altında kalmasına, dolayısıyla kuvvetli yağışlarla ilgili olarak, radarın algıladığı yağış miktar ürünlerinde taranmayan alt seviyelerdeki yağış miktar bilgilerinin dikkate alınamamasına, hortum gibi içinde mezosiklonik dönüş içeren kuvvetli konveksiyonlarda ise, yere yakın seviyelerin taranamamasından dolayı (radarın dağ, tepe gibi yüksek yerlerde bulunması) alt seviyelerdeki mezosiklonik dönüş işaretlerinin alınamamasına sebep olmaktadır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğünde, Ankara'nın Çubuk ilçesine bağlı Sünlü köyünde 19 Haziran 2004 tarihinde gerçekleşen hortum hadisesi, ilk defa Doppler radar verileri ile ayrıntılı olarak incelenmiş ve "Uçan Kartal-Flying Eagle) tipi konfigürasyon yapısıyla bağlantı kurulmuştur (Süper Hücreli Oraj Sistematiğinde Sünlü Mezosiklonu-Yurtseven, 2008).

9 Nisan 2012 tarihinde Elazığ'ın Maden ilçesinin 6 km kuzeybatısında oluşan hortum hadisesi ise; bölgede radar olmaması sebebiyle, kararsızlık enerjisi bağlamında atmosfer modelleri kullanılarak, hortum saatinden 4-5 saat öncesinden itibaren uydu verileri kullanılarak, fakat olayın arka plan, dinamik yapı ve sinoptik ortam incelemeleri, şimşek verileri, klasik konvansiyonel meteorolojik verilerin yanında, dikey radyosonde gözlemlerinden elde edilen ve rüzgar shear yapısını

anlamaya yardımcı olan hodoğraf diyagramları, 4 km çözünürlükte WRF-3DVar asimilasyon modeli, model dikey kesit grafikleri, uydudan elde edilen yer değişimi (paralaks) hata düzeltmeli, aşırı yükselen bulut tepe sıcaklık verileri ve oluşan hasar fotoğrafları taranarak, yerde oluşmuş muhtemel rüzgar hızı tahmini, hasar eksenli muhtemel hortum etki bölgesi güzergahı çıkartmak gibi, çok detaylı ve kompleks çalışmalar nedeniyle, dokuz ay gibi uzun soluklu bir çalışma sonucu incelenmiştir.

Ankara'nın Esenboğa havaalanı yakınında Sünlü köyü ile Elazığ'ın Maden ilçesinin kuzeyinde gerçekleşen, bu tür hortum hadiseleri, aslında Türkiye'nin bulunduğu konumun hortum gibi hadiselerden çok uzak olmadığını gösteren önemli olaylardır. Türkiye'de hortum hadiselerinin can kaybından daha çok, tarımda zararlara yol açması sevindirici iken, atmosfer olayları sınır tanımadığından, hortumun hareket ettiği yönde köy, kasaba veya bir ilçeyi vurmayacağı anlamına da gelmez. Hortum gibi hadiseler, kasaba veya ilçe gibi büyük yerleşim merkezleri ya da havaalanları gibi büyük ticari işletmelerin bulunduğu yerleri vurması halinde, olayın vehameti çok daha büyük olacaktır.

Mustafa YURTSEVEN

Atmosfer Modelleri Şube Müdürlüğü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada; 4 km çözünürlükte WRF modeli ve WRF-3DVar asimilasyon sistemi model sonuçları hazırlanma sürecindeki katkıları nedeniyle, Atmosfer Modelleri Şube Müdür Vekili İsmail MERT'e, 15 dk. aralıklı operasyonel Meteosat-9 uydusu ile 5 dk. aralıklı hızlı tarama servis uydusu Meteosat-8 verilerinin hazırlanması ile uydu verileri görüntüleme programı TmetVis'i sağlayan, Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğünden Erdem ERDİ'ye, olayla ilgili arşiv otomatik gözlem verilerinin hazırlanmasında katkısı nedeniyle, Veri Kontrol ve İstatistik Şube Müdür Vekili Selami YILDIRIM'a, WRF modeli asimilasyon sistemi için yer ve yukarı atmosfer gözlem verilerinin hazırlanması sürecindeki katkılarından dolayı Mustafa SERT'e, arşiv Modis uydu görüntülerini sağlayan NASA'nın Goddard Uzay Uçuş Merkezi (Goddard Space Flight Center) LANCE-MODIS servisine, 12 km çözünürlükte WRF-NMM modelinin rüzgarla ilgili dikey kesit ürünleri için İsviçre-Basel Üniversitesine ve bu çalışma boyunca bana destek sağlayan, Araştırma Dairesi Başkanı Hayrettin BACANLI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
1. GİRİŞ	1
2. SÜPER HÜCRELİ ORAJ FIRTINALARI	1
3. SÜPER HÜCRELİ ORAJ FIRTINA YAPISI	3
3.1. Konvektifleşmeye uygun potansiyel enerji (Updraft kaynağı)	3
3.2. Yeterli Oraj Nisbi Sarmalı	4
3.3. Dikey Rüzgar Sheari	5
3.4. Arka kanat downdraft bölgesi	5
4. SÜPER HÜCRELİ ORAJ FIRTINA GÖRÜNÜMÜ	6
4.1. Kanat hattı bulutluluğu	6
4.2. Aşırı yükselen bulut tepeleri (overshooting tops)	9
4.2.1. Aşırı yükselen bulut tepelerinin yapısı	13
4.3. Süper hücreli oraj fırtınası içerisinde tipik yağış bölgeleri ve cepheler…	14
5. "GELİŞMİŞ V" ŞEKİLLİ ORAJ FIRTINALARI	16
6. "GELİŞMİŞ V" ŞEKİLLİ ORAJ FIRTINASI UYDU GÖZLEM ÖZELLİKLERİ	18
7. ESNEK RENK DERİNLEŞTİRME	20
8. ELAZIĞ-MADEN HORTUMU	24
9. HORTUM HADİSESİNİN OLUŞTUĞU ORTAM VE ÇEVRE	25
10. SİNOPTİK ORTAM	27
10.1. Yer seviyesi ve sinoptik ortam analizi	27
10.2. Kararsızlık ve rüzgar shear analizleri	32
10.3. Oraj nisbi sarmal indeksi tahmini	42
11. YUKARI SEVİYE ANALİZLERİ	46
11.1. 850 hPa seviye analizi	46
11.2. 700 hPa seviye analizi ve WRF modeli tahminleri	48
11.3. 500 hPa seviye analizi ve WRF modeli tahminleri	51
11.4. 300 hPa seviye analizi ve WRF modeli tahminleri	53
11.5. Azami rüzgar analizleri	55
11.6. Potansiyel vortisiti enverziyonu ve WRF model tahmini	56
12. TERMODİNAMİK DİYAGRAMLAR ve DİKEY RÜZGAR PROFİLİ ANALİZLERİ	59
13. WRF-NMMM MODELİ DİKEY KESİT (RÜZGAR) GRAFİKLERİ	66
14. METEOSAT-8 ve METOSAT-9 UYDU VERİLERİ	68
14.1. Yüksek çözünürlüklü görünür kanal histogram uygulaması	68
14.2. Yer değişimi (Paralax) hatası	70
14.3. Uydu görünür (visible) kanallarına histogram düzeltmesi yapmak	81
14.4. Uydudan Elde Edilen Soğuk ve Sıcak Nokta Analizleri	83
15. OTOMATİK İSTASYON VERİLERİNİN ANALİZİ	99
16. BULUT YAPISI İÇERİSİNDE DEĞİŞİK BÖLGELERE AİT SICAKLIK DEĞİŞİMİ	100
17. HASAR DEĞERLENDİRMESİ, HASARA GÖRE HORTUM ŞİDDETİ ve RÜZGAR HIZ TAHMİNİ	102
17.1. Hortumun oluşturduğu hasarlar	104
18. SONUÇLAR	113
SİMGELER VE KISALTMALAR	120
KAYNAKLAR	123

1. GİRİŞ

Oraj fırtına çeşitleri, süper hücreli oraj fırtınaları ve muhtemel oluşabilecekleri ortam ve çevre parametreleri; 19 Haziran 2004 tarihinde Ankara'nın Çubuk ilçesi Sünlü Köyü'nde meydana gelen ve biri kadın ikisi çocuk olmak üzere toplam üç kişinin olay yerinde, ağır yaralı bir kişinin sonradan olmak üzere, dört kişinin ölmesine sebep olan, F1 hortum şiddetiyle açık alanda başlayıp, F0 şiddeti ile köy içerisinde de devam eden olayla ilgili çalışma; Araştırma Daire Başkanlığınca "Süper Hücreli Oraj Fırtına Sistematiğinde Sünlü Mezosiklonu-M.Yurtseven, 2008" adlı çalışmada, radar verileri üzerinden tartışıldığından, Elazığ'ın Maden ilçesi yakınlarında meydana gelen ve altı kişinin ölümüne, yedi kişinin yaralanmasına sebep olan hortum olayının incelenmesi; bölgede radar verisinin olmaması sebebiyle, sadece sayısal tahmin model verileri, radyosonde, otomatik istasyon verileri ile ağırlıklı olarak Eumetsat'ın Hızlı Tarama Servisi Meteosat-8 uydu verileriyle, süper hücreli oraj fırtınası ve "Gelişmiş-V" yapılı oraj fırtına modeli çerçevesinde değerlendirilecektir.

Olay fotoğrafları ve köylerde yaşayan kişilerin basına verdiği mülakatlar; hortumun, Maden'in Dutpınar Köyü yakınında başlayarak, Kaşlıca köyüne kadar olan 11 km mesafede etkili olduğunu göstermekte olup, can kaybı Dutpınar köyünün ilerisinde Diyarbakır-Elazığ Karayoluna yakın bir yol yapım şantiyesinde gerçekleşmiştir.

2. SÜPER HÜCRELİ ORAJ FIRTINALARI

Süper hücreli oraj fırtınaları; hücre içerisinde **derin ve sürekli dönen,** yukarı doğru hava akımı kolonu (mezosiklon) bölgesine sahip, diğer oraj hücrelerine göre radarda "belirgin ayırt edici özellikleri olan" orajlardır (Klemp 1987, Browning 1962, Doswell ve Burgess 1993). Bu tür orajlar; ölçekleri bakımından orantısız hasar oluşturmaları ve neredeyse tüm kuvvetli hortum olaylarının da sorumluları olmaları bakımından büyük bir öneme sahiptirler. Genellikle, yerde hasar verici rüzgarlar,

büyük çaplı ya da belirgin bir birikime sahip dolu hadiseleri, zayıftan kuvvetliye doğru değişen kuvvette uzun süre devam edebilen hortumlar veya kısa süreli yağışa rağmen, sele yol açacak tarzda kuvvetli yağışlara sebep olurlar (Yurtseven, 2008).

Süper hücreli oraj fırtına tanımı içerisinde geçen “derin” kelimesi; oraj hücresi içinde mezosiklon kor kriterine karşılık gelen ve oraj hücresinin yaklaşık üçte biri kadar yükseklik, “süreklilik” ibaresi ise, hücre içerisinde yukarı doğru yükselen hava akımı bölgesinin (updraft) tabanından tepe seviyeye kadar olan bölgenin, sıklıkla 10-20 dk'dan daha büyük sürede, kesintiye uğramadan devam etmesi anlamındadır. Yukarıya doğru dönerek yükselen hava kolonu (updraft), siklonik vortisiti ile tanımlanır ve genellikle kuvvetli dikey rüzgar shear büyüklüklerine sahip ortamlarda oluşurak saatlerce devam edebilir. Uzun süre devam eden bu tür oraj hücreleri, bazen ikiye ayrılarak, sağa (siklonik dönen mezosiklon) ve sola (antisiklonik dönen mezosiklon) doğru hareket ederek, yoluna devam ederler. *[1]*

Mezosiklon ise; konvektif bir oraj hücresi içerisinde, yaklaşık 3 ila 16 km çapında dönen vortekstir. Mezosiklonla birlikteki vortisiti, sıklıkla 10^{-2} s^{-1} veya daha büyük dönüş olup, hortumlar bazen mezosiklonlar içerisinde gelişirler. Önemli dikey içeriğe sahip ve süreklilik gösteren mezosiklonlar, mezosiklon işaretleri bağlamında sadece doppler hava radarları tarafından tespit edilebilirler. Zıt yönde hareket eden (pozitif ve negatif işaretli) birbirine komşu piksellerin, dönüşü tamamlayacak şekilde bir arada olması, mezosiklon tespitinin ilk işaretidir. Bu mezosiklon işareti radar tarafından tespit edildiğinde, “hortum uyarısı” yayınlanır. *[1]*

Süper hücreli oraj fırtınaları, radar görüntülerinde dönüş işareti olarak algılanan çengel (hook) eko, "V çentiği", zayıf eko bölgesi, aşağı radar taramalarında büyük reflektivite sıkışıklığı ile tanımlanarak diğer oraj hücrelerinden ayırt edilebilirler. Radar verileri kullanılarak, oraj hücreleri içerisinde farklı yöne sapmaları (diğer oraj hücrelerine göre 20-30 derece sağa sapma) bakımından da fark edilirler.

[1]Amerikan Meteoroloji Topluluğu, Meteoroloji Sözlüğü, "Mezosiklon ve Mezosiklon işareti"

Çok hücreli orajlar ile süper hücreli orajlar arasındaki temel fark, süper hücreli orajların, içerisinde yukarı doğru dönerek yükselen hava kolonuna (updraft) sahip olmalarıdır. Süper hücreli orajlar, tabiatta nadir olarak görülseler de, ardında bıraktıkları hasarlar bakımından, oluştukları bölgede uzun bir süre hatırlanırlar ve oraj fırtınaları içerisinde en tehlikeli olanlarıdır. Bu nedenle, süper hücreli orajların oluşacakları ortam ya da çevrenin, önceden tahmin edilebilmesi önemlidir.

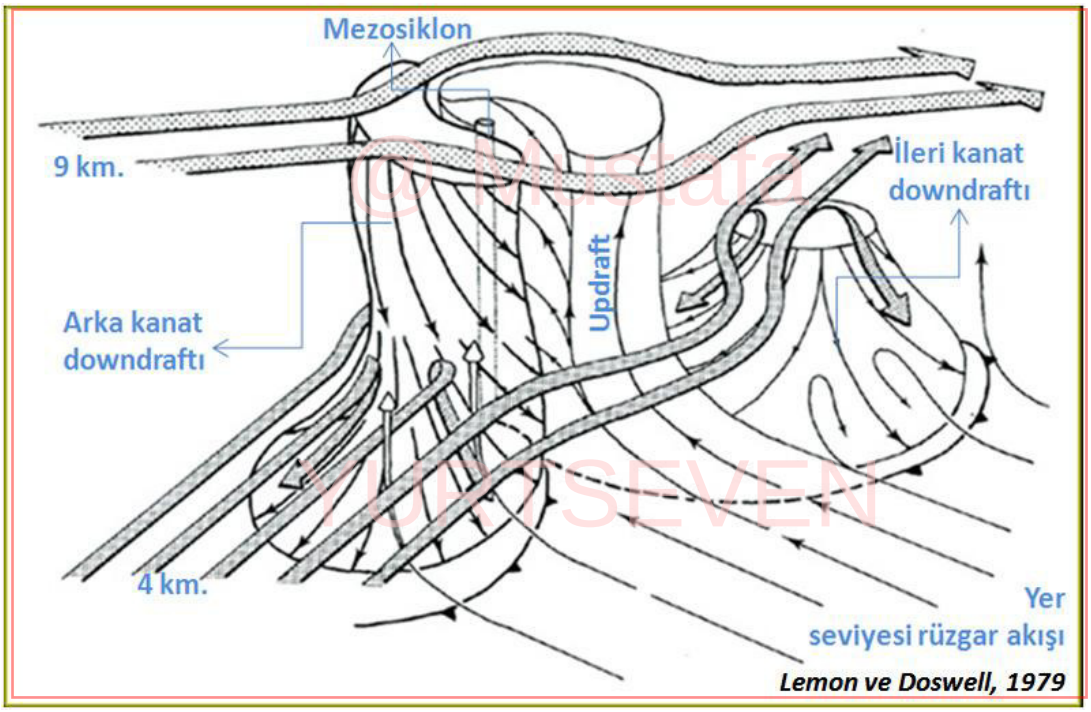
3. SÜPER HÜCRELİ ORAJ FIRTINA YAPISI

Bir yerde, süper hücreli oraj fırtınasının gelişebilmesi için sürekli updraft sağlayacak yeterli konvektifleşmeye uygun potansiyel enerji, yeterli oraj nisbi sarmalı, oraj fırtınasının devamını sağlayacak derecede dikey rüzgar sheari ve özel arka kanat downdraft alanının aynı anda ve birbirini dengeleyecek şekilde bir arada olması gerekmektedir (Paul Markowski ve Ark., 2001). Hortum olayının anlaşılması için, öncelikle bu parametrelerin anlaşılması gerekmektedir (Şekil 1).

Hortum oluşum süresince, arka kanat aşağıya doğru boşalım (downdraft) havasından gelen serin ve nemli hava kaynağı ile updraft kolonunun sahip olduğu hava arasındaki ilişkinin, mezosiklon gelişmesine yeterli katkıyı sağlayacak şekil ve zaman süresince dengeli olarak devam etmesi gerekmektedir.

3.1 Konvektifleşmeye uygun potansiyel enerji (Updraft kaynağı)

Bir bölgede, konvektifleşmeye uygun potansiyel enerjinin (CAPE) bulunması, ortamın kararsızlık enerjisi içerdiğini göstermektedir. Bu enerjinin büyüklüğü, ortamdaki updraftların, yukarı doğru ivmelenerek devam etmesini sağlar. Hortum oluşması için, arka kanat downdraftı gelişip olgunlaşıncaya kadar, updraftın da devam etmesi gerektiğinden, CAPE enerjisinin süreci tamamlayacak kadar sürmesi önemlidir. Bu süreç içerisinde updraftın, oraj nisbi sarmal değeri bakımından zengin olan havayı içine alarak sindirmesi kritik öneme sahiptir (Davies-Jones ve Ark., 1990)



Şekil 1. *Oraj fırtınası ölçeğinde süper hücreli oraj fırtına çevresi temel bölge ve akışlar*

Süper hücreli orajın gelişebileceği ortam; oraj fırtınası ölçeğinde ilgili çevre parametreleriyle Şekil 1'de ifade edilmiştir. Yer ve yere yakın seviyelerde, orajın merkezine doğru sıcak ve nemli bir hava kaynağının, oraj hücresini beslemesi gerekmektedir. Eğer ortamda yeterli konvektifleşmeye uygun potansiyel enerji mevcut ve dikey kaldırma yada yükselme mekanizması varsa, sıcak ve nemli hava yukarı doğru (updraftlar eşliğinde) yükselecektir. Yukarı doğru yükselen hava yoğunlaştıktan sonra su damlacıkları oluşacaktır.

Updraft kolonu, su damlacıklarını taşıyamayacak hale geldiğinde, arka kanat downdraft bölgesi oluşacaktır. Sürecin devamında updraft ve downdraft bölgesi arasında mezosiklon oluşacaktır. Yere yakın seviyede oraj nisbi sarmalının uygun olması halinde, mezosiklon yere doğru ulaşarak hortum başlayacaktır. Bu yapıda; 9 km, 4 km ve yere yakın seviyelerdeki tipik rüzgar durumları gösterilmiştir (Şekil 1)

3.2 Yeterli Oraj Nisbi Sarmalı

Oraj nisbi sarmalı, mezosiklonları tahmin etmek (Lilly, 1986; Davies-Jones ve Ark., 1990) ve oraj hücresi içerisindeki updraft dönüş ihtimalini göstermek için kullanılan bir parametredir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, özellikle 0-1 km oraj

nisbi sarmalının, hortum oluşumuyla yakından ilgili olduğunu ortaya çıkarmıştır. Fakat kritik bir eşik değer belirlemek, arka kanat downdraftının, ortama oraj nisbi sarmal miktarına katkısı ve sürecin updraft kuvvetiyle de ilgili olması bakımından zordur. Sayısal hava tahmin modelleri, sadece sinoptik ölçekteki genel oraj nisbi sarmal değerini göstermesi bakımından sınırlı bir bakış açısı getireceği ve operasyonel takip sürecinde, oraj fırtınası ölçeğindeki yukarı ve aşağı yönlü rüzgar boşalımlarını hesaba katmadığı göz önünde bulundurulmalıdır.

3.3 Dikey Rüzgar Sheari

Teorik çalışmaların ifade ettiği kadar (Moncrieff ve Green 1972, Davies-Jones 1984, Lilly 1986, Rotunno ve Ark. 1988), gözlemlerde (Marwitz 1972, Rasmussen ve Blanchard 1998, Evans ve Doswell 2001, Markowski ve Ark. 2003) ortam kararsızlığı ve shear yapısının, oraj türü ile ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, neredeyse yapılan tüm çalışmalar; oraj çevresi gözlem analizlerinin, önemli oranda homojensizliğine karşın, oraj fırtınalarının homojen ortamlarda oluştuğunu göstermektedir. Yere yakın ilk 1 km tabaka dikey rüzgar shear büyüklüğü, hortumla ilgili ve ilgili olmayan süper hücreli orajları ayırt edebilmekte olup, aynı derinlikteki oraj nisbi sarmalı da bu anlamda iyi bir yaklaşımdır (Thompson ve Ark. 2002).

3.4 Arka kanat downdraft bölgesi

Son on yıldır, hortum oluşumunda arka kanat downdraftının (Lemon ve Doswell 1979) potansiyel rolü (Davies-Jones 1982; Davies-Jones ve Brook, 1993; Walko 1993; Davies-Jones 2000; Markowski 2002; Markowski ve Ark. 2002) üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Konuyla ilgili olarak, Davies ve Jones'un (1982) çalışmasında; arka kanat downdraftı ile birlikteki alt seviye dönüşünün gelişmesinde, baroklinik ya da barotropik süreçler etkili olmaktadır.

Baroklinik mekanizmada; arka kanat downdraftı, aniden dikey hale gelen yatay vortisitiyi oluşturan, yatay kararsızlık sıkışıklığını oluşturmaktadır. Barotropik mekanizmadaysa; önceden var olan yatay vortisitinin eğilerek, dikey vortisiti haline geçmesi söz konusudur. Bu nedenle; hortum oluşumunda, arka kanat downdraftının

hem dinamik hem de termodinamik özellikleri, potansiyel olarak önemli hale gelmektedir. [2]

Kuvvetli, doğrusal yönde rüzgarlara sahip orajlar, “arka kanat downdraftlarıyla” bir aradadırlar. Sıklıkla, hortum gelişiminin işareti sayılan downdraftlar, hasar verici rüzgarlara sebep olabilirler. Bunlar, bazen hortumdan daha fazla rüzgar hasarı oluşturabilirler (depo, ağaç yıkılmaları v.b).

Süper hücreli oraj fırtınalarının “ileri kanat downdraft” bölgeleriyse, çok fazla hasar oluşturmazlar. Bu nedenle bir bölgeyi hortum vurmasa bile, değişik oraj fırtına bölgesi kaynaklı rüzgar ya da büyük çaplı dolu hasarları oluşabilir. Bu nedenle, özellikle kuvvetli meteorolojik hadiselerden kaynaklanan hasarların, fotoğraf ve hikayesi ile birlikte rapor edilmesi ve araştırılması gerekir.

4. SÜPER HÜCRELİ ORAJ FIRTINA GÖRÜNÜMÜ

Klasik süper hücreli oraj bulutuna karşıdan bakıldığında; temel yapı Şekil 2'de gösterilmiştir. Cb bulut örsü üzerinde, yukarıya doğru kuvvetle yükselen hava kolonu olarak ifade edilen ana updraft akımıyla ilgili, aşırı yükselen bulut tepesi, uydudaki en temel işarettir. Cb örsünün altında, updraft kolonunun etrafında, bazen "mammatus tipi" bulutlar da görülebilmektedir.

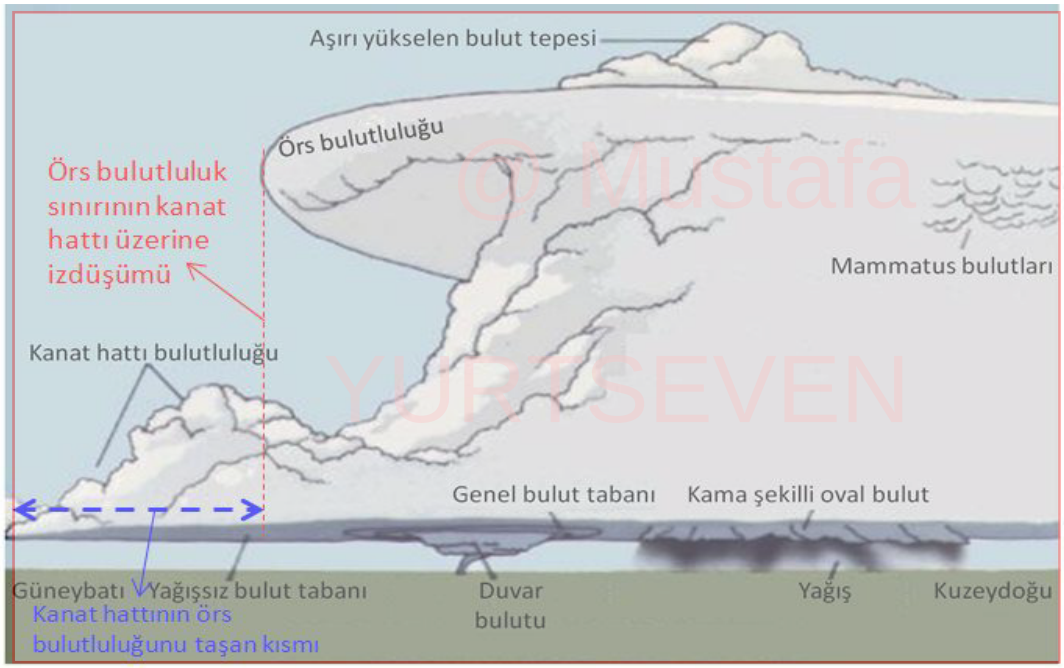
4.1 Kanat hattı bulutluluğu

Özellikle klasik güneybatı-kuzeydoğu yönünde hareket eden sistemlerin, güneybatı kanadının en ucunda, kanat hattı bulutluluğu görülmektedir (Şekil 2). Uydu görüntülerinde; kanat hattı bulutluluğu zaman zaman cb örs bulutluluğunun altında kaldığından görülememekte, eğer sistem uzun bir kanat hattı bulutluluğuna sahipse, oval görünümlü örs bulut kenarının altından “V” yapısı şeklinde alçak seviye bulutluluğu formunda görülebilmektedir.

[2] *Precipitation, The Rear Flank Downdraft and Tornadoes, Mark Askelson, Jerry Straka and Erik Rasmussen*

Kanat hattının ortaya çıkması; hortum oluşacağına dair kesin bir işaret olmaması ve sistem bulutluluğunun güneybatısının, diğer bulutlar tarafından maskelenmesi ya da iç içe geçen karmaşık bulutlarda, kanat hattı işaretleri görülemeyeceğinden, hortum oluşacağına dair tahminde bulunmak zordur. Ayrıca süper hücreli orajların, % 20'si mezosiklon içermektedir. Diğer oraj türleri, büyük çaplı dolu, hasar verici rüzgarlar, yere doğru boşalan kuvvetli rüzgarlar (downburstler) ve sele sebep olacak, kuvvetli meteorolojik hadiseleri oluştururlar.

Kanat hattı bulutluluğunun, Cb bulutları örs seviyesi izdüşümünü aştığı duruma ait tipik bir örnek, Şekil 2 ile gösterilmiştir. Fakat bu tür cb-örs bulutluluk izdüşümü, kanat hattı bulutluluğuna doğru, her zaman ideal olarak Cb bulutunun örs kısımlarını taşacak şekilde gelişmeyebilir (Şekil 3 ve 4). Uydu görüntülerinde; oval cb-örs bulutluğu altında "V" şekilli yapı formunda kanat bulutluluğunun olması, ortamda hortum oluşabileceği ihtimalini ve güvenini artırmaktadır.



Şekil 2. *Süper hücreli oraj fırtına bulutluluk yapısı (karşıdan bakış)*

Bu tür bulut formlarının görülmemesi, ortamda hortum olmadığına dair kesin bir bulgu da ifade etmemektedir. Kanat hattı bulutluluğunun gelişimi, belirli bir süreci (zaman anlamında) kapsadığından, uydunun bulut yapısının hangi safhasında

veri aldığı öne çıkarken, 5 dk aralıklarla veri aktaran Meteosat-8 uydusunun sağladığı bulut görüntüleri daha önemli hale gelmektedir. İdeal pozisyona sahip kanat hattı bulutluluğu, Şekil 5 ile verilmiş olup, kanat hattı bulutluluğu, ortamda hortum oluşabileceğine dair risklerin belirginleşmesi ya da kuvvetlenmesi anlamında düşünülmelidir. Şekil 7 ile gösterilen bulutluluk yapısında, Cb-örs bulutluluğu izdüşümü hemen hemen kanat hattı bulutluluğu ile örtüşmektedir.

***Şekil 3**. Süper hücreli orajda (karşıdan) kanat hattı-örs bulutluluk konumu*

***Şekil 4.** Süper hücreli orajda (karşıdan) tipik kanat hattı ve cb-örs bulutluluk konumu*

Bu durum, uydu görüntülerinde; ortamda kanat hattı bulutluluğu yokmuş gibi görülse de, Şekil 7'den anlaşılacağı üzere; ortamda sanki kanat hattı bulutluluğu var, fakat cb-örs bulutluluk izdüşümünü geçmediğinden, uydu görüntülerinde kanat

***Şekil 5.** Süper hücreli bir oraj bulutunda (karşıdan) tipik kanat hattı bulutluğu, cb-örs yapısı*

hattı yokmuş gibi algılanacaktır. Bu tür durumlarda; Meteosat-8 hızlı tarama servis uydusu 5 dk aralıklı verileri, daha dikkatli kullanılmak durumundadır. Çünkü 15 dk aralıklı Meteosat-9 uydu verileri; kanat hattı bulutluluk gelişimi, uydunun bölgeyi tarama zamanına karşılık gelmeyebilir.

@ Mustafa YURTSEVEN

Şekil 6. *Süper hücreli oraj yapısında (karşıdan bakış) tipik kanat hattı bulutluluğu (üzeri kapanan bulut yapısı)*

5 dk aralıklı uydu verilerinde, bu durumun tespit edilebilme imkanı daha fazladır. Özellikle kuvvetli yağışlı süper hücreli oraj fırtınalarında, kanat hattı bulutluluğu; yoğun ve yaygın olarak görülen alçak seviye bulutları, kanat hattı bulutluluğunun üzerinde geniş alanlara uzanmaları sebebiyle, uydu görüntülerinde büyük bir ihtimalle görünmeyecektir (Şekil 7).

4.2 Aşırı yükselen bulut tepeleri (Overshooting tops)

Bir updraftın, tropopoz ya da denge seviyesinin (equilibrium level) üzerine doğru, zorla yükselmesini temsil eden, Cumulonimbus bulutunun örs kısmının üzerinde, kubbe biçiminde çıkıntıya, aşırı yükselen bulut tepesi adı verilir. Aşırı yükselen bulut tepesi, tropopoz bölgesi civarında, oraj fırtına updraftlarının genel denge seviyesinin üzerine yükselmesi ve aşağı stratosfere doğru sızmak için, yeteri kadar kuvvette derin konvektif oraj fırtına updraftının ürünüdür.

Aşırı yükselen bulut tepelerinin özellikleri;

- Msg uydusu kızılötesi kanalında (10.8 µm) genellikle kendisini çevreleyen cirrus bulutluluğu, örs bulutuna göre çok soğuk piksellerin küçük bir kümesi (<15 km çap) olarak görünürler ve daha küçük çaplarda kısa ömürlüdürler.
- “Gelişmiş-V” yapı işaretinin anahtar bir bileşenidir.
- Aşırı yükselen bulut tepesi, sıklıkla lokal maksimum yağışlara işaret eder.
- Çok kuvvetli updrafta sahip orajları ifade ederler ve bir uçak, aşırı yükselen bulut tepesine doğru uçtuğunda, uçuculuk bakımından tehlike oluştururlar.

- Kararlı tropopoz tabakasıyla oraj updraft etkileşmesi, kaynağından uzağa yayılan türbülanslı yerçekimi dalgaları oluşturur ve uçuculukta hava trafiğini etkiler.
- Stratosfere doğru su buharı girişinden sorumludurlar ve su buharı girişi, belirgin bir iklim etkisine sahip önemli bir sera gazıdır.

Şekil 7. *Süper hücreli bir oraj fırtınasında (karşıdan bakış) tipik kanat hattı ile cb-örs yapısı*

Aşırı yükselen bulut tepesi, örs bulutu üzerinde, önemli bir çıkıntıyla birlikte, jet rüzgar akışını engelleyecek tarzda etki gösterebilir. Bu durum; uydu görüntüsünde "Gelişmiş-V" tipi bulut yapısı üretmeye katkıda bulunur. Soğuk yüzük (cold ring) şeklindeki işaret, "Gelişmiş-V" yapısıyla ilgilidir, fakat "Gelişmiş-V" olaylarından daha zayıf jet rüzgarlı akışlarda oluştuğu görülmüştür. Anormal bir sıcak uzun dalga kızılötesi kanal (10.8 µm) parlaklık sıcaklık bölgesi, sıklıkla aşırı yükselen bulut tepe bölgesinin rüzgar akış yönünde bulunur. "Gelişmiş-V" yapı içerisindeki soğuk, aşırı yükselen bulut tepesi ve rüzgar akış doğrultusundaki sıcak bölgenin birlikteliği, "Örs Termal Çifti (Anvil Thermal Couplet-ATC)" olarak ifade edilir.

Aşırı yükselen bulut tepesine sahip oraj fırtınaları, yeryüzünde sıklıkla kuvvetli yağış, hasar verici rüzgarlar, büyük çaplı dolu ve hortumlar oluştururlar. Maksimum radar reflektivitesi ve eko tepe yüksekliği, aşırı yükselen bulut tepe

bölgesi tespitinde veya buna yakın zamanda bulunmuştur (Dworak ve Ark., 2011). Kuvvetli "örs termal çifti işaretine" sahip oraj fırtınaları, özellikle kuvvetli olarak tespit edilmiştir (Brunner ve Ark., 2007). Bu nedenle uydu görüntü yazılımlarının "örs termal çifti" işaretini gösteren özelliklere sahip olması önemlidir.

Bu yaklaşımda; istikrarlı bir çapta yaygın olarak gözlemlenen aşırı yükselen bulut tepesi, kendisini çevreleyen örs yapısından, önemli miktarda daha soğuk piksel kümesi olarak tespit edilir. Bu yöntem, kızılötesi (IR) parlaklık sıcaklık sıkışıklığı (gradient) konum bilgisini içerdiğinden, "infrared yapısı-IR" olarak adlandırılır. Aşırı yükselen bulut tepesi tespit edildikten sonra, jet rüzgar akışı doğrultusunda, tipik olarak "Gelişmiş-V" veya soğuk-yüzük işareti içerisinde bulunan sıcak bölgenin tespitine yönelik olarak, aşırı yükselen bulut tepesinin 35 km içerisinde ve jet rüzgar vektörlerinin ±45° doğrultusundaki pikseller incelenir. Bu tür uydu esaslı tespit algoritmalarının doğruluğunun belirlenmesi önemlidir. Tahminciler bu duruma göre, ürün sonuçlarına bakarak güven geliştirebilirler. Uydu gözlem işaretleriyle kuvvetli hava olayları arasında kuvvetli istatistiki ilişkileri göstermek; tahmincilerin bu tür gözlem işaretlerinin ve objektif tespitlerin nasıl anlaşılabileceği ve kuvvetli hava olaylarının tespit ve uyarı sürecinde nasıl kullanabileceği bakımından önemlidir.

Aşırı yükselen bulut tepesi tespiti ve kuvvetli hava olayları arasındaki ilişkiyi incelemek için Amerika'da 2004-2009 yılları arasında yapılan bir çalışma; aşırı yükselen bulut tepesi, kuvvetli oraj fırtınalarının yaklaşık olarak % 50'sinde tespit edilmiş ve tüm aşırı yükselen bulut tepesi içeren olayların % 25'inin kuvvetli hava raporlarıyla bir arada olduğunu göstermiştir (Dworak ve Ark., 2011). Avrupa'da ise, aşırı yükselen bulut tepesi içeren olayların, % 44'ünün kuvvetli hava raporlarıyla bir arada olduğu görülmüştür (Bedka 2011). Amerika ve Avrupa için olan istatistikler; büyük çaplı dolu ve hasar verici rüzgarlar için (>% 50) benzerdir, fakat hortum içeren oraj fırtınaları için önemli derecede farklıdır. Avrupa için % 14, Amerika için % 56 olan bu değerlerin farklılık sebepleri henüz yeterince anlaşılamamıştır.

Tablo 1, sabit yörüngeli uydulardan, MSG-SEVIRI uydusunun, Avrupa bölgesi ve GOES-12 uydusunun, Amerika bölgesi için olan sonuçlarını göstermektedir. Avrupa'da aşırı yükselen bulut tepesi ve kuvvetli hava olayları arasındaki ilişki, büyük çaplı dolu (%61) ve hasar verici rüzgar (% 59) olayları için kuvvetli, fakat hortumlar için düşüktür (% 18). Amerika'da, aşırı yükselen bulut tepesi ve kuvvetli hava olayları arasındaki ilişki; büyük çaplı dolu (%51) ve hasar verici rüzgar (% 58) için kuvvetli, fakat hortumlar için yüksektir (% 56).

Kuvvetli hava	Uyum (%)
MSG-SEVIRI Avrupa Alanı	
Hortum	% 18
Kuvvetli rüzgar	% 59
Büyük çaplı dolu	% 61
Kuvvetli hava olayları (Tümü)	% 49

Kuvvetli hava	Uyum (%)
GOES-12 Amerika Alanı	
Hortum	% 56
Kuvvetli rüzgar	% 58
Büyük çaplı dolu	% 51
Kuvvetli hava olayları (Tümü)	% 54

@ Mustafa YURTSEVEN @ Mustafa YURTSEVEN

***Tablo 1**. Avrupa Kuvvetli Hava veri tabanı (SEVIRI Avrupa) ve Fırtına Tahmin Merkezi (SPC-Amerika) veri bankası; hortum, rüzgar, büyük çaplı dolu-aşırı yükselen bulut tepe ilişkisi*

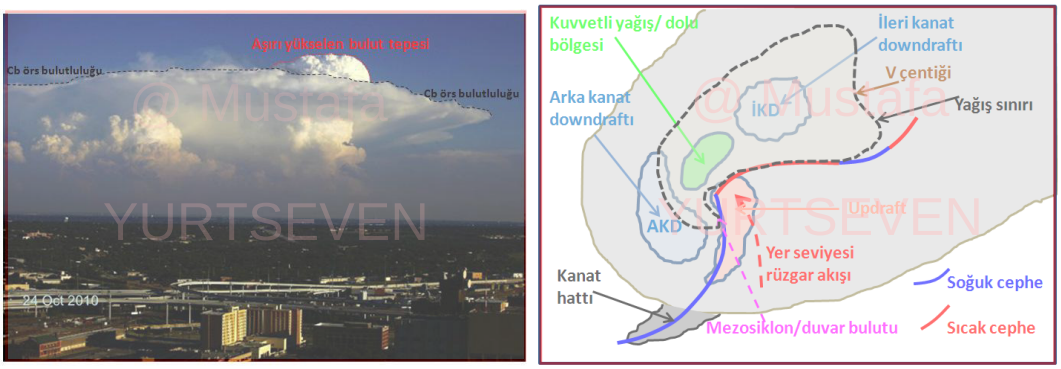
Aşırı yükselen bulut tepesi için gerekli olan kuvvetli updraft oluşum sürecinde, kuvvetli atmosferik kararsızlık (örneğin CAPE) zorunludur (Brooks, 2009). Avrupa'da kuvvetli alt-seviye rüzgar shear değerlerinin, hortumla ilgili oraj fırtına ortamında CAPE değerinden daha sık olduğu görülmüştür. Brooks (2003), hortumla ilgili oraj fırtınalarında ortalama CAPE değerinin, Avrupa'ya göre Amerika'da daha yüksek olduğunu, aşırı yükselen bulut tepe işareti üreten fırtınaların daha belirgin ve GOES uydusu infrared kanalında daha iyi tespit edilebildiğini ortaya koymuştur. Özet olarak; aşırı yükselen bulut tepe işaretleri, oraj fırtınalarının kuvvetli hava oluşturduğuna dair tahmincinin güvenini artıran ilave bir gösterge olarak kullanılmak durumundadır.

4.2.1. Aşırı yükselen bulut tepelerinin yapısı

Buz hidrometeorları, görünür (visible) uydu kanalında karnabahar görünümünde bir özellik göstererek, kuvvetli oraj updraftlarıyla stratosfere doğru yükselirler (Şekil 11). 15 km çaptan küçük büyüklüklerde ve uydu kızılötesi (10.8 µm) kanalı civarında aşırı soğuk parlaklık sıcaklığına sahip bir bölgede etkilidirler.

Aşırı yükselen bulut tepesi tespitinde kullanılan en yaygın yöntemlerden biri, Msg uydusu su buharı (6.2 µm) ve kızılötesi (10.8 µm) kanal parlaklık sıcaklık farkına (WV-IR) dayanmaktadır. Bu teknik; hem gece, hem gündüz kullanılabilmektedir (Schmetz ve Ark., 1997; Setvak ve Ark., 2007). Su buharı ile infrared kanalları parlaklık sıcaklık farkının (WV-IR) sıfır (0) °K'den büyük olması, derin konvektif bulutların varlığını ifade etmektedir. Su buharı (WV) kanalı parlaklık sıcaklıkları, bulut tepesi üzerinde su buharının varlığı nedeniyle, infrared (IR) kanalından daha büyüktür. Aşırı yükselen bulut tepesi, sıklıkla aşağı stratosfere doğru geliştiğinden, yükseklikle sıcaklığın arttığı bölgede, bu yükseklikte su buharı, kanal parlaklık sıcaklık farkı pozitif olacak şekilde, bulut tepesinden daha sıcaktır (Setvak ve Ark., 2007).

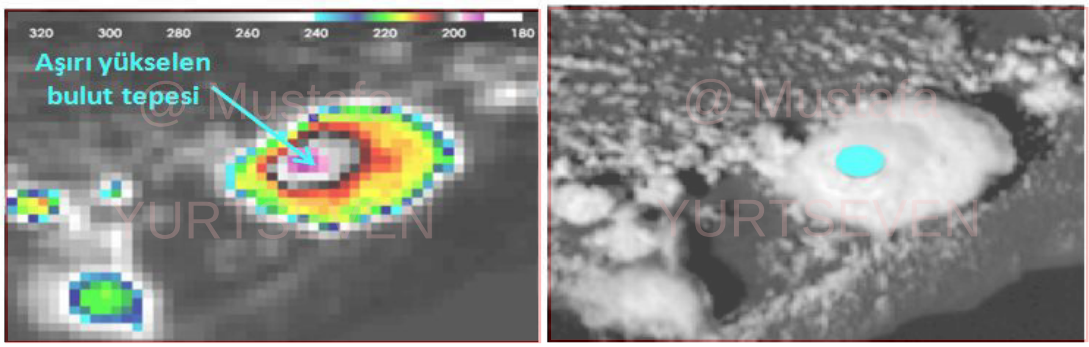
5 Şubat 2008'de, Afrika'da Mali üzerinde gelişen orajın, aşırı yükselen bulut tepesinin, Uluslararası Uzay İstasyonunca uzaydan çekilen fotoğrafı Şekil 9'un solunda verilmiştir. Uydu kızılötesi (renklendirilmiş infrared) kanalında (Şekil 10-sol), aşırı yükselen bulut tepesinin, -80 °C'den daha düşük sıcaklığı olduğu görülmekte olup, bulut tepe sıcaklığının bu kadar düşmesi, updraft gücünün çok kuvvetli olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 8. *Aşırı yükselen bulut tepesi (solda)-süper hücreli oraj yapısı (üstten bakış-sağda)*

Brezilya üzerinde bir oraj hücresinin aşırı yükselen bulut tepesi fotoğrafı, Şekil 9'da (sağda) gösterilmiştir. GOES/SEVIRI uydusu kullanılarak yapılan çalışmada (McCann,1983), aşırı yükselen bulut tepesi ile kuvvetli hadiselerin gelişimi arasındaki ilişki için, ortalama yanlış alarm oranı % 15 olarak bulunmuştur. Çok sayıda kuvvetli orajın "Gelişmiş-V" şekilli oraj fırtına modelinde olmadığı da görülmüştür.

Şekil 9. *Aşırı yükselen bulut tepe fotoğrafları, Mali/Afrika (solda) ve Brezilya (sağda)*



Şekil 10. *Mali'de aşırı yükselen bulut tepesi, MSG kızılötesi (10.8 µm renklendirilmiş görüntü-solda) ve görünür kanal (visible 0.6 µm-sağda) görüntüleri*

4.3. Süper hücreli oraj fırtınası içerisinde tipik yağış bölgeleri ve cepheler

Süper hücreli orajın üstten görünümü, Şekil 8'de (sağda) ifade edilmiştir. Bu tür orajların güneydoğusu, yer ve yere yakın seviyelerde sıcak ve nemli hava kaynaklı rüzgar akışlarıyla beslenirken, yüksek değerlerdeki kararsızlık enerjisi nedeniyle, orta bölümdeki updraft sayesinde, sıcak ve nemli hava kaynağı, yukarı seviyelere taşınır. Bölgenin kararsızlık enerjisi, aşağıdan gelen, ivmeli yukarı yönlü hava akımlarını, zaman zaman tropopoz seviyesini de aşarak yükseltecektir. Bu durum, uydu görüntülerinde; çevresine göre en soğuk bölge olup, "aşırı yükselen bulut tepesi-overshooting top" olarak adlandırılırlar. Yapı; süreç sonunda, rüzgar

shearinden kaynaklanan yatay vortisiti; kararsızlık enerjisi nedeniyle, hücrenin orta bölümünde dikey vortisiti haline gelir (Markowski ve Ark., 2008).

Yatay vortisitinin dikey haline gelmesi, genelde üç aşamada oluşur; ilk aşamada (kabaca ilk 30 dk) yatay çevresel vorteks dikey şeklinde eğilir (tilting). Eğilme, çevre rüzgar shearinin ve yatay updraft sıkışıklığının olduğu yerde maksimumdur. İkinci aşamada, (kabaca 30.-60. dk arası) önemli miktarda dikey vortisiti, yerden oraj hücresinin üst seviyesine kadar olan bölgeye yayılır. Son safhada ise (kaba olarak 60. dk'dan sonra), dikey vortisiti yukarı doğru çekilir. [3]

Zamanla updraft kolonu içerisinde yoğuşarak kuvvetle yukarı seviyelere taşınan su damlacıkları, buz kristalleri ve küçükten büyüğe doğru değişen dolu çapında partiküllerin, ağırlığı taşıyamayacağı yüksekliğe ulaştığında, updraft kolonunun yakınında, downdraft kolonu oluşmaya başlayacaktır (Arka kanat downdraft bölgesi-Şekil 1). Bu bölge yere doğru boşalan yağış ve kuvvetli hamleli, hasar verici rüzgarların oluştuğu bölgedir. Zamanla bu hattın kuzeydoğusunda ileri kanat downdraft alanı oluşacaktır. Bu bölgenin kuzeydoğusu boyunca; gerek rüzgar akışları (Şekil 1) gerekse yağış bölgelerinin dağılımı, bu tür oraj fırtınalarının radar reflektivite görüntülerinde “V şeklini” andıran görüntülerin oluşmasını sağlayacaktır.

Süper hücreli oraj ölçeğinde, tipik soğuk ve sıcak cephe konumuna göre; hücrenin güneybatısında, yere yakın rüzgar shearinin uygun olması halinde, oval yüksek seviye Cb örs bulutluluğu altında “V" şeklini andıran alçak seviye bulut formunda yapı belirecektir (Şekil 8-sağda). Kanat hattı (flanking line) denilen bu yapıyla ilgili özellikler ve detaylar Bölüm 4.1 ile verilmiştir. Kanat hattının kuzeydoğuya uzanan eksen üzerinde, arka kanat downdraftı ile updraft kolonu arasında (radar terminolojisinde, “çentik eko” civarında mezosiklon bölgesi) alçak seviyede “duvar bulutluluğu” gelişerek hortum oluşacaktır (Şekil 8-sağda).

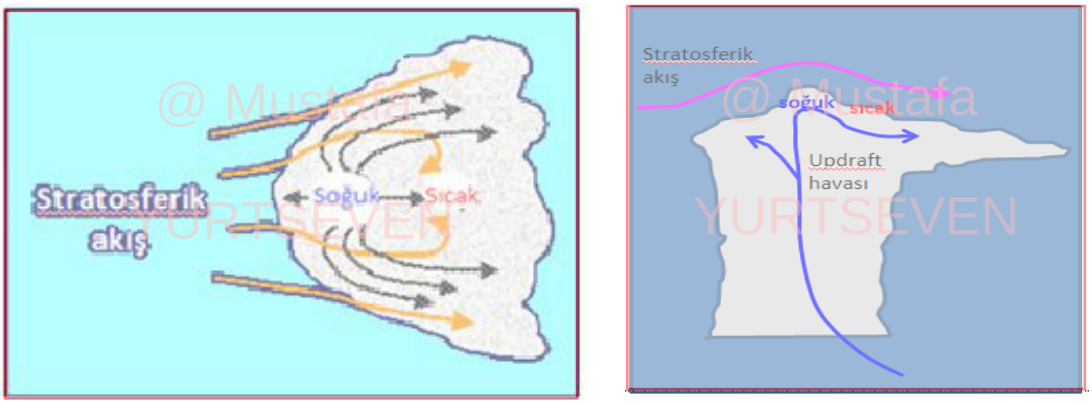
[3] *The structure and evolution of vortex lines in supercell thunderstorms, Paul Markowski ve Yvette Richardson, 2010*

5. “GELİŞMİŞ V” ŞEKİLLİ ORAJ FIRTINALARI

Uydunun kızılötesi (infrared) kanalında “V” şeklinde veya soğuk nokta civarında sıcak bölge ile birlikte, bumerang şekline benzeyen bulut görüntülerine “Gelişmiş-V” şekilli oraj fırtınası adı verilir (Ackerman ve Knox, 2001). “Gelişmiş-V” şekilli oraj fırtınası, sıklıkla kuvvetli hava olayları (hasar verici rüzgar, büyük çaplı dolu ve/veya hortum) başlangıcından önce, uydu kızılötesi (infrared) kanalında görünmekte olup, kuvvetli orajlar için önemli bir göstergedir.

“Gelişmiş-V” şekilli oraj fırtına yapı özelliğini analiz etmek için birçok çalışma yapılmıştır (McCann 1983, Negri 1982, Heymsfield ve Ark. 1983a ve 1983b, Heymsfield ve Blackmer 1988, Adler ve Ark. 1985). Derin konveksiyonun, gelişmiş uzun dalga kızılötesi (infrared) uydu görüntüsü; bazen “V" şekilli bulut tepe yapısının, “V bulut şekline” yakın soğuk eşdeğer siyah cisim sıcaklık bölgesi olduğunu ortaya koymuştur (Şekil 12. Negri 1982, McCann 1983, Heymsfield ve Ark. 1983a ve 1983b, Fujita 1982). “Gelişmiş-V” yapı; kuvvetli bir updraft, aşağı stratosfere doğru geliştiğinde ortaya çıkar ve aşırı yükselen oraj bulutu tepe yapısıyla sonuçlanır.

Aşırı yükselen oraj bulut tepe yapısı, kuvvetli üst seviye rüzgarlarını engellemek şeklinde işlev görmekte ve rüzgar akışını kendisi etrafına döndürmeye zorlamakta (Fujita 1978) olup, updraft tepesini aşındırmakta ve rüzgar yönünde bulut birikintisi (Şekil 11) oluşturmaktadır (McCann 1983).



Şekil 11. *Üstten (solda) ve önden(sağda) bakışla ”Gelimiş V” oraj fırtına yapı gelişimi*

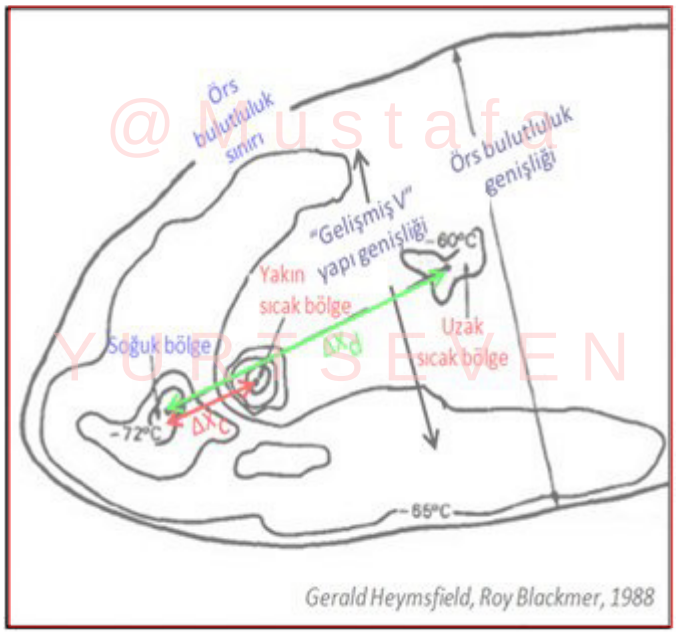
Rüzgar yönünde bulut taşınımı, “Gelişmiş-V” şeklinde bulut yapı özelliğinin en soğuk parlaklık sıcaklıkları olarak görülmektedir (McCann 1983). “Gelişmiş-V” şeklindeki bulut yapısının, köşe noktasına yakın olan en soğuk parlaklık sıcaklıkları (brightness temperature); hava parselinin, oraj updraft bölgesinde, tropopozu aşarak yükselmeye çalışması nedeniyle, adyabatik yayılım ile bir arada bulunmaktadır (Heymsfield ve Blackmer 1988, Adler ve Mack 1986).

"Gelişmiş-V” şekilli oraj fırtınalarıyla ilgili Brunner ve Arkadaşlarının (2007) yaptığı çalışmada, örs termal çifti işaretine (soğuk ve sıcak parlaklık sıcaklıkları) odaklanılmıştır. Buna göre; “Gelişmiş-V” şekilli oraj fırtınasına ait örs termal çifti (ÖTÇ) işaretine sahip fırtınalar, yeryüzünde sıklıkla kuvvetli yağış, hasar verici rüzgar, büyük çaplı dolu ve hortum gibi tehlikeli hadiseleri oluşturmaktadır.

Aşırı yükselen bulut tepesi, üst seviye kuvvetli rüzgar akışını engelleme fonksiyonunu görmekte ve rüzgarın aşırı yükselen bulut tepesinin etrafına doğru sapmasına neden olmaktadır (Fujita 1978, Wang 2007). Rüzgar, aşırı yükselen bulut tepesinin etrafına doğru saptığından, rüzgar akımımın, updraft tepesini aşındırdığı ve rüzgar akışı yönünde bulut yığılması oluşturduğuna dair hipotezler ileri sürülmüştür (McCann 1983). Rüzgar yönünde bulut yığılması hareketi, “Gelişmiş-V” yapısının “kollarını” oluşturan soğuk parlaklık sıcaklıkları şeklinde ortaya çıkmaktadır. Aşırı yükselen bulut tepesinin rüzgar akışı yönündeki kolları arasında, sıklıkla sıra dışı olarak “sıcak bir parlaklık sıcaklığı bölgesi” bulunmaktadır.

6. “GELİŞMİŞ-V” ŞEKİLLİ ORAJ FIRTINASI UYDU GÖZLEM ÖZELLİKLERİ

Heymsfield ve Arkadaşlarının (1983a) “Gelişmiş-V” şekilli oraj modelleme çalışmasında, rüzgar akış doğrultusunda, yakın sıcak ve uzak sıcak bölge şeklinde iki belirgin sıcak bölge tanımlanmıştır (Şekil 12). Yakın sıcak bölge ile “Gelişmiş-V” şekilli oraj fırtınasının en soğuk noktası, bir soğuk-sıcak sıcaklık çifti oluştururlar (McCann 1983, Heymsfield ve Ark., 1983a,b, Negri 1982, Fujita 1982). Uzak sıcak bölge, yakın sıcak bölgeden daha kısa süreli (gelip geçici) ve genellikle belirgin parlaklık sıcaklık maksimumuna sahip değildir (Heymsfield ve Ark., 1983a). Heymsfield ve Blackmer’ın (1988) çalışmasında, "soğuk-sıcak" sıcaklık çifti, 7-17 °C tespit edilmiştir.

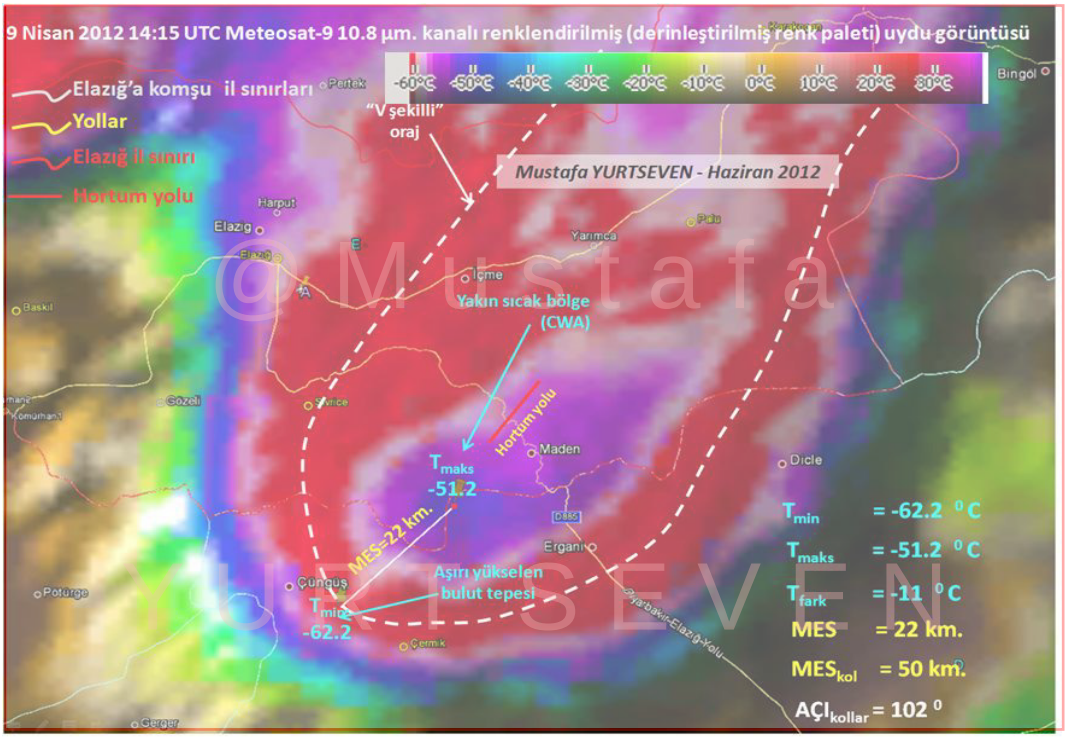


Şekil 12. “Gelişmiş-V” şekilli oraj fırtına model yapısı

@Mustafa YÜRÜŞEVEN

Maden hortumuyla ilgili “Gelişmiş-V” tipi oraj fırtınasının, Meteosat-9 uydusu 14:15 UTC gözlem özellikleri (T_{min}, T_{maks}, T_{fark}, MES, MES_{kol}, $Açı_{Kollar}$), Şekil 13 ile verilmiştir. Soğuk noktadan yakın sıcak bölgeye olan mesafe 21-44 km, uzak sıcak bölgeye olan mesafe 40-120 km olarak bulunmuştur. Yakın sıcak bölgeyle karşılaştırıldığında, uzak sıcak bölgenin daha az sıklıkla oluştuğu ve oluştuğu durumda, çok daha kısa süre (gelip geçici) devam ettiği gözlemlenmiştir.

Bu çerçevede tartışılacak T_{min} kavramı, uydunun gözlemlediği minimum bulut tepe eşdeğer siyah cisim sıcaklığıdır. T_{min}, genellikle “Gelişmiş-V” oraj hücresinde, en tepe noktası olup, tropopozdan stratosfere geçmeye çalışan, updraft içerisindeki hava parseliyle ilgilidir (Heymsfield ve Blackmer 1988, Adler ve Mack 1986).



Şekil 13. *9 Nisan 2012, 14:15 UTC'de Elazığ'ın doğusunda gelişen "Gelişmiş-V" şekilli oraj fırtınası, Meteosat-9 uydusu kızılötesi (10.8 µm) kanal görüntüsü (yakınlaştırılmış) ve oraj fırtına özellikleri (T_{min} (°C), T_{maks}(°C), T_{fark}(°C), MES, MES_{kol}, $Açı_{Kollar}$)*

Bu çalışmaya göre;

1. Uydudan gözlemlenen minimum bulut tepe eşdeğer siyah cisim sıcaklığı (T_{min}), -62.2 °C olup, Diyarbakır'ın kuzeybatısındaki Çüngüş ilçesinin Oyuklu, Keleşevleri ve Yeniköy arasındaki bölgededir ve tropopozdan stratosfere doğru geçmeye çalışan, updraft içerisindeki hava parselini ifade etmektedir (Heymsfield ve Blackmer 1988, Adler ve Mack 1986).
2. Sıcak bölge içerisinde tespit edilen maksimum (sıcak bölge içerisinde en sıcak piksel) bulut tepe parlaklık sıcaklığı (T_{maks}), -51.2 °C'dir. Maden'in güneybatısındaki Çalkaya köyünde 2.5 km çapında bir alanı kapsamaktadır
3. Soğuk-sıcak sıcaklık çiftini ifade eden T_{fark} (T_{maks} ile T_{min} arasındaki bulut tepe parlaklık sıcaklığı farkı), -11 °C'dir.
4. T_{min} ile T_{maks} arasındaki mesafeyi ifade eden MES, 22 km'dir.
5. "V şeklinin" kolları arasındaki mesafeyi gösteren MES_{kol}, 50 km'dir.
6. "V şeklinin" iki kolu arasındaki açıyı ifade eden $Açı_{Kollar}$, 102 derecedir.

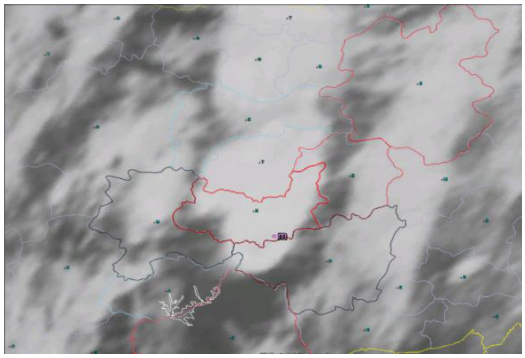
7. ESNEK RENK DERİNLEŞTİRME

Kuvvetli orajlar, muhtemel can ve mal kayıplarına sebep olurlar ve sıklıkla hızlı geliştiklerinde, tahmincilere büyük fırsatlar sunarlar (tahmin kabiliyeti anlamında). Bu bakımdan kuvvetli hava olaylarının işaretlerini tespit etme yöntemleri son derece önemli bir konudur. "Gelişmiş-V" yapısı, kuvvetlenmeye başlayan bir oraj fırtınasına dair ilk işaretleri ifade etmekte olup, sıklıkla kuvvetli hava olayları etkisini göstermeden önce, uydu kızılötesi kanalında (infrared) görülmektedir.

"Gelişmiş-V" şekilli orajların tespiti, kuvvetli oraj fırtınalarının tanımlanmasında çok önemli bir araç olabilir. "Gelişmiş-V" şekilli orajların bulut tepe işaretlerinin kolayca tespiti için, uydu kızılötesi (IR 10.8 µm) kanalı için uygun renk derinleştirmesi yapılması gerekmektedir. Oluşan konveksiyon; mevsime, coğrafik konum ve konveksiyon derecesine göre farklı sıcaklıklarda aşırı yükselen bulut tepesi ve uzak sıcak nokta sıcaklıklarını içerdiğinden, renk derinleştirmeleri, standart renk tablosu yerine esnek olarak kullanılabilme özelliğine sahip olması gerekmektedir.

"Gelişmiş-V" şekilli oraj bulut tepesi için kritik olan, -50 ^{o}C ila -70 ^{o}C sıcaklık aralığını (maviden yeşile ve kırmızıya doğru renk değişimi) yansıtan tipik renk derinleştirmesi, Şekil 15'de gösterilmiştir. Aşırı yükselen bulut tepesi içerisindeki "Gelişmiş-V" şekilli yapı, net olarak görülmektedir.

Uydu veri çözünürlüğünün artması (polar yörüngeli uydulardan elde edilen görüntüleri, oraj fırtına bulutu içerisindeki yapı ve özelliklerin detaylarının araştırılması bakımından anlamlıdır (daha az zaman çözünürlükleri vardır). Aynı amaçla polar yörüngeli uydular kullanılarak yapılan çalışmada (Adler ve Ark. 1983), soğuk-sıcak çifti sıcaklık farkının, "Gelişmiş-V" şekilli oraj fırtınasının tespit edilmesini kolaylaştıracak biçimde, dramatik olarak arttığı görülmüştür.



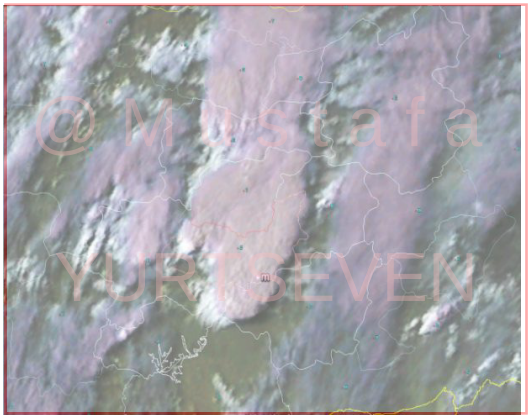
Şekil 14. *9 Nisan 2012 14:00 UTC Msg uydusu kızılötesi (IR 10.8 µm) kanal görüntüsü (renklendirme yok)*

Şekil 14, 9 Nisan 2012 14 UTC'de Msg uydusu kızılötesi (10.8 µm) kanalı için renklendirme yapılmamış görüntüyü ifade etmektedir. 14 UTC'ye ait doğal renk bileşik (Natural Color RGB) uydu görüntüsü, Şekil 15'de (solda) verilirken; kızılötesi (10.8 µm) kanalına, -50 ^{o}C ila -70 ^{o}C aralığındaki renk derinleştirme uygulanarak elde edilen kanal görüntüsü, Şekil 15'de verilmiştir (sağda). Kızılötesi (10.8 µm) kanalda önemli renk derinleştirmesi, “Gelişmiş-V” şekilli oraj bulut tepe işaretlerinin tespiti için, denge seviyesi ve tropopoz sıcaklıklarını yansıtması bakımından, genellikle -50 ^{o}C ila -70 ^{o}C aralığındaki renk sıkışıklığını (gradient) kapsaması gerekmektedir.

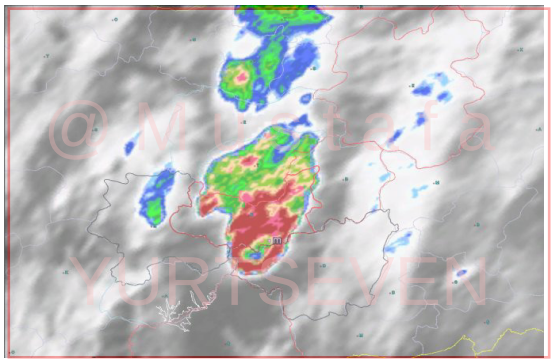
Renk derinleştirmeleri, aynı zamanda önemli bulut tepe sıcaklık aralığının, mevsim ve farklı bölge özelliklerini açıklayacak şekilde, "amaca yönelik" düzenlenmesini gerektirmektedir. MSG uydusu infrared kanalı (10.8 µm) renk derinleştirmesi, Şekil 13'de gösterilmiş olup, aşırı yükselen bulut tepesine ait “Gelişmiş-V” yapısı net olarak görülmektedir. Uydu veri çözünürlüğü, “Gelişmiş-V” hücresinin tespit ve görüntü kalitesinde etkili olmakta ve buna bağlı, uydu kanal renk derinleştirmelerinin görüntü kalitesi de değişmektedir. Sabit yörüngeli uydudan (GOES-10) elde edilen 00:30 UTC renklendirilmiş infrared kanal (10.7 µm) görüntüsü (Şekil 17-solda) ile polar yörüngeli (NOAA-15 AVHRR) uydudan alınan 00:28 UTC renklendirilmiş infrared kanal (10.8 µm) görüntüsü arasında, veri çözünürlüklerini yansıtan “Gelişmiş-V” şeklinin değişimi, Şekil 17'de (sağda) görülmektedir.

Son yıllarda, uydu kanallarının bir araya getirilerek, yüksek çözünürlüklü uydu kanal (HRV) görüntüsü üzerine, infrared kanal (10.8 µm) görüntüsünün, geçirgen renk paleti ile birleştirilmesine dayanan "sandviç ürün" sayesinde, “Gelişmiş-V” şekilli orajların daha kolay tespit edildiği görülmektedir (Şekil 18). “Gelişmiş-V” şekilli

orajların en soğuk ve yakın sıcak bölge (CWA) çifti, bir soğuk-sıcak çifti oluşturur (McCann 1983, Heymsfield ve Ark., 1983a, 1983b; Negri 1982; Fujita) 1982).

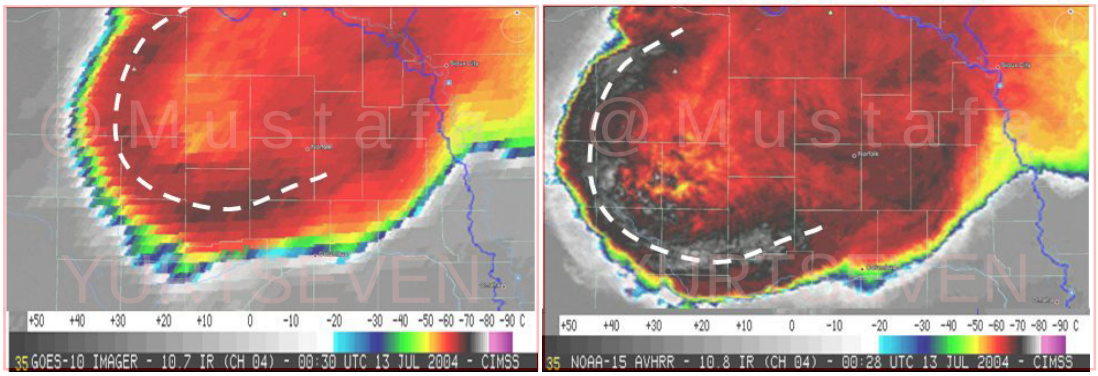


Şekil 15. *MSG uydusu 9 Nisan 2012,14 UTC doğal renk RGB görüntüsü*



Şekil 16. *MSG uydusu 9 Nisan 2012, 14 UTC kızılötesi kanal (10.8 µm-renk derinleştirme) görüntüsü*

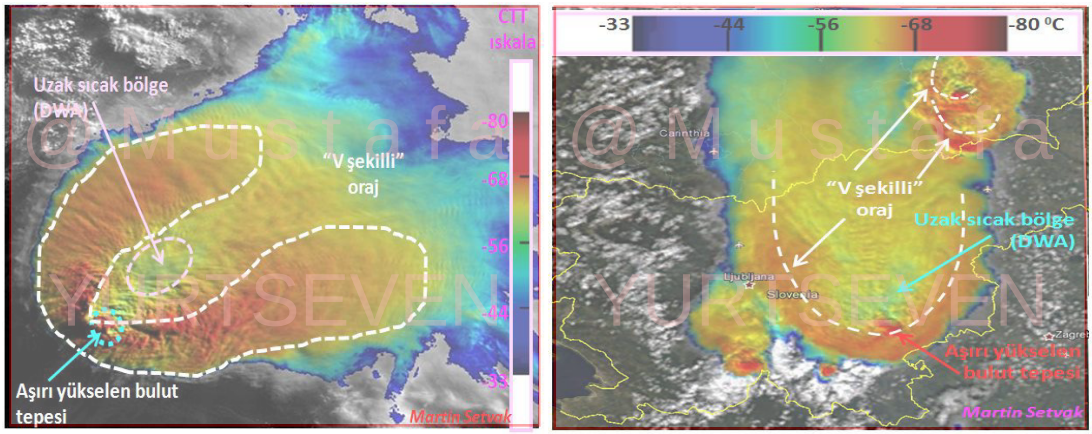
Uzak sıcak (DWA) bölge, daha kısa süreli ve genellikle belirgin bir uç parlaklık sıcaklık değerine sahip değildir (Heymsfield ve Ark., 1983a). Heymsfield ve Blackmer, 1988'de inceledikleri örnek olay çalışmalarında; soğuk-sıcak çiftini 7-17 °C aralığı olarak bulmuşlardır. Soğuk noktadan yakın sıcak bölgeye olan mesafe, 21 ila 44 km ve soğuk noktadan uzak sıcak (DWA) bölgeye olan mesafe ise 40 ila 120 km'dir. Yakın sıcak bölgeye (CWA) kıyasla; uzak sıcak (Distant Warm Areas-DWA) bölge, daha az sıklıkla oluşmakta, oluştuğunda ise, çok daha kısa süre devam etmektedir.



Şekil 17. *Aynı orajın sabit (GOES-solda) ve polar yörüngeli (NOAA-sağda) uydu görünümü*

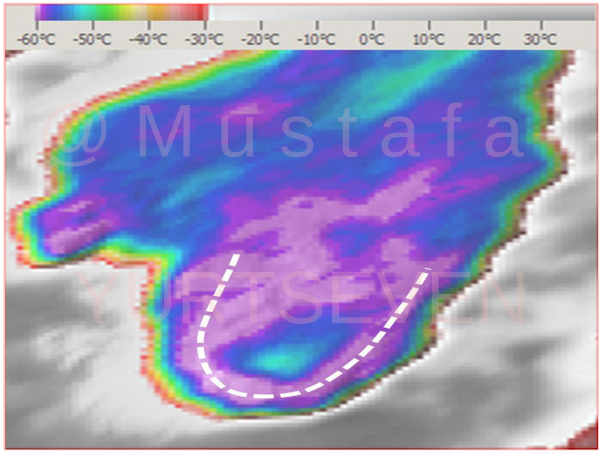
"Gelişmiş-V" oraj bulutu yapısı, kuvvetli troposferik shear büyüklüklerini ve kuvvetli updraftları ifade etmektedir. Her iki özellikte kuvvetli orajlar için gereklidir

(Heymsfield ve Blackmer, 1988 McCann 1983, Negri 1982, Heymsfield ve Ark., 1983a ve 1983b; Adler ve Ark., 1985, Heymsfield ve Blackmer 1988).



Şekil 18. *Sandviç uydu ürünü (HRV kanalı üzerine kızılötesi uydu kanalı-10.8 µm görüntüsünün geçirgen bir renk paleti ile birleştirilmesi)*

En soğuk nokta sıcaklığı; updraft kuvvetini (kuvvetli-zayıf updraft ayrımı) ayırt etmekte ve eşik değer belirlemekte kullanılabilir. Bu nedenle, soğuk-sıcak bölgenin sıcaklık farkı (T_{fark}) büyüdükçe, sıcak bölge sıcaklığı ile birlikte yorumlanarak, updraftın kuvvetlenmesi olarak düşünülebilir.



Şekil 19. *"Gelişmiş-V" şekilli oraj örneği*

McCann (1983), "Gelişmiş-V" tipindeki bulut yapısıyla ilgili yaptığı çalışmada, kuvvetli hava olayları ile ilgili ihbar sürecinde kullanımını tavsiye ederek, gelişmiş infrared uydu görüntülerinde; "Gelişmiş-V" şekilli oraj fırtına hücresi oluştuktan, ortalama 30 dk sonra, ilk kuvvetli hava raporunun görüldüğünü tespit etmiştir. McCann (1983) çalıştığı "Gelişmiş-V" hücrelerinin çoğunun, kuvvetli hava olaylarıyla bir arada olduğunu ortaya koymuştur (Düşük yanlış alarm oranına-FAR sahip olmaları gibi). Bununla birlikte, çok sayıda kuvvetli hava olayının, "Gelişmiş-V" tipi oraj yapısına sahip olmadığı görülmüştür (Düşük tespit edilme ihtimali-PoD gibi).

“Gelişmiş-V” yapısı ortalama sürekliliği, 60 dk olarak tespit edilmiş, F2 kuvvetindeki hortumlarda tespit edilme olasılığı, % 50 olarak bulunmuştur.

McCann'in (1988) çalışması, 8 km alan ve 30 dk zaman çözünürlüklerine sahip uydu verilerle yapılmış olup, şu an kullanılan operasyonel verilerde, 6 km alan ve 15 dk zaman çözünürlüğü kullanıldığından, sonuçların daha iyi olacağı düşünülmelidir. Ayrıca, Meteosat-8 uydusu hızlı tarama servisinin 5 dk aralıklı kanal verilerinin, uyarı zamanı için 30 dk’dan çok daha fazla zaman bırakacağı da göz önüne alınmalıdır. Brunner ve Arkadaşlarının 2007'de yaptıkları bir başka çalışmada ise, iki yıl yaz dönemi boyunca belirli bir sıcaklık aralığına sahip ”Gelişmiş-V” tipi bulut yapısının % 92’sinin, kuvvetli hava olayları oluşturduğu ortaya konulmuştur.

8. ELAZIĞ-MADEN HORTUMU

9 Nisan 2012'de Elazığ ili Maden ilçesinin Elazığ-Diyarbakır karayoluna yakın bir şantiye alanına, hortumun isabet etmesiyle, çalışan işçilerden altısı (6) yaşamını yitirmiş, yedi (7) kişi yaralanmıştır. Lokal saat ile 18:30 civarında, Maden'in 5 km kuzeyinde, yol yapım işini sürdüren işçilerin barındığı şantiye alanında, işçilerin bulunduğu konteynıra isabet eden hortum, işçiler ve bir traktör başta olmak üzere, diğer araçları havaya uçurarak, 100 m kadar sürüklemiştir. İşçilerin içinde bulunduğu konteynır, kayalıklara çarparken, bazı araçlar hortumun etkisiyle Maden Çayı'na sürüklenmiştir. Konteynırda bulunan işçilerden, dört kişi olay yerinde, iki kişi ise hastaneye kaldırılırken yolda yaşamını yitirmiş, 7 işçi ise yaralanmıştır [4].

Olayda yaralanan 7 kişiden biri olan Rıdvan Koç’un ifadesinde; hortum, konteynırı 100 m ilerideki dağa, kamyon ve kepçeyi dereye fırlatmış, bir otomobilde ağır hasara sebep olmuş, olay anında ortam birden kararmıştır. Konteynır içerisinde bulunan on iki kişiden altısı bu şekilde ölmüştür. Yaralılardan Mehmet Erdal Yıldırım’ın ifadesine göre; olay öncesinde elmadan büyük dolu yağmaya başlamış,

[4] *Elazığ Valiliği yazılı açıklaması*

olay 1 dk devam ederek, kendisini 50 m sürüklemiştir. Urfa'dan Elazığ'a otobüsle yolculuk yapan Abdullah Bakır, "Büyük bir fırtına olduğunu ve her şeyin havaya kalktığını, şoförün aracı geri çektiğini ve camların kırıldığını, havada uçan konteynırın 100-200 m havaya kalkarak, havada paramparça olduğunu" ifade etmiştir. Şantiyede ölü ve yaralanmalara sebep olan hortum, Maden'e bağlı Dutpınar ve Kaşlıca köylerinde büyük zarara yol açmıştır. Hortum; Kaşlıca'da 25, Dutpınar Köyü Raman Mezrasında 32 çatı uçurarak bazı duvarları yıkmış, 70 evde hasara yol açmıştır. Görgü şahitlerin ifadelerinden; bazı çatıların, 3 km yer değiştirdiği anlaşılmıştır.

Olay sırasında Dutpınar köyünde, evinde oturduğunu anlatan Zeki Torun, ''Hortumdan önce elma büyüklüğünde dolu yağdığını, birkaç saniye sonra şiddetli rüzgarın estiğini ve evlerin çatısının uçtuğunu söylemiştir. Dutpınar Köyü Muhtarı Selami Gökmen; Bakacık'da saat 18.20'de hortumu fark ettiğini, çatıların uçuştuğunu ve evlerde büyük hasar olduğunu söylemiştir. [5]

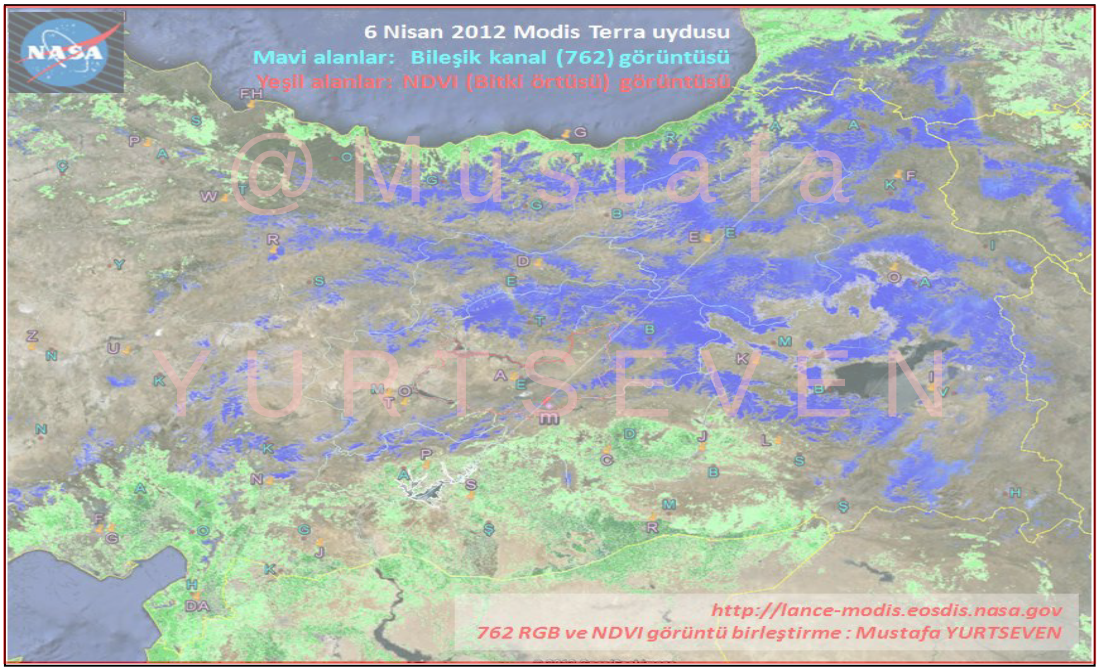
Elazığ Gıda Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü yetkilileri, "Dutpınar ve Kaşlıca'da, 38 çiftçiye ait 796 adet meyve, kavak ve söğüt ağacının kırıldığını ya da köklerinden söküldüğünü, 283 küçükbaş hayvanın telef olduğunu" ifade etmiştir. [6]

9. HORTUM HADİSESİNİN OLUŞTUĞU ORTAM VE ÇEVRE

Polar yörüngeli Modis-Terra uydusun 6 Nisan 2012, 08:10-08:15 UTC geçişine ait 2.1 µm, 1.6 µm ve 0.8 µm bileşik kanal RGB görüntüsünün kar bileşeni (mavi renk) ile aynı saate ait bitki örtüsü (NDVI) görüntüsü (yeşil alanlar) bir araya getirilerek, bölgedeki hortum hadisesinden önce karla kaplı alanlar ile bitki örtüsü incelenmiştir. Buna göre; Elazığ civarında dağların güneye bakan yamaçlarının 1400-1600 m yükseklikten, kuzeye bakan yamaçlar ile gölgede kalan bölgelerin 1050-1200 m yükseklikten itibaren karla kaplı olduğu görülmektedir (Şekil 20).

[5] *Elazığ yerel internet haber sitesi (http://www.elaziginsesi.com)*
[6] *Elazığ Valiliği yazılı açıklaması*

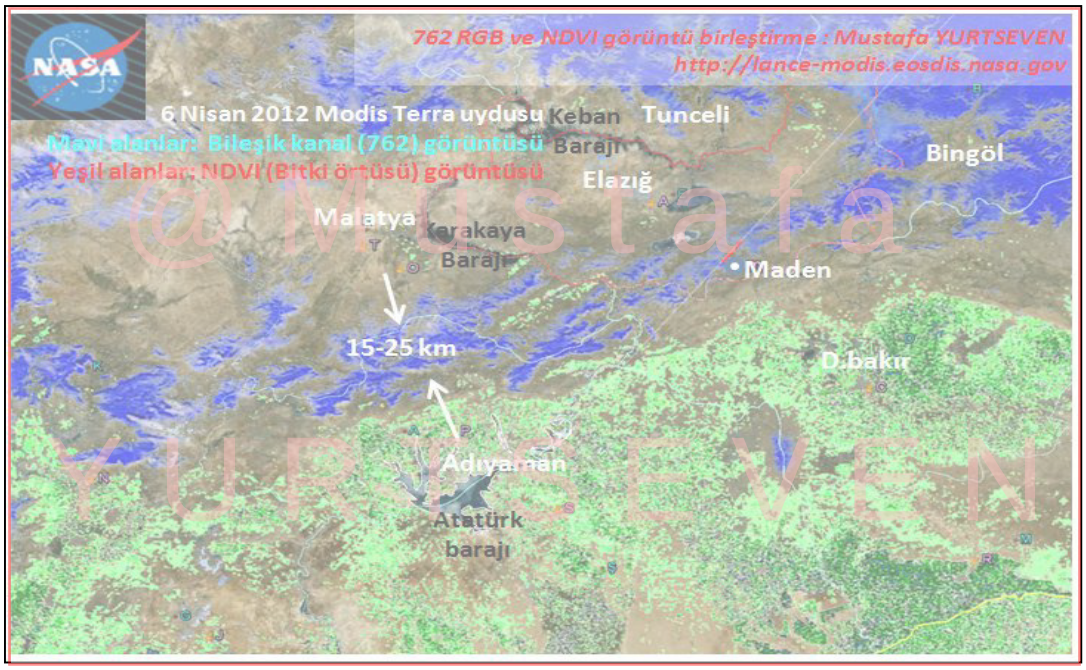
Güneydoğu Anadolu Bölgesi bitki örtüsü görüntüsü, Diyarbakır ile Mardin'in güneybatısında en yoğun olmak üzere; ilkbaharın ilk yeşil bitki deseninin görülmeye başlaması ve toprağa yakın nemlilik işaretleri olarak algılanabilir.



Şekil 20. *6 Nisan 2012, polar yörüngeli Modis-Terra uydusunun 08:10-08:15 UTC geçişi, 2.1 µm, 1.6 µm ve 0.8 µm bileşik kanal RGB-yeşil bitki örtüsü (NDVI) görüntüsü*

Aynı uydu verilerine ait, bölgenin yakınlaştırılmış görüntüsünde; Elazığ'ın güneybatısında Adıyaman'da bulunan 817 km^2 su yüzey alanına sahip, Atatürk barajı ile Elazığ'ı çevreleyen Keban Barajı ile Karakaya Barajı'nın (toplam 950 km^2 su yüzey alanı) bölgenin önemli su ve nem kaynaklarından olduğu söylenilebilir. Kahramanmaraş'ın kuzeyi, Elazığ'ın güneyinden Bitlis'e doğru uzanan Güneydoğu Torosların zirvelerinin 15-25 km genişlikte karla kaplı olduğu görülmektedir. Malatya (Munzur dağları) ile Elazığ illerinin kuzeyinde Tunceli ve doğusundaki Bingöl'ün tamamen karla kaplı olduğu görülmektedir (Şekil 21).

6 Nisan 2012 tarihli kutupsal yörüngeli Modis-Terra Araştırma Uydusunun karla kaplı alan ve bitki örtüsü analizlerine göre; Adıyaman-Malatya sınırı, Maden'in yüksek rakımlı yerleri ve Bingöl çevrelerinin, hala karla kaplı olduğu, bu bölgelerin güneyinde ise yeşil bitki örtüsünün olduğu görülebilir.



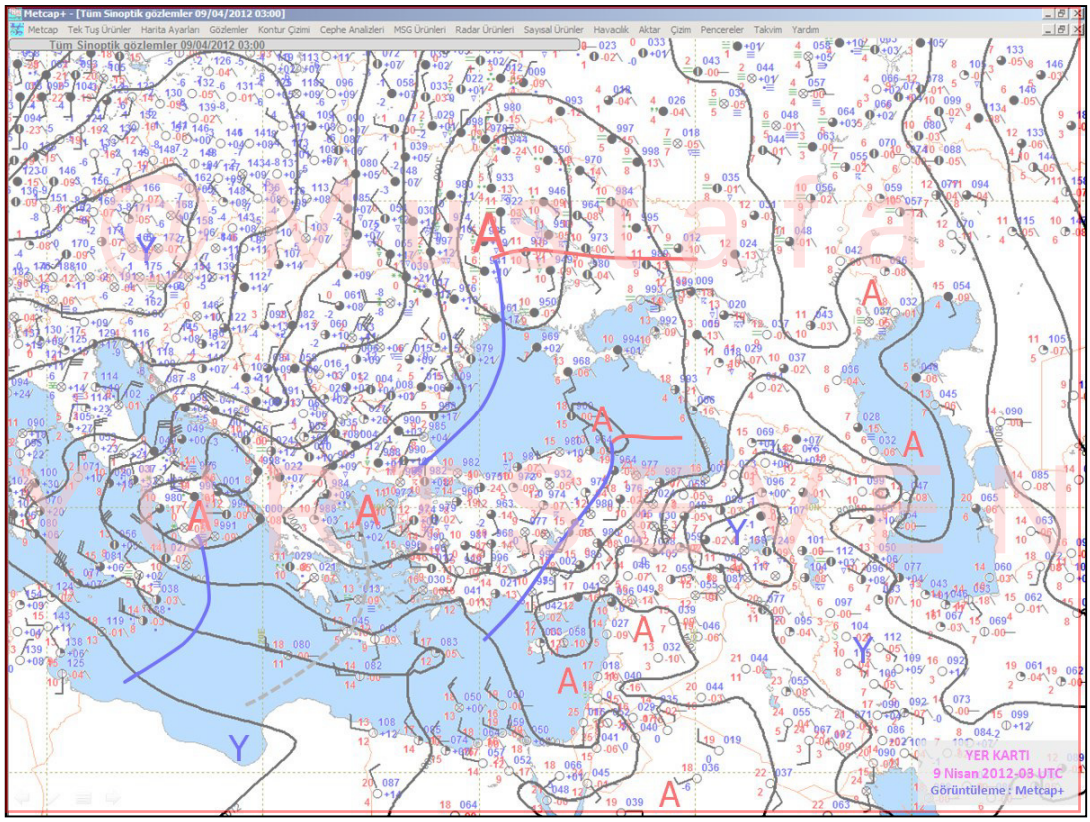
Şekil 21. *Elazığ ve çevresi (yakınlaştırılmış) Modis 2.1 µm, 1.6 µm ve 0.8 µm bileşik kanal RGB görüntüsü ile yeşil bitki örtüsü (NDVI) ürünleri*

10. SİNOPTİK ORTAM

Süper hücreli oraj fırtınaları ancak bazı özel çevre parametreleri oluştuğunda organize olabilirler. Bu nedenle, özel çevre şartlarının oluşum mekanizmalarını bilmek, bu tür olayların önceden tahmin edilebilmeleri bakımından kritik bir öneme sahiptir. Bu bölümde, süper hücreli oraj fırtınan oluşumunda klasik konvansiyonel gözlemlerin bir kritiği yapılmıştır.

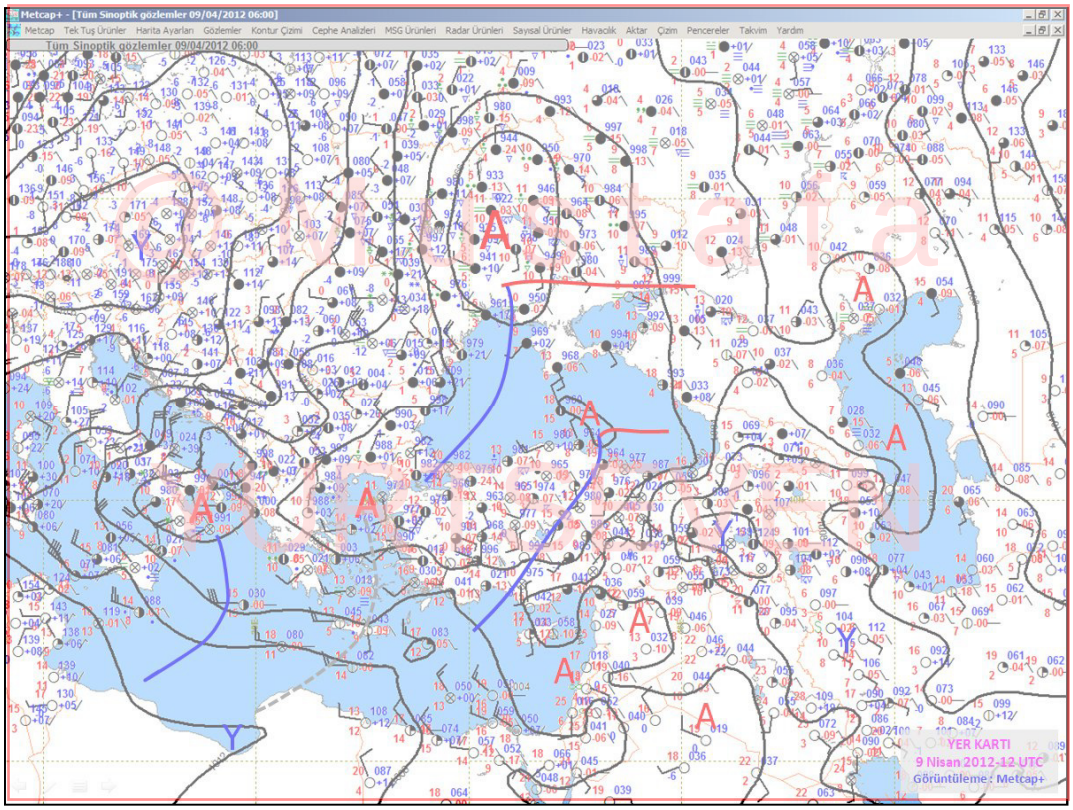
10.1. Yer seviyesi ve sinoptik ortam analizi

9 Nisan 2012, 03 UTC yer kartı analizinde; Ukrayna üzerindeki 996 hPa'lık alçak basınç merkezine bağlı soğuk cephe; Kırım'ın batısından Edirne'ye, sıcak cephe Kırım'ın kuzeyi boyunca uzanmaktadır. Türkiye'nin kuzey, iç ve batı bölgelerinin, Ukrayna üzerindeki 1000 hPa'lık alçak basınç merkezinin etkisinde olduğu görülmektedir (Şekil 22). Sinop'un kuzeydoğusundaki 996 hPa'lık alçak basınç merkezine bağlı soğuk cephe, Samsun'dan Antalya'nın doğusuna uzanmakta, aktif olmayan sıcak cephesi, Doğu Karadeniz'de bulunmaktadır. 03 UTC yer seviyesi sıcaklıkları, Kars Erzurum, Bingöl, Diyarbakır, Muş, Bitlis ve Hakkari illeri arasında 0-6 ^{o}C arasında, diğer yerlerde 10-15 ^{o}C olduğu görülmektedir (Şekil 22).



Şekil 22. 9 Nisan 2012 03 UTC için yer kartı analizi

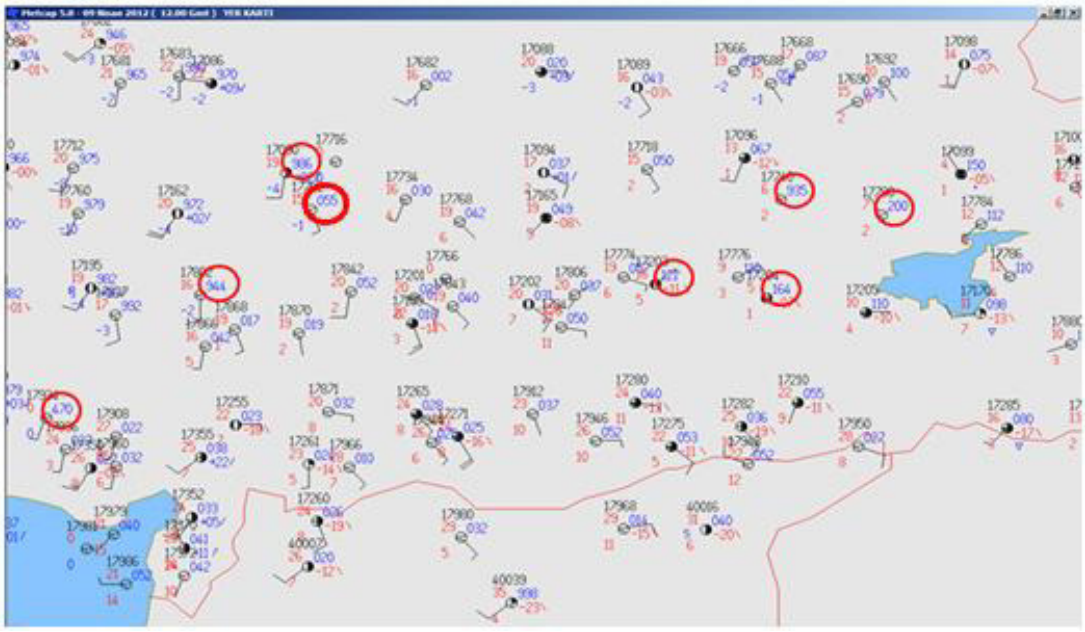
12 UTC yer kartı analizinde (Şekil 23); ana basınç merkezlerinin konumlarında çok fazla bir değişiklik olmamıştır. Türkiye'nin doğusunda Van, Hakkari, Ağrı ve Bitlis çevreleri, 1012 hPa değerindeki yüksek basınç merkezi etkisindedir. Yer kartı analizine göre, Çorum ve Samsun civarlarında 996 hPa, Gaziantep civarında 1002 hPa'lık alçak basınç merkezi bulunmaktayken, Elazığ civarında 1003 hPa, Van gölünün kuzeyinde 1016 hPa'lık yüksek basınç merkezi görülmektedir (Şekil 23). Yer sıcaklığı; Tokat, Yozgat, Çorum ve Samsun civarlarında 20-24 ^{o}C iken, Basra alçak basıncının Güneydoğu Anadolu bölgesine yaklaşmasıyla, 20 ^{o}C sıcaklık eğrisinin Niğde, Kahramanmaraş, Malatya, Elazığ ve Siirt civarlarında olduğu görülmektedir. Karla kaplı alanlarda (Şekil 20) yer sıcaklıkları 4 (Ağrı çevresi) ila 15 ^{o}C, Elazığ çevresinde 20 ^{o}C civarındadır. Diyarbakır ve Mardin'den Elazığ'a uzanan 10 ^{o}C'yi aşan işba sıcaklık hattı görülmektedir (Şekil 25).



Şekil 23. *9 Nisan 2012, 12 UTC için yer kartı analizi*

12 UTC yer kartında; denize indirilmiş basıncın, Sivas (17090-998.6 mb), Kangal (762-1005.5 mb), Pınarbaşı (802-994.4 mb), Pozantı (934-1047 mb), Bingöl (203-1012.1 mb), Muş (17204-1016.4), Hınıs (17740-993.5 mb) ve Malazgirt'te (17780-1020.0) yanlış olduğu görülmektedir. Denize indirilmiş basınç, çevre istasyonlarla karşılaştırma yapılarak, yanlış olduğu tespit edilebilen bir parametredir. İşba sıcaklığı ya da rüzgar hızı gibi çevresine göre yanlış ya da doğruluğu hakkında bir şey söylenilemeyecek ya da karşılaştırma yapılamayacak parametreler söz konusu olduğunda, durum daha da önemli olacaktır (Şekil 24).

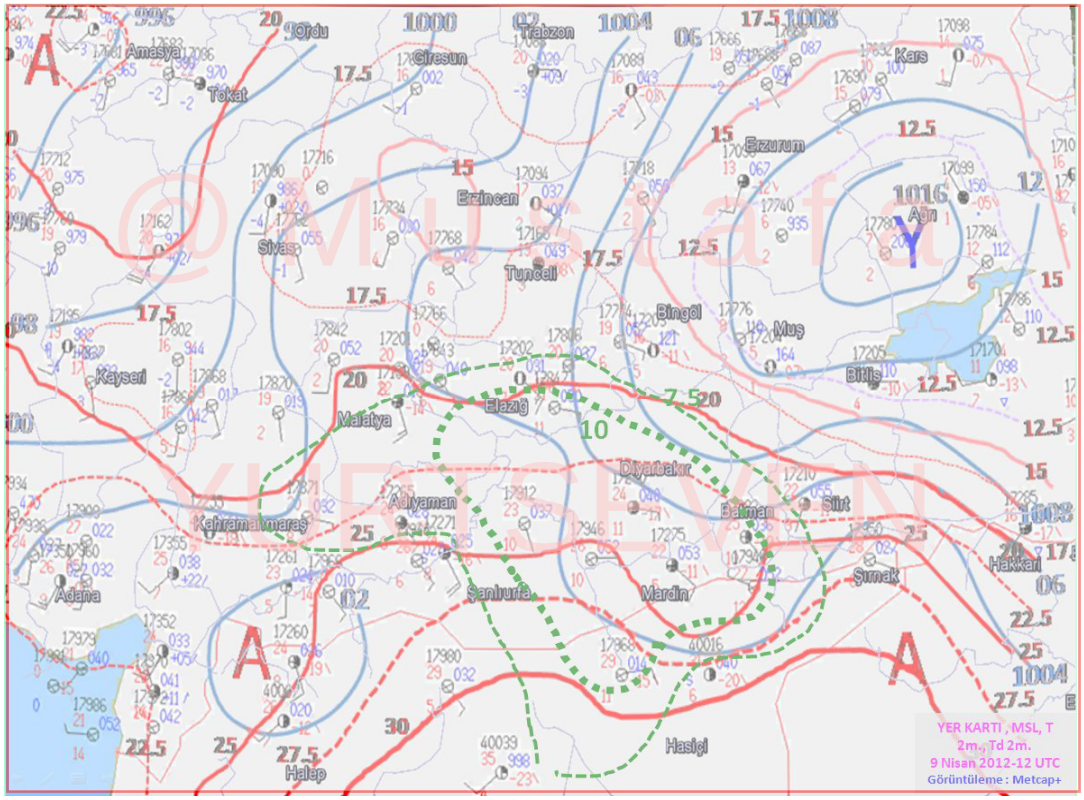
WRF modelinin 12 km çözünürlüklü 3D-VAR asimilasyon modelinin 12 saat sonraki yer kartı tahminine göre (Şekil 27), Doğu Karadeniz'de 1000 hPa'lık alçak basınç merkezinin olduğu, Kırım yarımadasının güneydoğusu ile Trabzon açıklarında 998 hPa'lık alçak basınç merkezinin bulunduğu görülmektedir. Bu ana alçak basınç merkeziyle ilişkili alçak basınç alanının Midilli adası ve Moro yarımadası üzerinde 1002 hPa'lık alçak basınç merkezi bulunduğu, 1004 hpa'lık Basra alçak basınç alanına ait, Suriye ve Irak üzerinde 1000 hPa'lık basınç değerlerinin olduğu görülmektedir.



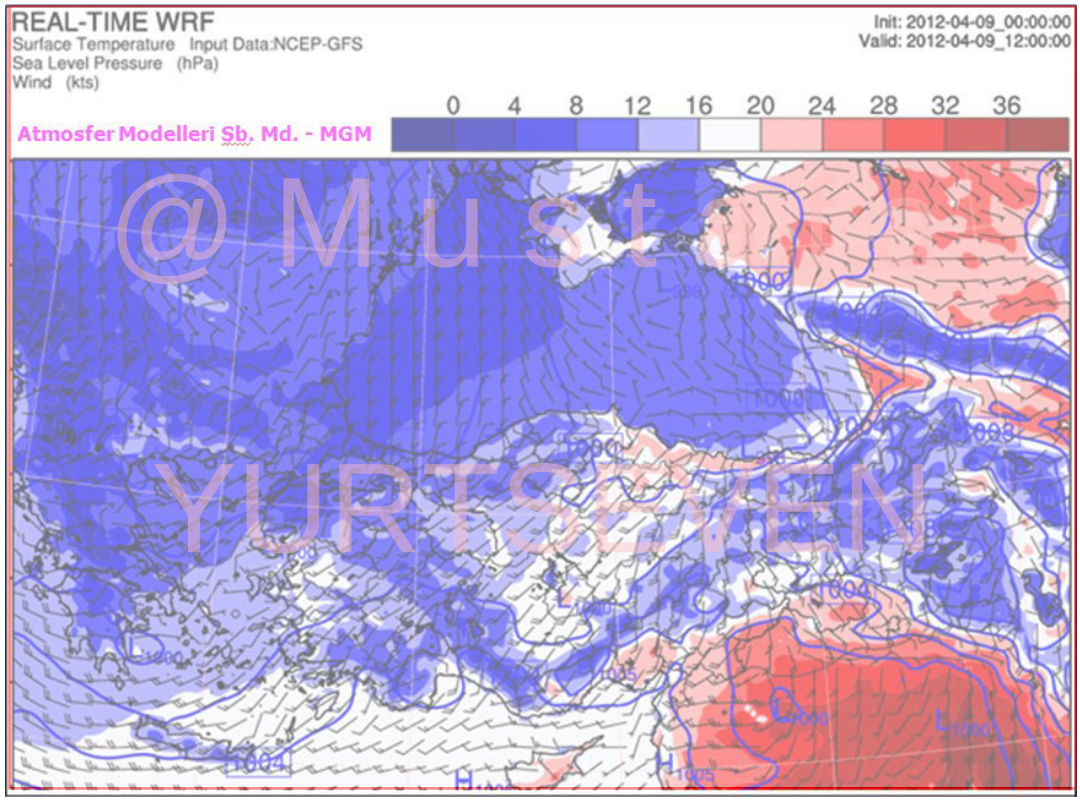
Şekil 24. *9 Nisan 2012 12 UTC, yer kartı analizi,*

4 km çözünürlüklü WRF modeli 3D-VAR asimilasyon sistemi 13 UTC yer kartı tahmininde (Şekil 27), Samsun, Ordu ve Giresun'da 998 hPa, Malatya'nın doğusunda 1002 hPa, Iğdır'da lokal olarak 1006 hPa'lık alçak basınç merkezleri bulunmaktadır. Van'ın kuzeyindeki dağlarda 1012 hPa, Rize dağlarında 1008 hPa'lık yüksek basınç merkezi bulunmaktadır. WRF-3DVar asimilasyon sistemi 13 UTC yer kartı tahmininde, Diyarbakır ve Şanlıurfa üzerinden 15 kt'a varan güneydoğulu yer rüzgarının, 22-25 ^{o}C aralığındaki sıcak havayı, Elazığ'a doğru taşıması ile; güneybatılı, güneyli ve güneydoğulu rüzgarlar, Elazığ'ın güneyinde konverjans oluşturmaktadır (Şekil 27).

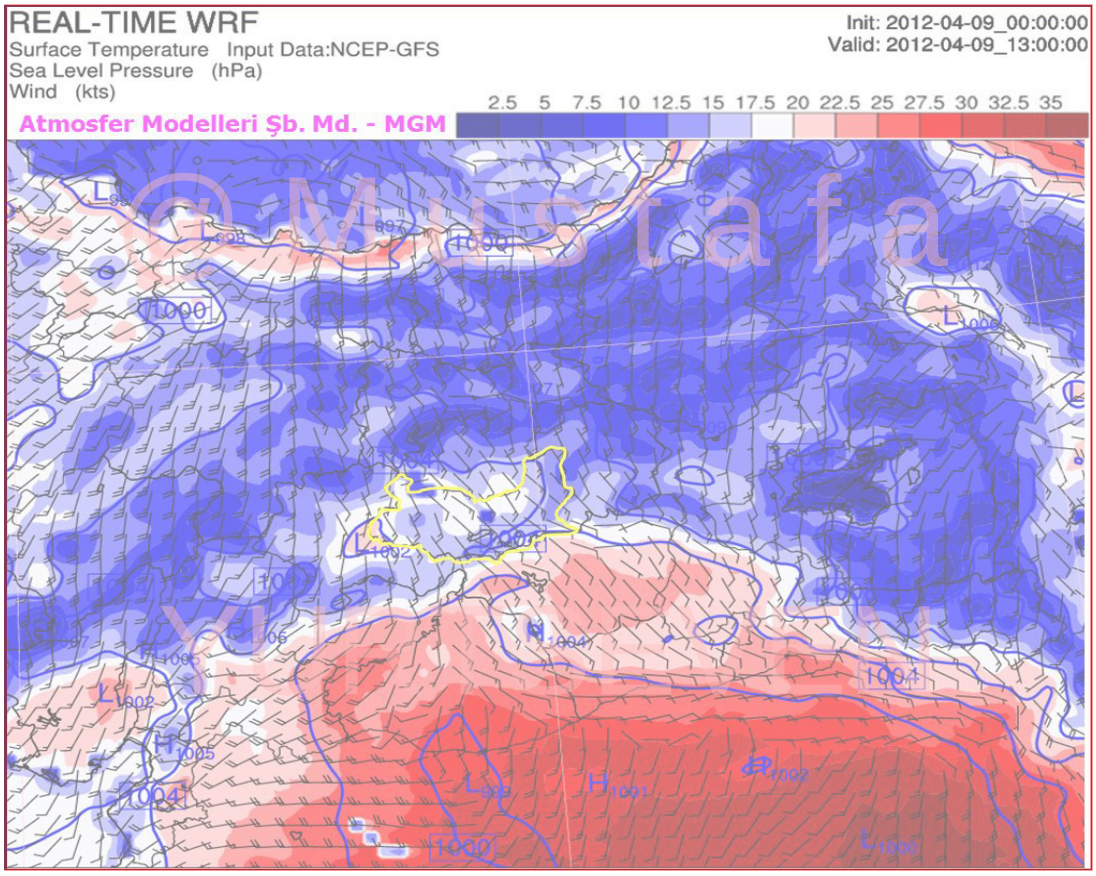
Türkiye'nin kuzeybatısına soğuk havanın çökmesi, Türkiye'nin doğusunda, sıcak hava kabarmasına sebep olmuştur. Basra alçak basıncının Türkiye'nin güneydoğusuna yaklaşması, yer seviyesinde; hava sıcaklıklarının, 12 UTC yer sıcaklık analizine göre, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ile Adana civarlarında 23-27 ^{o}C değerlerine kadar yükselmesini sağlamıştır (Şekil 27).



Şekil 25. *Türkiye'nin doğusu için yer kartı analizi, 9 Nisan 2012, 12 UTC denize indirilmiş basınç (mavi), 2 m yer sıcaklığı (kırmızı) ve işba sıcaklığı (koyu yeşil)*



Şekil 26. *12 km çözünürlükte WRF 3D-VAR modeline ait 12 UTC yer seviyesine ait deniz basınç, 2 m sıcaklık ve 10 m rüzgar tahmini (00 UTC başlangıç koşulları ile)*



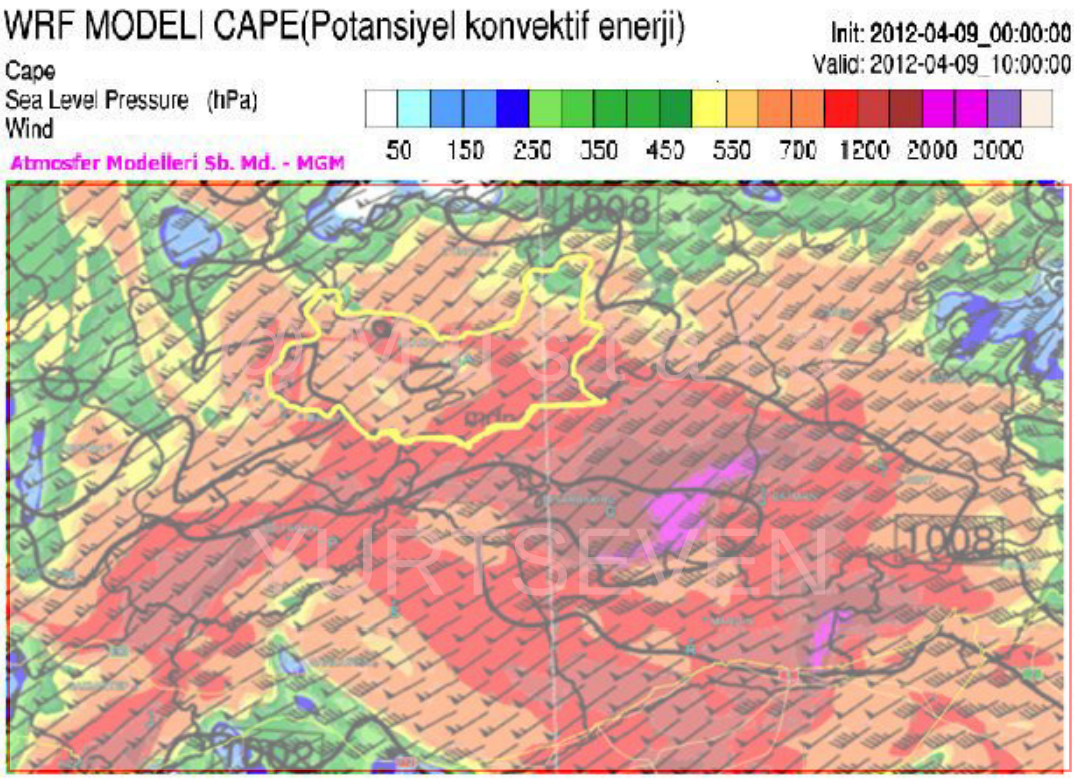
Şekil 27. *4 km çözünürlük (Türkiye'nin doğusu) WRF 3D-Var modeli 13 UTC yer seviyesi basınç, 2 m sıcaklık ve 10 m rüzgar tahmini (00 UTC başlangıç koşulları)*

10.2. Kararsızlık ve rüzgar shear analizleri

Konvektifleşmeye müsait potansiyel enerji (Convective Available Potential Energy-CAPE), serbest konveksiyon seviyesinden denge seviyesine kadar olan yükseklikte, hava sütununun uygun pozitif kararsızlığını ifade eden ve oraj fırtınalarının gücüne katkı sağlayan gerekli potansiyel enerji miktarını, bilimsel olarak ifade eden bir indekstir. 0-6 km dikey rüzgar sheari ise, oraj fırtınasının sürekliliğini ve organizasyonunu sağlayan bir başka parametredir.

Türkiye'nin doğusu için 4 km çözünürlüklü WRF-3DVar asimilasyon sisteminin konvektifleşmeye müsait potansiyel enerji (CAPE) tahmininde (Şekil 28), 10 UTC'de Batman, Siirt ve Şırnak'ta 1000-1600 j kg^{-1}, Elazığ'da yer yer 250 j kg^{-1}, 08 UTC'de, aynı çevrelerde 1800-2500 jkg^{-1} değerlerine çıkarak, bu bölgeden Elazığ'ın kuzeyinde kararsızlık enerjisi geliştiği (ortalama 500 j kg^{-1}) ve Elazığ'ın kuzeyinde 550 jkg^{-1}'a

ulaştığı, 09 UTC'de Malatya-Elazığ-Diyarbakır karayolunun güneyindeki dağlık alanda 500 jkg^{-1} iken, dağlık olmayan düz alanlarda 1000 j kg^{-1}'a çıktığı, fakat Adıyaman'ın doğusunda 1000-1200 j kg^{-1}, Diyarbakır'ın güney ve doğusunda 1600-2000 j kg^{-1} olduğu görülmektedir (Şekil 28).

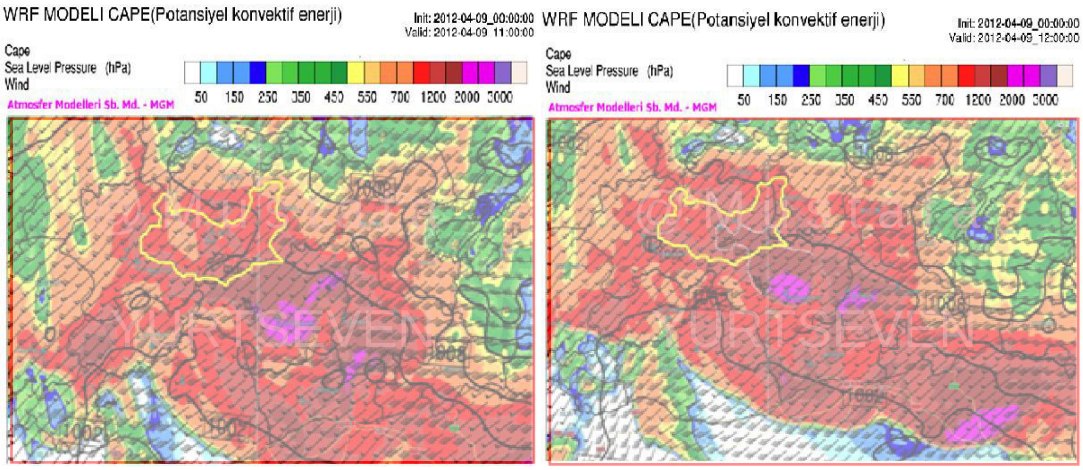


Şekil 28. *4 km çözünürlüklü WRF 3DVar asimilasyon modelinin 10 UTC için denize indirilmiş basınç, CAPE indeksi ve 0-6 km rüzgar shear tahmini*

10 UTC'de Elazığ'ın tamamında 1000 jkg^{-1}'a çıkarken, komşu illerle olan sınır bölgelerinde 1000-1200 jkg^{-1}'a kadar yükselirken, Adıyaman'dan Diyarbakır'a uzanan hat üzerinde 1600-2000 jkg^{-1}'lık kararsızlık enerjisinin devam ettiği görülmektedir. 0-6 km dikey rüzgar shear tahminine göre, Gaziantep, Adıyaman, Malatya, Elazığ, Tunceli ekseni üzerinde 50-65 kt'lık rüzgar koruna sahip dikey rüzgar shearinin olduğu görülmektedir (Şekil 28).).

4 km çözünürlükte WRF-3DVar asimilasyon modelinin 11 UTC tahmininde, Elazığ merkez, Elazığ'ın batı ve güney sınır civarları ile Maden'den Tunceli'ye doğru uzanan hatta 1200-1600 jkg^{-1}, Elazığ'ın diğer yerlerinde 700-1000 jkg^{-1} olduğu

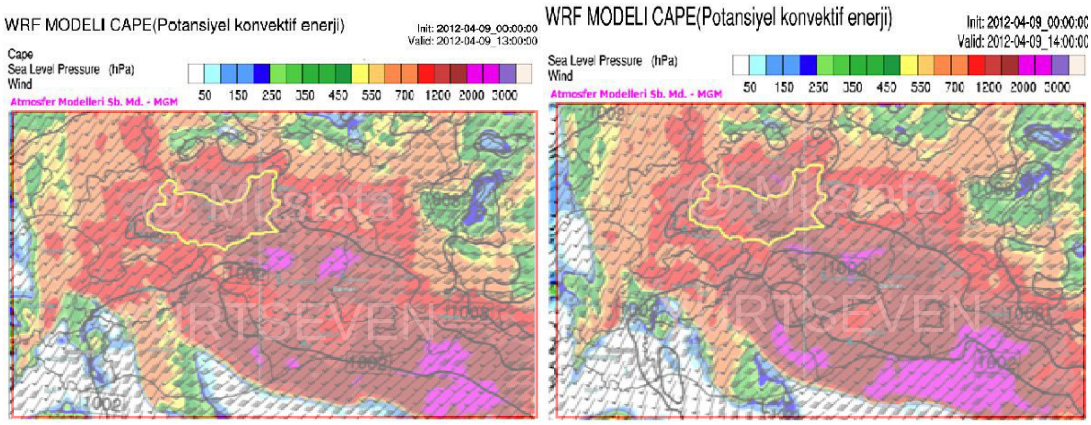
görülmekteyken, 10 UTC'de 0-6 km dikey rüzgar shear tahmininde, ifade edilen bölgelerdeki shear değerinin (50-65 kt) devam ettiği görülmektedir (Şekil 29-solda).



Şekil 29. *4 km çözünürlüklü WRF 3DVar asimilasyon modeli, 11 UTC (solda) ve 12 UTC (sağda) için denize indirilmiş basınç, CAPE indeksi ve 0-6 km rüzgar shear tahmini*

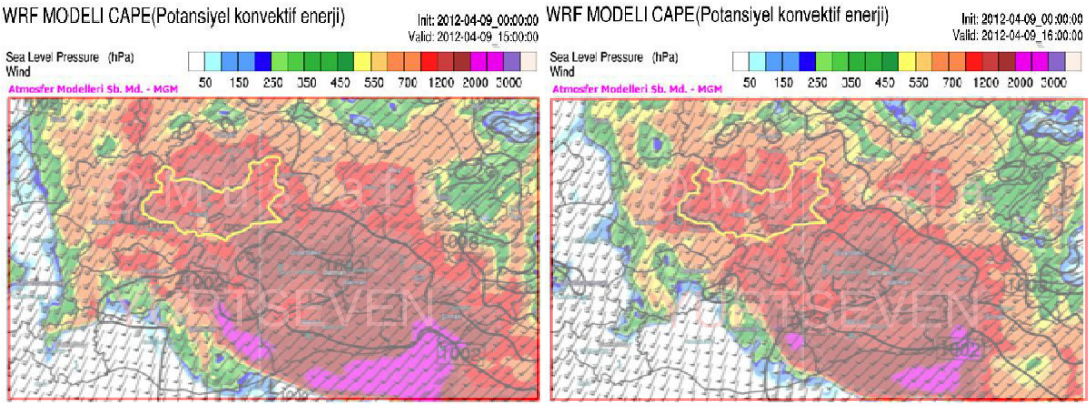
4 km çözünürlüklü WRF-3DVar asimilasyon modeli, 12 UTC konvektifleşmeye müsait potansiyel enerji tahmininde, Diyarbakır ve Batman'da 2000-2500 jkg^{-1}, Malatya, Tunceli, Bingöl, Muş, Adıyaman ve K.maraş'da 700 jkg^{-1}, Elazığ'ın kuzeybatısında (Ağın ilçesi) 700-1000 jkg^{-1}, Elazığ merkez, Elazığ'ın batı ve güneyi, Elazığ-Sivrice, Alacakaya ile Maden'in doğusunda 1600-2000 jkg^{-1}'lık CAPE'e ulaştığı görülürken, 0-6 km dikey rüzgar shear tahmininde, Gaziantep, Adıyaman, Malatya, Elazığ, Tunceli'de 50-65 kt'lık kora sahip dikey rüzgar shearinin, Maden'de 55-60 kt olduğu görülmektedir (Şekil 29-sağda).

4 km çözünürlüklü WRF-3DVar asimilasyon modeli, 13 UTC'de CAPE'i, 2000-2500 jkg^{-1} olarak tahmin ederken, Diyarbakır ve Batman şehir merkezinin kuzeyine hareketiyle, Malatya il merkezi ve il merkezinin kuzeyi, Tunceli'nin güneyi, Bingöl'ün güneybatısı, Muş şehir merkezi ve Adıyaman'ın doğusunda 1000 jkg^{-1} olduğu, Elazığ'ın Ağın civarı, Keban Barajı'nın kuzeybatısında 1000-1200 jkg^{-1}, Keban, Baskil ve Sivrice'de 1200-1600 jkg^{-1}, Maden ile Elazığ ve doğusunda, 1600-2000 jkg^{-1} olduğu görülmektedir.0-6 km dikey rüzgar shear tahmininde; Gaziantep, Adıyaman, Malatya, Elazığ ve Tunceli'de 50-65 kt'lık korluk dikey rüzgar shearinin, Maden'de 55-60 kt olduğu görülmektedir (Şekil 30-solda).



Şekil 30. *4 km çözünürlüklü WRF 3DVar asimilasyon modeli, 13 UTC (solda) ve 14 UTC (sağda) için denize indirilmiş basınç, CAPE indeksi ve 0-6 km rüzgar shear tahmini*

14 UTC saati için 4 km çözünürlüklü WRF-3DVar asimilasyon modeli, konvektifleşmeye müsait potansiyel enerji tahmininde, günün en yüksek değeri olan 2000-2500 jkg^{-1} olan enerji alanının, son kez Tunceli'nin Mazgirt-Pertek ilçeleri arasında, Diyarbakır'ın kuzeydoğusu (Sur-Silvan-Bismil arası) ve kuzeybatısı üzerinde (Ergani'nin güneyi-hortum temas noktasının 20 km güneydoğusu) görülmekteyken, Diyarbakır-Elazığ-Tunceli hattının güneyinde 1600-2000 jkg^{-1} olan enerjinin, Elazığ merkez, Maden ilçesi ve Kovancılar'ın batısında olduğu görülmektedir. 0-6 km dikey rüzgar shear tahmininde, shear kor değerlerinde önemli bir değişim olmadığı (Maden civarında 55-60 kt olduğu) görülmektedir (Şekil 30-sağda).



Şekil 31. *4 km çözünürlüklü WRF 3DVar asimilasyon modeli, 15 UTC (solda) ve 16 UTC (sağda) için denize indirilmiş basınç, CAPE indeksi ve 0-6 km rüzgar shear tahmini*

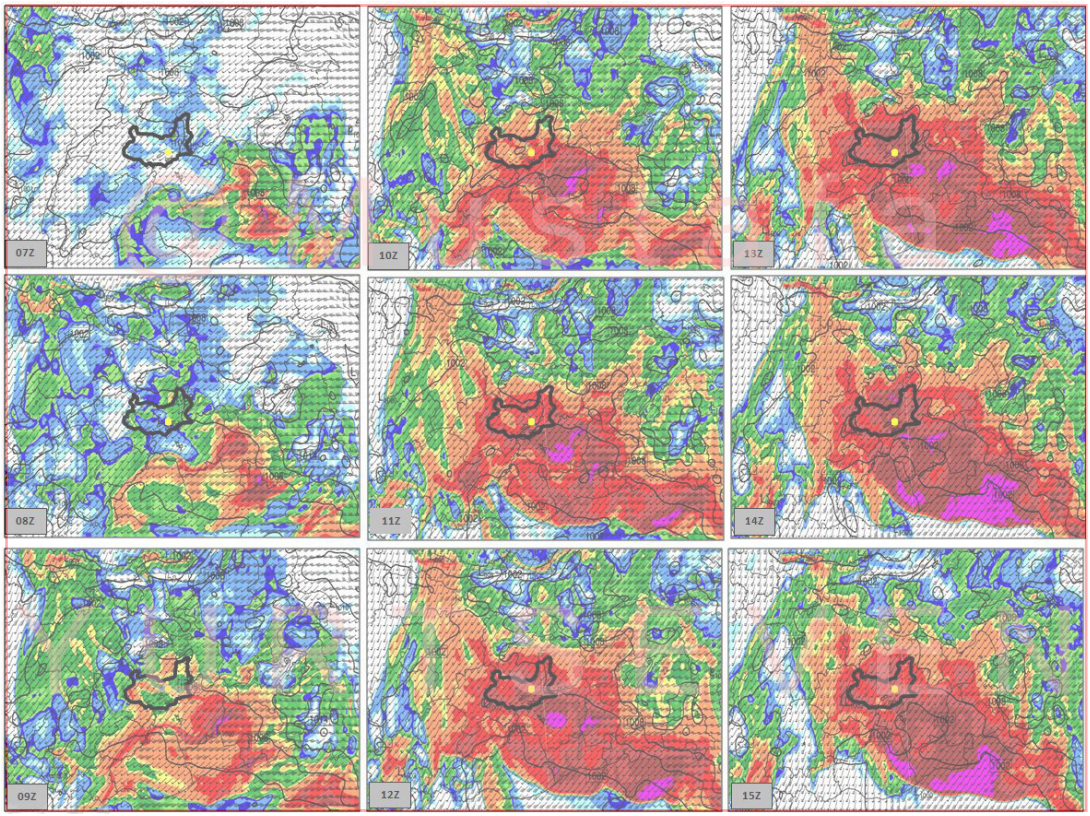
4 km çözünürlüklü WRF 3DVar asimilasyon modeli, 15 UTC'de, Diyarbakır ve Tunceli'de 2000-2500 jkg^{-1}'lık pik seviyeye ulaşan CAPE'in sona erdiği ve Diyarbakır il

merkezi üzerinde geniş bir alanda, Elazığ il merkezi ve Tunceli'nin güneyinde 1600-2000 jkg^{-1}, Elazığ-Malatya sınırı ile ile Tunceli'nin güneyinde 1200-1600 jkg^{-1} olduğu, Elazığ-Sivrice ile Diyarbakır'ın Çüngüş arasında 700-1000 jkg^{-1}'a düştüğü görülmektedir. 0-6 km dikey rüzgar shear tahminine göre, Gaziantep, Adıyaman, Malatya, Elazığ, Tunceli ekseninde 50-65 kt'lık kora sahip dikey rüzgar shearinin, Maden'de 50-55 kt olduğu görülmektedir (Şekil 31-solda).

4 km çözünürlüklü WRF-3DVar asimilasyon modelinin 16 UTC için konvektifleşmeye müsait potansiyel enerji tahmininde, 1600-2000 j kg^{-1}'lik kor alanının, sadece Diyarbakır-Batman arasında olduğu, Diyarbakır'ın büyük bir bölümünde (orta kısımları), Malatya-Elazığ arasındaki bölgede, Elazığ şehir merkezinin kuzeybatısında, Maden ilçesi civarında ve Tunceli'nin Pertek ilçesinin doğusundaki sınırlı alanlarda 1200-1600 jkg^{-1}'lik CAPE enerjisi görülmektedir).

Güneşin batışına yakın, 1300-1400 m yükseklikten yukarıdaki (karla kaplı alanların etkisi) alanlarda CAPE enerjisinin azaldığı dikkati çekmektedir. Fakat buna rağmen, Elazığ'ın kuzeybatısındaki Keban Baraj girişi ile Ağın ilçesi (CAPE enerjisi 700-1000 j kg^{-1}) hariç, Elazığ'ın tamamında CAPE enerjisi 1000 j kg^{-1}'ın üzerindedir. Modelin 0-6 km dikey rüzgar shear tahmininde; rüzgar shear korunda önemli bir değişim olmadığı (Maden ilçesi civarlarında 55-60 kt) görülmektedir (Şekil 31-sağda).

16 km çözünürlüklü ECMWF IFS deterministik hidrostatik modelinin, 12 UTC için denize indirilmiş basınç tahmininde; Adıyaman-Malatya civarı, Elazığ, Diyarbakır, Tunceli, Erzincan ve Erzurum çevrelerinde 1004 hPa ila 1008 hPa, Diyarbakır'ın kuzeyinde 750-1250 jkg^{-1} olmak üzere; il genelinde, Adıyaman'da 400-700 jkg^{-1}'lık CAPE'in Elazığ'a doğru uzanarak, Maden'in içerisinde bulunduğu şehrin güneydoğusunda 400-750 jkg^{-1}, il genelinde ise 200-400 jkg^{-1}'lık CAPE, batıdan Samsun-Kayseri-Niğde hattına doğru -20 ^{o}C izoterminin, Artvin-Erzincan, Malatya-K.maraş ve Gaziantep hattına doğru -17.5 ^{o}C izoterminin yaklaştığı, Erzincan, Sivas, Adana, Malatya ve Elazığ civarında 50-55 kt'lık rüzgar tahmin etmektedir (Şekil 33).

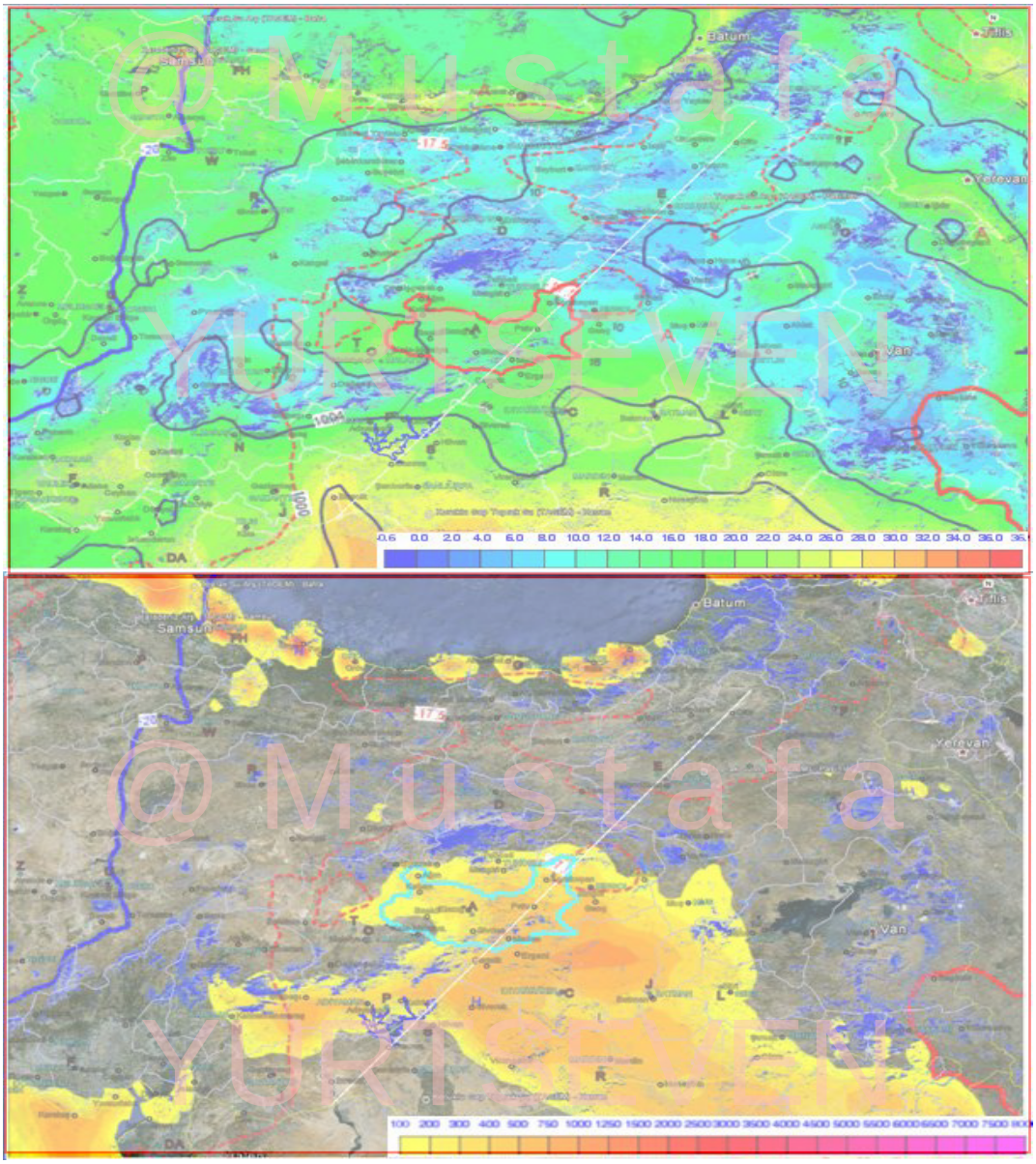


Şekil 32. *WRF 3D-Var modelinin bir saat aralıklarla 4 km çözünürlükte denize indirilmiş basınç ve CAPE indeksi tahmini (07-15 UTC arası)*

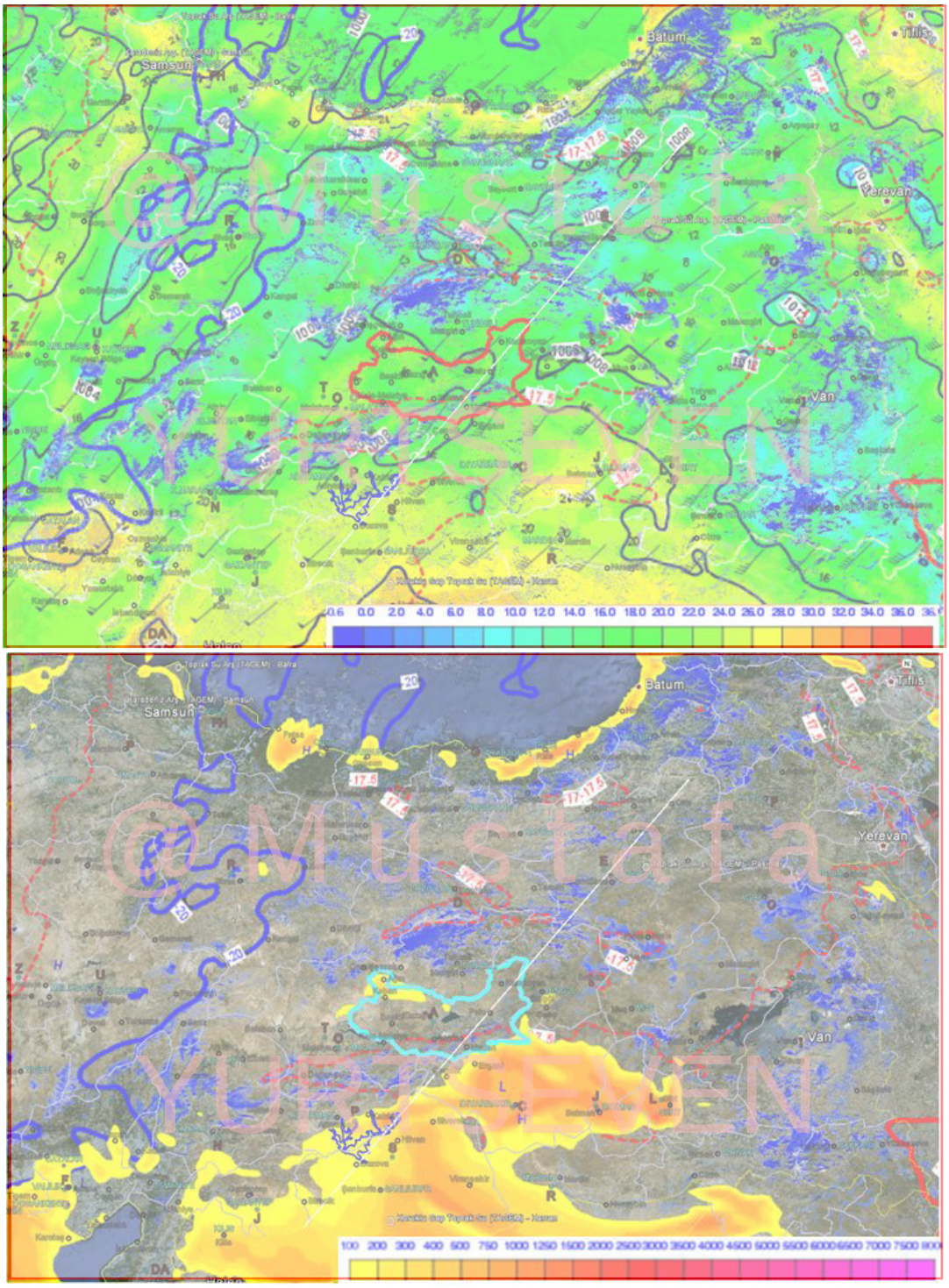
Alaro modeli, Diyarbakır'da 750-1250 jkg^{-1}, Adıyaman'ın güneydoğusunda 400-700 jkg^{-1} CAPE tahmin ederken, ECMWF'nin öngördüğü Elazığ'a uzanan CAPE alanını göstermemektedir. Model; CAPE'i, Diyarbakır, Şanlıurfa ile Adıyaman'ın güneydoğusunda doğru tahmin etmiştir. -20 ^{o}C izotermi, ECMWF modelinde, Sivas'a yaklaşmış, -17.5 ^{o}C izotermi, Doğu Karadeniz ile Elazığ arasındaki bölgede parçalı olarak tahmin etmiştir. 500 hPa rüzgarı; ECMWF'ye benzer olarak, Erzincan, Sivas, Adana'dan Malatya, Elazığ'a yaklaşan 50-55 kt olarak tahmin etmiştir (Şekil 34).

MM5 modeli 12 UTC denize indirilmiş basınç tahmininde; ECMWF'ye benzer olarak ; Malatya-Elazığ'a doğru 1005-1008 hPa'lık alçak basıncın yaklaştığı, CAPE'in; hem IFS hem de Alaro'dan farklı olarak, Diyarbakır, Adıyaman, Şanlıurfa ve Elazığ'da CAPE bulamazken, Adana, Gaziantep ve K.maraş'da 750-1250 jkg^{-1}'lık CAPE tahmin etmiştir. -20 ^{o}C izotermi, IFS modeline benzer şekilde Sivas'a yaklaşmamıştır.-17.5 ^{o}C izotermi, IFS ve Alaro'ya benzerken, 500 hPa rüzgarı, ECMWF ve Alaro gibi, Erzincan,

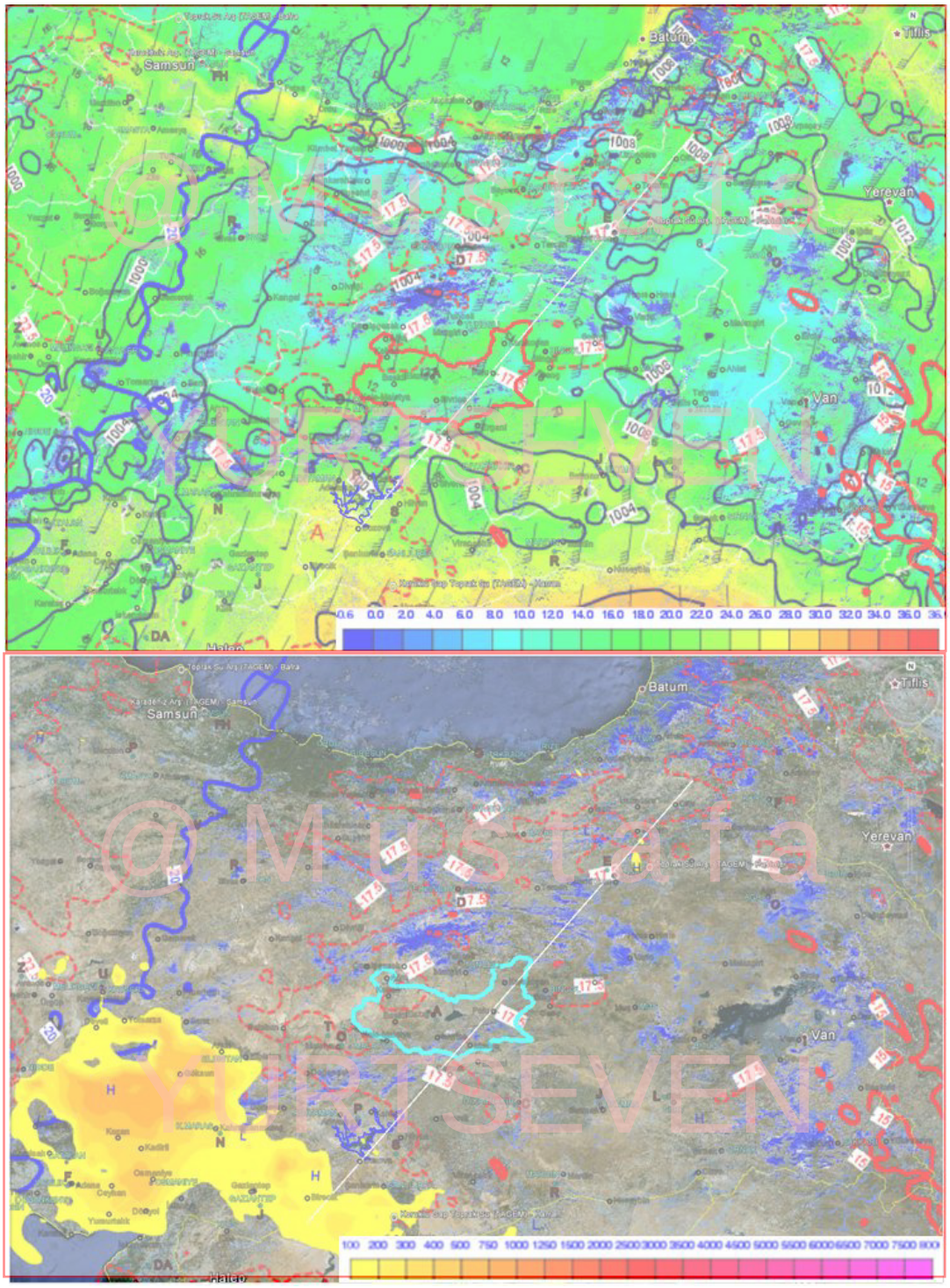
Sivas, Adana'dan Malatya, Elazığ'a yaklaşan 50-55 kt rüzgar hızı tahmin etmiştir (Şekil 35).



Şekil 33. *16 km çözünürlüklü ECMWF IFS deterministik modeli, 9 Nisan 2012 12 UTC, denize indirilmiş basınç, 2 m yer sıcaklığı ve 500 hPa rüzgar tahmini (üstte) ile 500 hPa sıcaklığı ve CAPE tahmini (altta) üzerinde Modis-Terra uydusunun 8 Nisan 2012 tarihinde 08:00-08:05 UTC doğu bölge geçişi, 2.1 µm, 1.6 µm ve 0.8 µm bileşik kanal RGB görüntüsü (sadece karlı alanlar-üstte)*

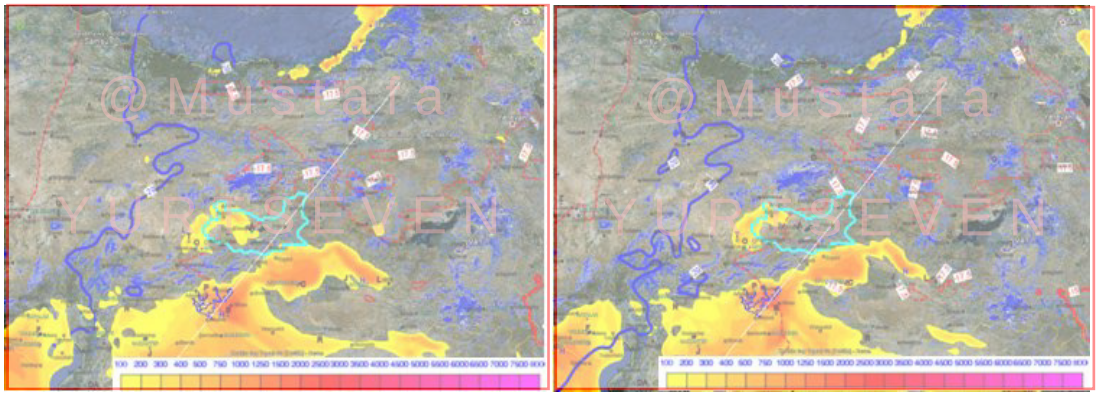


Şekil 34. *Alaro modeli, 9 Nisan 2012, 12 UTC denize indirilmiş basınç, 2 m yer sıcaklığı ve 500 hPa rüzgar ve sıcaklığı tahmini (üstte) ile Alaro modeli 500 hPa sıcaklığı ve CAPE tahmini (altta) üzerinde Modis-Terra uydusu, 8 Nisan 2012 tarihinde 08:00-08:05 UTC doğu bölge geçişi, 2.1 µm, 1.6 µm ve 0.8 µm bileşik kanal RGB görüntüsü (sadece karlı alanlar-üstte)*



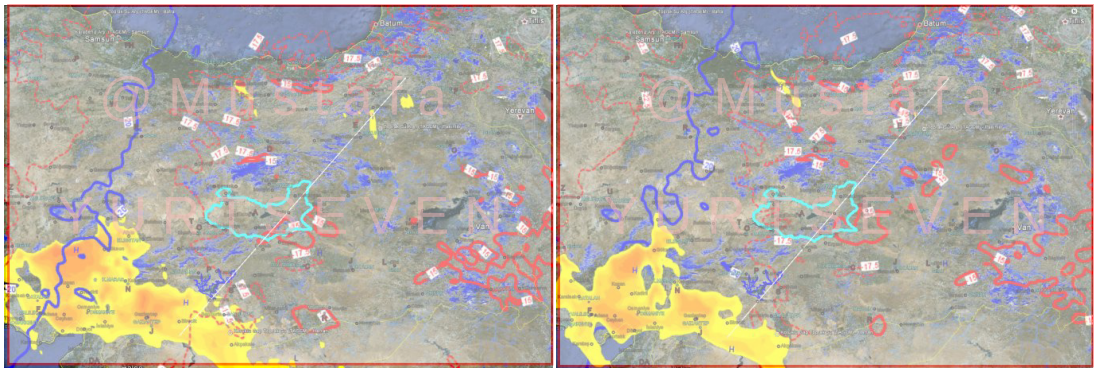
Şekil 35. *MM5 modeli, 9 Nisan 2012 tarih ve 12 UTC denize indirilmiş basınç, 2 m yer sıcaklığı ve 500 hPa rüzgar ve sıcaklığı tahmini (üstte), 500 hPa sıcaklığı ve CAPE tahmini (altta) üzerinde, Modis-Terra uydusu, 8 Nisan 2012, 08:00-08:05 UTC doğu bölge geçişi, 2.1 µm, 1.6 µm ve 0.8 µm bileşik kanal RGB görüntüsü (sadece karlı alanlar-üstte)*

Alaro modeli, 14 UTC 500 hPa tahmininde, -17.5 °C izoterm, Elazığ'ın doğusunda kabarırken (şehrin doğusunda ısınma), -20 °C izotermi; Malatya sınırına yaklaşmış, 15 UTC'de önemli bir değişiklik öngörmemiştir. 12 UTC için CAPE alanı, genel CAPE'e ilave olarak, Elazığ'ın kuzeybatısında 15 UTC'de, Elazığ'ın kuzeybatısı ile Malatya'nın batısında 100-300 jkg^{-1}'lık CAPE tahmin ederken, Şanlıurfa-Hilvan'da 12 UTC'de 750-1250 jkg^{-1}, 14 ve 15 UTC'de aynı alanlarda 1500-2000 jkg^{-1}'lık CAPE tahmin etmiştir. Modelin 14 UTC için 500 hPa tahmininde, -17.5 °C izoterm alanı Elazığ'ın doğusunda kabarma yapmış (doğusunda ısınma), 15 UTC'de önemli bir değişiklik öngörmemiştir (Şekil 36). Kararsızlık tahminiyle ilgili olarak, Alaro modeli Adıyaman'da ki baraj havzası dışında, hortum olan bölgede CAPE enerjisi oluşumunu desteklememiştir. Modelin CAPE tahmin yetersizliği, büyük ölçüde alt sınır tabaka sıcaklık ve nemini doğru tahmin edememesinden kaynaklanmaktadır.


@Mustafa YUPSEVEN
@Mustafa YUPSEVEN

Şekil 36. *Alaro modeli 9 Nisan 2012 14 UTC (solda) ve 15 UTC (sağda) 500 hPa seviye sıcaklığı ve CAPE indeksi tahmini ile Modis-Terra uydusu 8 Nisan 2012, 08:00-08:05 UTC (doğu bölge geçişi- 2.1 µm, 1.6 µm,0.8 µm RGB-sadece karla kaplı alanlar-üstte)*

MM5 modeli 14 UTC 500 hPa tahmininde; -17.5 °C izotermi, Elazığ ve Malatya'ya yaklaşırken, -20 °C izotermi Sivas-Adana'ya yaklaşmış, Maden'de, modelin CAPE tahmini en küçük bir korelasyon dahi sergilememiştir. 15 UTC'de, -17.5 °C izotermi Elazığ-Baskil'e yaklaşmıştır (Şekil 37-solda). Model, 12 UTC'de K.maraş'ta CAPE'i daraltarak, Adıyaman ve Gaziantep'de 500-750 jkg^{-1} tahmin etmiştir (Şekil 37-sağda). MM5 modelinin; CAPE'i, hortum bölgesinde hiç tahmin edememesi, Alaro modeli gibi, yer sıcaklık ve işba sıcaklığını doğru tahmin edememesinden kaynaklanmaktadır.

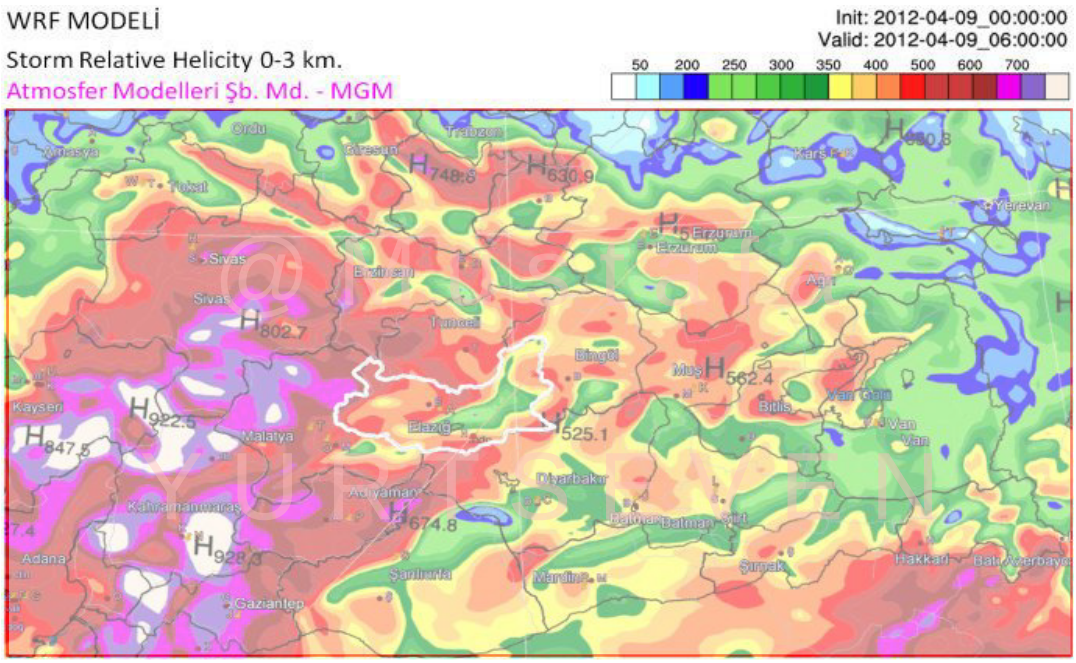


Şekil 37. *MM5 modeli 9 Nisan 2012 14 UTC (solda) ve 15 UTC (sağda) 500 hPa seviye sıcaklığı ve CAPE indeksi tahmini ile Modis-Terra uydusu 8 Nisan 2012, 08:00-08:05 UTC (doğu bölge geçişi- 2.1 µm, 1.6 µm, 0.8 µm RGB-sadece karla kaplı alanlar-üstte)*

10.3. Oraj nisbi sarmal indeksi tahmini

Hortum oluşum sürecinde; bulutun en alt 1/3'lük tabakasında mevcut dönme potansiyelini ifade eden, oraj nisbi sarmal (Storm Relative Helicity-SREH) indeksi, her ne kadar oraj fırtınası oluştuktan sonra dinamik olarak ortaya çıkan, arka kanat downdraft boşalım katkısını ifade etmese bile, statik olarak bu büyüklüğün miktarı, model tahmin öngörüsü anlamında önemlidir.

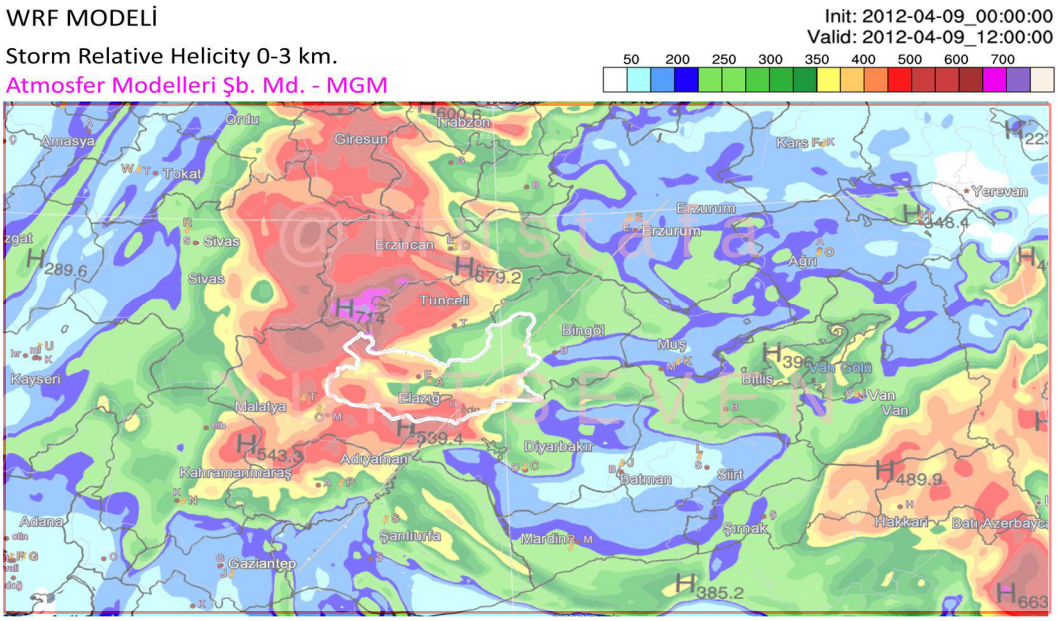
Hortum hadisesini desteleyen meteorolojik parametreler çok dar alanda gerçekleştiğinden, WRF-3DVar asimilasyon modeli sonuçları, Elazığ ve hortuma yola açan bulutun geliş yönü olan Maden'in güneyi, Adıyaman'ın kuzeydoğusu ve Diyarbakır'ın kuzeybatısına odaklanılarak, tetikleme mekanizması bakımından incelenecek olup, oraj sarmalı indeks tahminlerinde, diğer yerlerdeki yüksek değerlerden bahsedilmeyecektir. 4 km çözünürlüklü WRF-3D-Var asimilasyon modeli, 0-3 km oraj nisbi sarmalının 06 UTC tahmininde, Karadeniz'in kıyı kesimleri, Rize, Artvin, Kars, Iğdır ve Van dışında Ordu, Sivas, Kayseri, Adana ve doğusunda kalan şehirlerde, 450 m^2s^{-2} değeri üzerinde 0-3 km oraj sarmal değerleri görülmekte olup, Adana ve K.maraş'tan Giresun ve Trabzon'a uzanan hatta, 930 m^2s^{-2} sarmal değeri üzerinde, 0-3 km oraj sarmalı pik indeks değeri bulunmaktadır. SREH, Elazığ'ın doğusunda 250-300 m^2s^{-2}, Keban ve Ağın'da 550-600 m^2s^{-2}, Adıyaman'ın Kahta ve Gerger (Maden'in güneyi) arasında 600-700 m^2s^{-2} olup, yüksek sarmal değerlerinin olduğu alan, hortum noktasına 60 km mesafededir (Şekil 38).



Şekil 38. *4 km çözünürlükte WRF 3DVar asimilasyon modelinin 06 UTC için 0-3 km oraj nisbi sarmalı indeks tahmini*

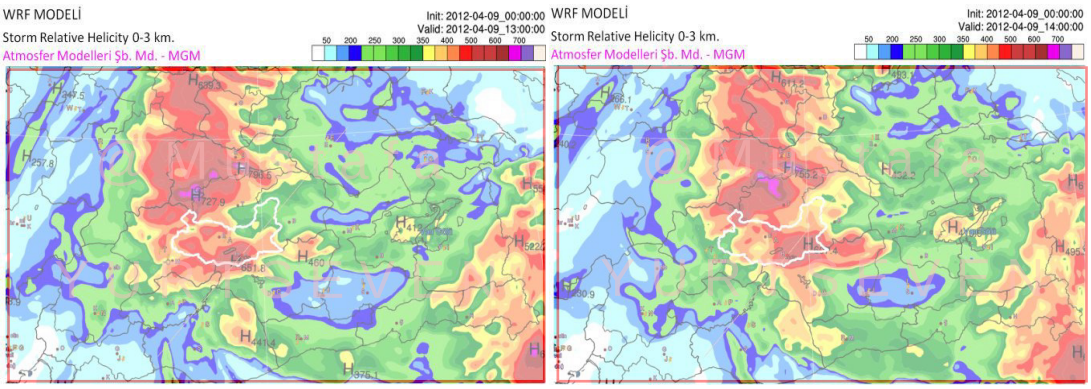
WRF modelinin 3DVar asimilasyon modeli, 12 UTC için 0-3 km oraj nisbi sarmal indeks tahmininde, Sivas'ın doğusu, Malatya, Giresun, Erzincan'ın batısı ve Adıyaman'ın kuzeybatısında 400-650 m^2s^{-2}, Erzincan'ın Kemaliye ilçesinde 750 m^2s^{-2}, Malatya'nın doğusunda Doğanyol ilçesi (Maden'in güneybatısı), Diyarbakır'ın Çüngüş ilçesi ve Elazığ'ın Sivrice ve Maden ilçelerinin güneyinde 475-600 m^2s^{-2} (hortum başlangıç noktasının 10 km güneybatısında, 600 m^2s^{-2}, Elazığ'ın kuzeybatısında 225-300 m^2s^{-2}'lik oraj nisbi sarmal alanı olduğu görülmektedir.

WRF-3DVar asimilasyon modelinin 0-3 km oraj nisbi sarmalına bakıldığında; K.maraş'ın Elbistan ilçesinin Bakış yerleşim merkezinin doğusunda, 543 m^2s^{-2}, Erzincan'ın Kemaliye ilçesinde 714 m^2s^{-2}, Malatya'nın doğusunda, Doğanyol üzerinde 589 m^2s^{-2}'lik 0-3 km oraj nisbi sarmalı pik değerleri bulunmaktadır (Şekil 39). WRF 3DVar asimilasyon modelinin 0-3 km oraj nisbi sarmalı tahmininde; hortum güzergahında bulunan Malatya'nın Doğanyol ilçesi ile Diyarbakır'ın Çüngüş ilçesinde bulunan 399 m^2s^{-2}'lik oraj nisbi sarmal değerinin, süper hücreli orajların oluşumunu destekleyerek hortum dönüşüne katkı sağladığı anlaşılmaktadır.



Şekil 39. *4 km çözünürlükte WRF 3DVar asimilasyon modelinin 12 UTC için 0-3 km oraj nisbi sarmalı indeks tahmini*

4 km çözünürlüklü WRF-3D-VAR asimilasyon modeli 13 UTC tahmininde; Sivas'ın doğusu, Giresun, Trabzon, Malatya, Erzincan, Tunceli, Adıyaman ve Diyarbakır'ın kuzeyi ile Şanlıurfa'nın doğusunda 350-750 m^2s^{-2}'lik 0-3 km oraj nisbi sarmalı vardır. Erzincan-Kemaliye'nin doğusu ile (728 m^2s^{-2} pik değer) Kemah'ın güneyinden (650 m^2s^{-2} pik, 400 m^2s^{-2} ortalama) Mollaköy'e (796 $m^2 s^{-2}$) doğru 0-3 km oraj nisbi sarmal değerlerinin bulunduğu görülmektedir (Şekil 40-solda).

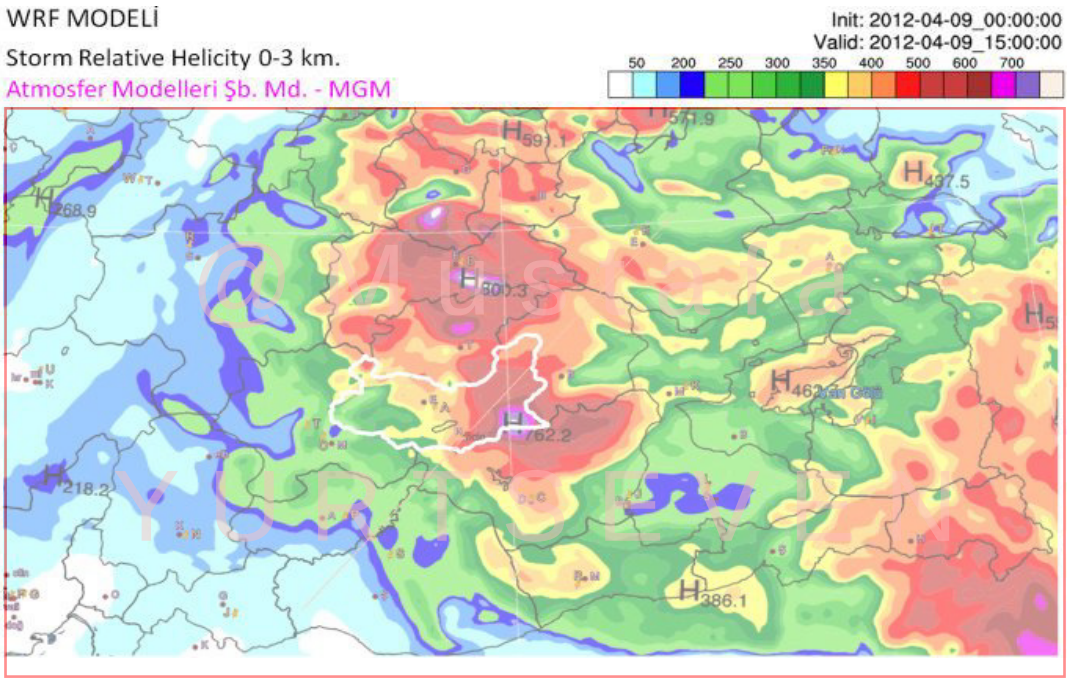


Şekil 40. *4 km çözünürlüklü WRF 3DVar asimilasyon modelinin 13 UTC (solda) ve 14 UTC (sağda) için 0-3 km oraj nisbi sarmalı indeks tahmini*

Elazığ'ın kuzeydoğusunda Kovancılar ve Karakoçan'da 225-350 m^2s^{-2}, Ağın, Sivrice, Maden, Baskil ile, Malatya'nın Beydağı, Kale ve Doğanyol'da 450-650 m^2s^{-2}

hortumun başlangıç noktası Dutpınar köyüne 10 km mesafede, Maden'in Eğrikavak yerleşim merkezinde 652 m^2s^{-2} (pik değer) oraj nisbi sarmalı bulunmaktadır.

WRF 3D-Var asimilasyon modeli 14 UTC tahmininde; Giresun, Gümüşhane, Bayburt, Trabzon, Erzincan, Tunceli, Malatya'nın kuzeydoğusu, Diyarbakır'ın kuzeybatısı, Mardin'in batısı, Şanlıurfa'nın doğusu, Sivas'ın Divriği ve İmranlı ile Elazığ civarında 350-700 m^2s^{-2} oraj nisbi sarmalı görülmekte olup, Tunceli-Ovacık'ta 650-700 m^2s^{-2}, Erzincan-Kemah'ın güneyinde 700-750 m^2s^{-2}'lik oraj nisbi sarmalı, Trabzon-Düzköy'de 611 m^2s^{-2} ve Erzincan il merkezinin güneyinde 755 m^2s^{-2}'lik pik oraj nisbi sarmalı bulunmaktadır. Elazığ'ın güneydoğusundaki (Maden, Alacakaya, Arıcak ve Palu) ilçelerde 550-650 m^2s^{-2}, Alacakaya, Arıcak ve Palu arasındaki Yarımtepe, Tarhana ve Kayahisar köyleri arasındaki bölgede 607 m^2s^{-2} değerinde 0-3 km oraj nisbi sarmalı pik değeri bulunmaktadır (Şekil 40-sağda).



***Şekil 41**. 4 km çözünürlükte WRF 3DVar asimilasyon modeli 15 UTC 0-3 km oraj nisbi sarmalı indeks tahmini*

4 km çözünürlüklü WRF-3DVar asimilasyon modeli 15 UTC tahmininde; Giresun'un doğusu, Trabzon ve Rize'nin iç bölümleri, Gümüşhane, Bayburt, Rize'nin iç bölümleri, Artvin'in güneyi, Erzincan, Tunceli, Elazığ, Diyarbakır'ın kuzeyi ile orta bölümleri, Bingöl'ün kuzey ve batısı ile Erzurum'un güneyinde 350-800 m^2s^{-2}'lik

0-3 km oraj nisbi sarmalı görülmektedir. Elazığ'ın doğusunda 350-760 m^2s^{-2}, güneydoğusunda; Palu, Alacakaya, Arıcak (Erimli yerleşim merkezinde 762 m^2s^{-2}'lik pik oraj nisbi sarmalı) ile Diyarbakır-Dicle üzerinde 700-750 m^2s^{-2}, güneybatısında Baskil'de 225-300 m^2s^{-2}'lik 0-3 km oraj nisbi sarmalı bulunmaktadır (Şekil 41).

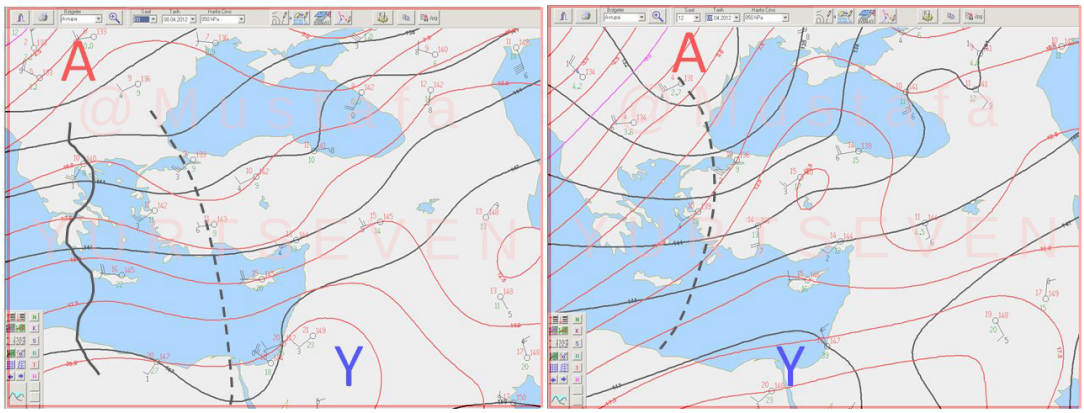
11. YUKARI SEVİYE ANALİZLERİ

Süper hücreli oraj fırtınalarının, oluşumunda yer ve yere yakın seviyelerde ısınma nedeniyle kararsızlık rol oynarken, yukarı seviye atmosfer koşulları, oraj fırtına hücresinin organizasyonu ve ömründe kritik rol oynamaktadır. Bu nedenle, bu bölümde; gerek balon atılarak yapılan radyosonde gözlemleri, gerekse atmosfer modellerinin 850, 700, 500 ve 300 hPa seviyesindeki tutarlılıkları incelenecektir.

11.1. 850 hPa seviye analizi

8 Nisan 2012, 00 UTC'de Romanya üzerinde 135 dam'lik alçak merkez bulunmaktayken, Mısır'ın batısından Yunanistan'a uzanan sırt bulunmaktadır. Sırtın önünde; Marmara bölgesinde, Isparta üzerine, oradan da Mısır'a uzanan trof hattı bulunmaktadır (Şekil 42-solda). 8 Nisan 2012, 12 UTC'de Romanya'da ki alçak merkezin; Bulgaristan üzerinde bulunmasıyla, trof hattı Kırklareli, Balıkesir, Aydın üzerinde görülmektedir. Trofun hareketine sonucunda, sırt kabarmasına bağlı olarak, 15 ^oC'lik sıcak hava, İç Anadolu üzerinde bulunmaktadır (Şekil 42-sağda).

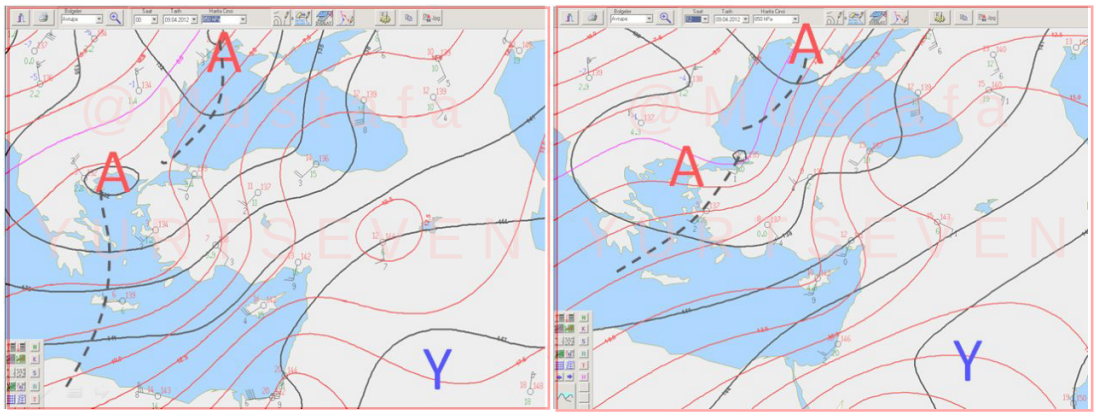
9 Nisan 2012, 00 UTC'de, Romanya üzerinde bulunan alçak merkezin 8 Nisana göre durumunu derinleştirerek, Kırım'ın batısı ve Selanik üzerinde 132 dam'lik parçalı şekilde iki alçak merkez oluşturduğu görülmektedir. Derinleşen alçak merkezin serin havası, Türkiye'nin batısında bir gün öncesine göre İzmir'de 8 ^oC düşerek, 3 ^oC'ye inmiş olup, doğu bölgelerimiz üzerinde, sıcak havanın kabarmasına bağlı olarak alt atmosfer üzerinde, sıcak havanın (Samsun'da 14, Adana'da 13, Erzurum'da 12 ^oC 850 hPa seviye sıcaklıkları) oluşmasına sebep olmuştur (Şekil 43-solda).



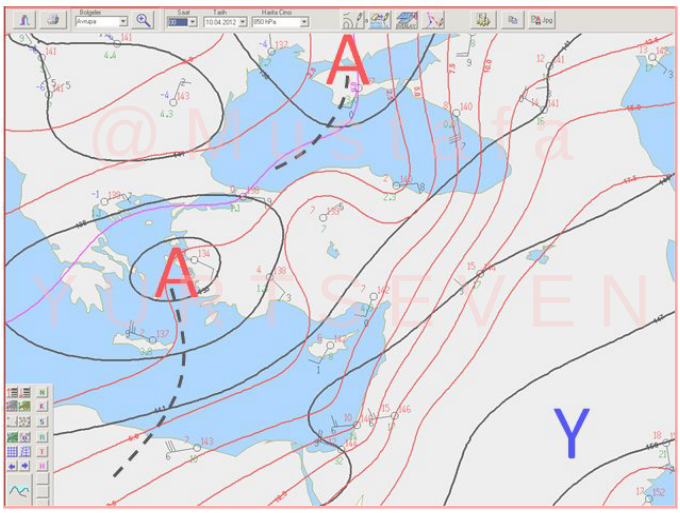
Şekil 42. *8 Nisan 201,2 850 hPa seviye haritası, 00 UTC (solda) ve 12 UTC (sağda)*

9 Nisan 2012, 12 UTC saatinde, Kırım üzerindeki alçak merkeze bağlı trof hattı, İstanbul'a doğru uzanırken, İstanbul üzerinde 135 dam değerindeki alçak merkeze bağlı diğer trof hattı, İzmir üzerinden Girit'e doğru uzanmaktadır. Alçak merkez ve trof hattının doğuya hareketi ile Türkiye'nin batısı, alt atmosferde soğuk hava çöküşü ve izoterm sıkışıklığına maruz kalırken, doğu bölgelerimiz üzerinde sıcak havanın, kabararak (Diyarbakır bir önceki güne göre 4 ^{o}C, Samsun 1 ^{o}C ısınarak 15 ^{o}C'ye çıkmıştır), bir süre daha devam etmesini sağlamıştır (Şekil 43-sağda).

850 hPa seviye rüzgarları, 8 Nisan 2012, 12 UTC saatinde, Diyarbakır üzerinde güney yönünden (160 dereceden) 6 kt iken (Şekil 42-solda), 9 Nisan 2012, 00 UTC'de güney yönünden (180 dereceden) 13 kt (Şekil 43-solda), trof önündeki serin havanın Doğu Akdeniz üzerine çökmesi sonucu, 12 UTC saatinde rüzgarın güneydoğu yönünden (120 dereceden) 10 kt değerinde esmesini sağlamıştır.



Şekil 43. *9 Nisan 2012, 850 hPa seviye haritası, 00 UTC (solda) ve 12 UTC (sağda)*



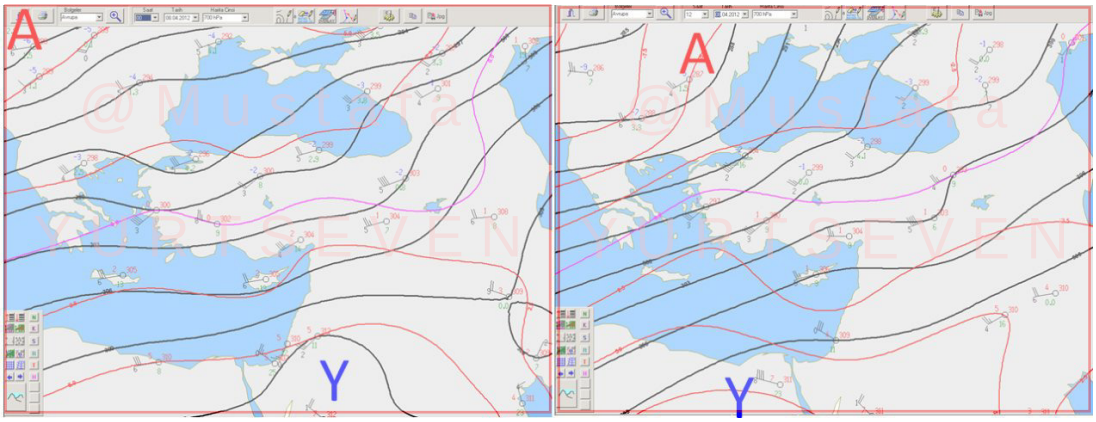
Şekil 44. *10 Nisan 2012, 00 UTC 850 hPa haritası*

10 Nisan 2012, 00 UTC'de, Samsun'un 850 hPa sıcaklığı, 13 °C azalarak 2 °C olmuş, Diyarbakır 15 °C olarak kalmıştır. Bu durum; doğu bölgelerimiz üzerinde, sıcak bir hava kaynağının devam ettiğini ifade etmektedir (Şekil 44).

11.2. 700 hPa seviye analizi ve WRF modeli tahminleri

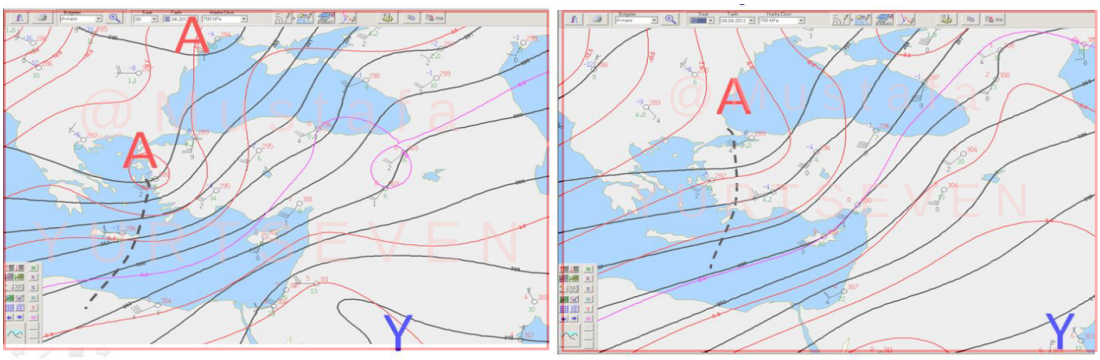
8 Nisan 2012, 00 UTC'de Orta Avrupa üzerinde 288 dam'lik alçak merkez bulunmaktayken, Türkiye üzerinde önemli bir basınç merkezi bulunmamakta, 296-305 dam aralığında geopotansiyel yükseklik ile 20-40 kt'lık 700 hPa seviye rüzgarı bulunmaktadır (Şekil 45-solda). 8 Nisan 2012, 12 UTC'de Orta Avrupadaki alçak merkezin 285 dam'ye düşmesiyle, Türkiye'nin kuzeybatısında rüzgar hızı, 5-10 kt artmıştır (İstanbul'da 240 dereceden 35 kt, Ankara'da 200 dereceden 30 kt 'a ulaşmıştır, Şekil 45-sağda).

9 Nisan 2012, 00 UT'de, 288 dam'lik kapalı alçak merkezin, İzmir üzerine konumlanmasıyla, Adana'nın doğusundan Ordu üzerine doğru sıcak hava kabarması (Samsun'da 2 °C ısınma) görülmektedir (Şekil 46-solda). 12 UTC'de, sistemin doğuya hareketine bağlı olarak, 700 hPa seviye rüzgarları Samsun'da, 200 dereceden 37 kt'a (12 kt artış) ve Diyarbakır'da 200 dereceden 25 kt'a (9 kt artış) ulaşmıştır. Bu durum; Adana-Samsun hattının hemen ilerisinde, hortum hadisesinden 3-4 saat önce, rüzgar analiz değerlerinde artış olduğunu ifade etmektedir (Şekil 46-sağda).



Şekil 45. *8 Nisan 2012, 700 hPa seviye haritası, 00 UTC (solda) ve 12 UTC (sağda)*

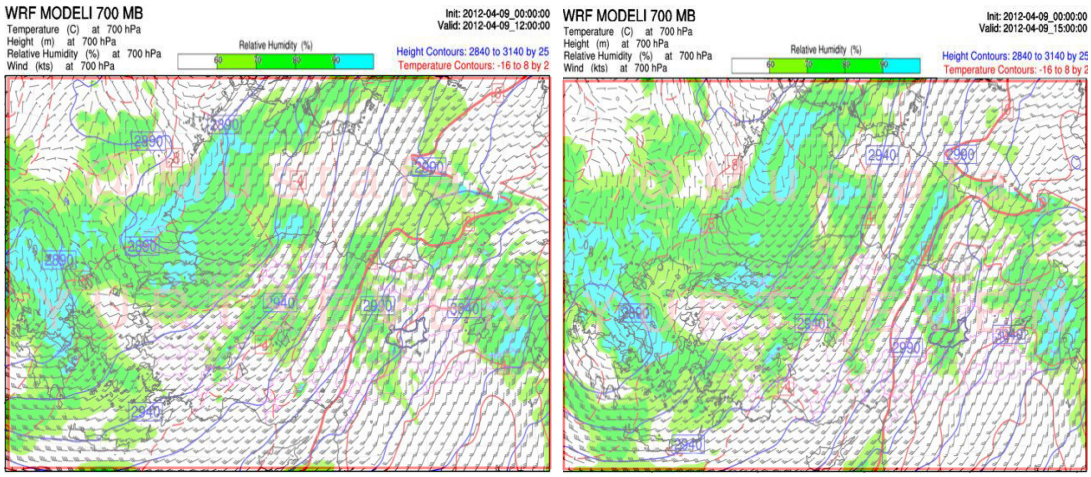
12 km çözünürlüklü WRF-3DVar asimilasyon modeli, 9 Nisan 2012, 12 UTC, 700 hPa tahmininde; 299 dam'lik konturun Giresun-Sivas-Adana hattından geçtiği, Elazığ'da 302 dam'lik kontur değerinin olduğu, 700 hPa neminin; Sivas, Malatya, Adıyaman ve Şanlıurfa'nın batısında; % 60'ı, Malatya'nın doğusunda % 90'ı aştığı, 0 ^{o}C izoterminin Ordu, Sivas'ın batısı, K.maraş ve Osmaniye'den geçtiği, Elazığ'ın batısının 1.5-2.0 ^{o}C, doğusunun 2.0-3.0 ^{o}C olduğu görülmektedir (Şekil 47).



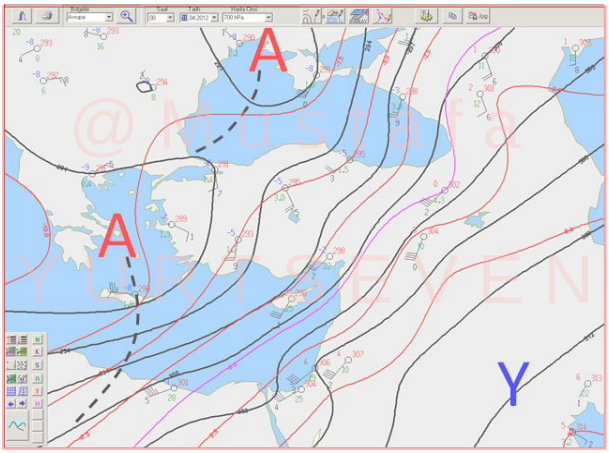
Şekil 46. *9 Nisan 2012, 700 hPa seviye haritası, 00 UTC (solda) ve 12 UTC (sağda)*

WRF-3DVar asimilasyon modelinin 700 hPa seviyesi rüzgar tahmininde; Kıbrıs, Doğu Akdeniz, Doğu Anadolu'nun batısından, Orta ve Doğu Karadeniz bölgelerine doğru, orta seviye jetinin uzandığı görülmektedir. Adana'da 25-30 kt olan seviye rüzgarları, Kayseri, Malatya, Sivas, Tunceli ve Erzincan'da 35-45 kt'a, Orta ve Doğu Karadeniz bölgelerinde 45-55 kt'a ulaşmaktadır. Elazığ'ın batısında, 35-40 kt, doğusunda 30-35 kt'lık seviye rüzgarı tahmin edilmektedir (Şekil 47-solda).

WRF-3DVar asimilasyon modeli 9 Nisan 2012, 15 UTC 700 hPa tahmininde; aynı geopotansiyel yüksekliğe sahip eğrileri 50 km doğuya hareket etmiştir. % 60'ı geçen nem bölgesi; Sivas'ın doğusu, Giresun ve Trabzon'un güneyi, Erzincan, Tunceli, Elazığ ve Şanlıurfa'nın kuzeyine hareket etmiştir. 700 hPa seviye sıcaklığında en büyük değişim, 2 °C izoterm eğrisinde görülmekte olup, Erzincan ve Erzurum üzerinden Doğu Karadeniz'e uzanan izoterm sırtı kırılmaya başlamış olup, Elazığ üzerindeki sıcaklıklarda çok fazla bir değişim olmayıp, Tunceli ve Erzincan üzerinde % 90'ı geçen nem bölgesi bulunmaktadır. Fakat 700 hPa seviyesinde en büyük değişim, jet korunun hareketinde görülmektedir. Orta seviye jeti; Hatay, Kilis, K.maraş, Adıyaman, Malatya, Elazığ (35 kt), Tunceli, Sivas, Erzincan, Ordu (30-40 kt), Giresun ve Trabzon'da (40-55 kt) bulunmaktadır (Şekil 47-sağda).



Şekil 47. *12 km çözünürlüklü WRF 3DVar asimilasyon modeli, 9 Nisan için 700 hPa seviye haritası tahmini, 00 UTC (solda) ve 12 UTC (sağda)*

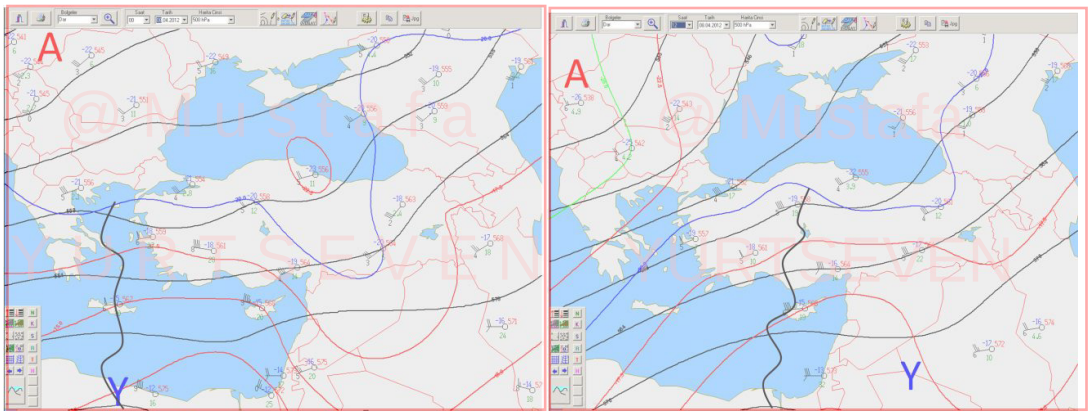


Şekil 48. *10 Nisan 2012, 00 UTC 700 hPa haritası*

10 Nisan 2012, 00 UTC'de, seviye rüzgarı; Diyarbakır'da güney-den (200 derece) 41 kt (16 kt artış), Erzurum'da güneybatı yönünden (220 derece) 33 kt'a (12 kt artış) ulaşmıştır. Bu durum; hortumdan 8-9 saat önce, hortum oluşan bölgede, 35-40 kt'lık rüzgar olduğunu göstermektedir (Şekil 48).

11.3. 500 hPa seviye analizi ve WRF modeli tahminleri

8 Nisan 2012, 00 UTC 500 hPa seviye analizinde; -20 °C'ye sahip serin havanın Doğu Anadolu ile Güneydoğu Anadolu'nun batısına indiği (Şekil 49-solda), fakat 12 UTC saatinde güneş radyasyonuna bağlı doğal ısınma ve Hırvatistan üzerine doğru soğuk hava çöküşüyle, Mısır'dan Doğu Akdeniz'e doğru sıcak havanın kabarmasıyla, Karadeniz sınırlarına doğru çekildiği görülmektedir (Şekil 49-sağda), Türkiye üzerinde hem 00 UTC, hem de 12 UTC saatlerinde batılı yönlerden, İzmir ve Isparta'da 50 kt'lık rüzgar hızları görülürken, Doğu bölgelerimize doğru seviye rüzgar hızlarının 30 kt'a düştüğü görülmektedir (Şekil 49).

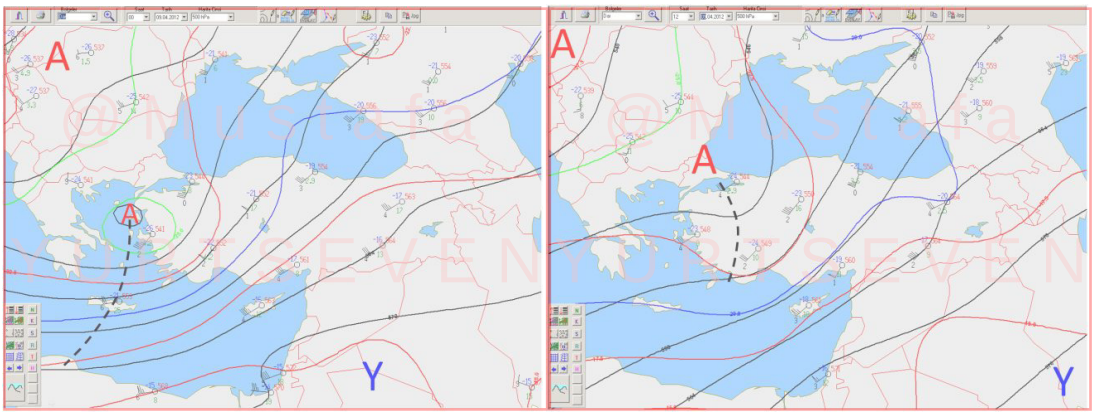


Şekil 49. *8 Nisan 2012 için 500 hPa seviye haritası, 00 UTC (solda) ve 12 UTC (sağda)*

9 Nisan 2012, 00 UTC'de 540 dam'lık alçak merkez ve beraberindeki -25 °C'lik serin havanın, Kuzey Ege denizi üzerine çökmesiyle, Türkiye'nin batısı trof önünde kalırken, Doğu bölgelerimiz; 00 UTC'de -16 ila -17 °C izoterminin etkisinde kalmış (Şekil 50-sağda), 12 UTC'de trofun İç Ege bölgesine ilerlemesine bağlı olarak, Erzurum'a -20 °C, Diyarbakır'a -17 °C izoterminin indiği görülmektedir. Sistemin çöküşüne bağlı olarak 500 hPa seviye rüzgar hızı; 9 Nisan, 00 UTC'de Girit'ten (60 kt) Ankara'ya (50 kt) uzanan jet hattının, 12 UTC'de Kıbrıs (65 kt)-Adana (50 kt)-Samsun (65 kt) hattı boyunca uzandığı görülmekte olup, Diyarbakır üzerinde 45 kt, Erzurum'da 30 kt'lık 500 hPa rüzgar hızı bulunmaktadır (Şekil 50-sağda).

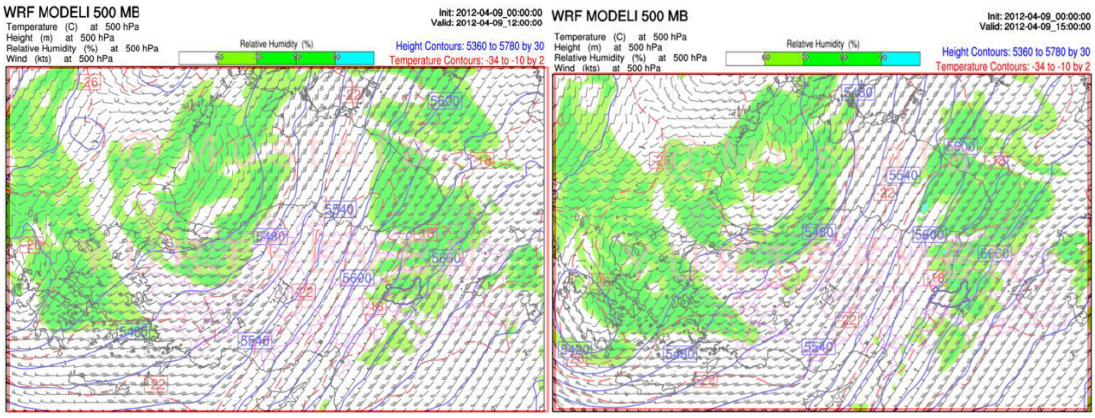
12 km çözünürlüklü WRF-3DVAR asimilasyon modeli 9 Nisan 2012, 12 UTC 500 hPa tahmininde; 560 dam'lik konturun, Giresun ve Sivas'tan Adana'ya uzandığı, Elazığ üzerinde 563-566 dam aralığında geopotansiyel yükseklik değerleri olduğu

görülmektedir. -18 °C izotermi Trabzon ve Erzincan üzerinden Elazığ'a, oradan da Malatya ve Kilis üzerinden Hatay'a uzanmakta olup, Tunceli'nin güneyi ile Elazığ'ın kuzeybatısı üzerinde serin hava girişi görülmektedir. (Şekil 51-solda)



Şekil 50. *9 Nisan 2012 için 500 hPa seviye haritası, 00 UTC (solda) ve 12 UTC (sağda)*

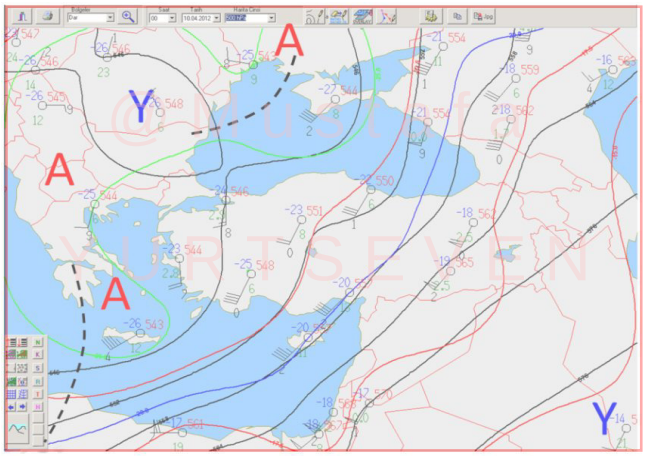
700 hPa seviyesinde; Doğu Karadeniz, Erzincan, Tunceli, Elazığ, Bingöl, Malatya ve D.bakır'ın kuzeyi ile Şanlıurfa'da, % 60'ı geçen nem alanları görülmektedir. Seviye rüzgarı, Alanya-Hatay arasındaki bölgeden, Kastamonu-Giresun arasındaki bölgeye, 50-60 kt'lık jet koridoru oluşturmuştur. Elazığ üzerinde 40-45 kt'lık seviye rüzgarları bulunmaktayken, Elazığ'ın batı ve güneybatısından 50-55 kt'lık rüzgar akımları Elazığ'a doğru yaklaşmaktadır (Şekil 51-solda).



Şekil 51. *12 km çözünürlükte WRF-3DVar asimilasyon modeli 500 hPa seviye haritası tahmini, 00 UTC (solda) ve 12 UTC (sağda)*

WRF-3DVar asimilasyon modeli 15 UTC 500 hPa tahminine göre, geopotansiyel yüksekliklerde, doğuda önemli bir değişiklik yokken, Tunceli'nin

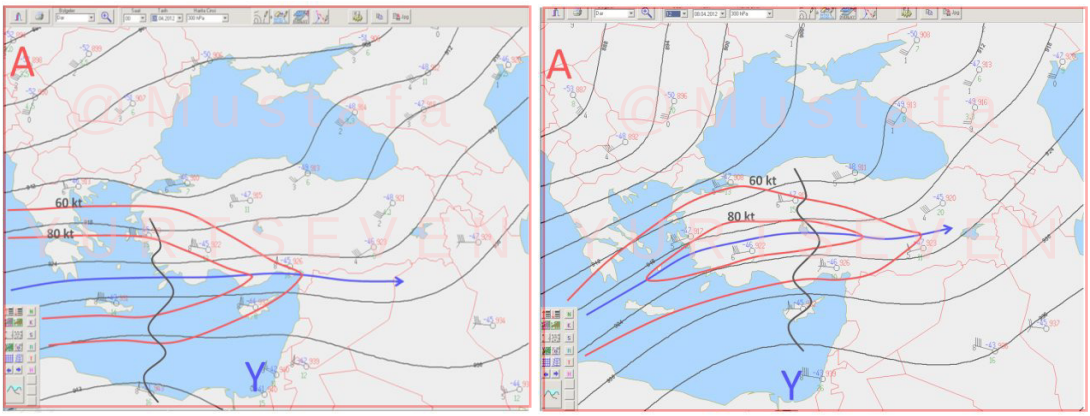
güneyi ile Elazığ'ın kuzeybatısındaki -18 °C izoterm çöküşü ortadan kalkarak, Adıyaman'ın batısından iç bölgelere, -18 °C'lik serin hava yaklaşmıştır (Şekil 51-sağ). 500 hPa seviye rüzgarları çok önemli bir değişiklik göstermemekle birlikte, Elazığ'ın doğusunda 5 kt artarak, Elazığ'ın tamamında 45 kt, güney ve batısında ise, 45-50 kt rüzgar hızı bulunmaktadır. % 60'ı geçen nem bölgesi, Elazığ'ın doğusu, Tunceli, Bingöl, Muş, Diyarbakır, Şanlıurfa, Giresun, Trabzon, Erzincan ve Erzurum'da bulunmaktadır (Şekil 51-sağ). 10 Nisan 2012, 00 UTC'ye (hortum oluşumundan dokuz saat sonrası) ait 500 hPa seviyesi analizinde; İç Ege üzerindeki trof hattının Kırım'ın batısına hareketi ve Ege denizi üzerinde bir başka parçalı trofun yaklaşmasıyla -20 derecelik izoterm hattı Adana-Trabzon hattına doğru uzanmaktadır. 500 hPa seviyesinde, Erzurum üzerinde 60 kt, Diyarbakır üzerinde 55 kt rüzgar hızı görülmektedir. 500 hPa seviyesinde jet akımı, Hatay-Trabzon hattı üzerine kaymıştır (Şekil 52).



Şekil 52. *10 Nisan 2012 00 UTC 500 hPa seviye haritası*

11.4. 300 hPa seviye analizi ve WRF modeli tahminleri

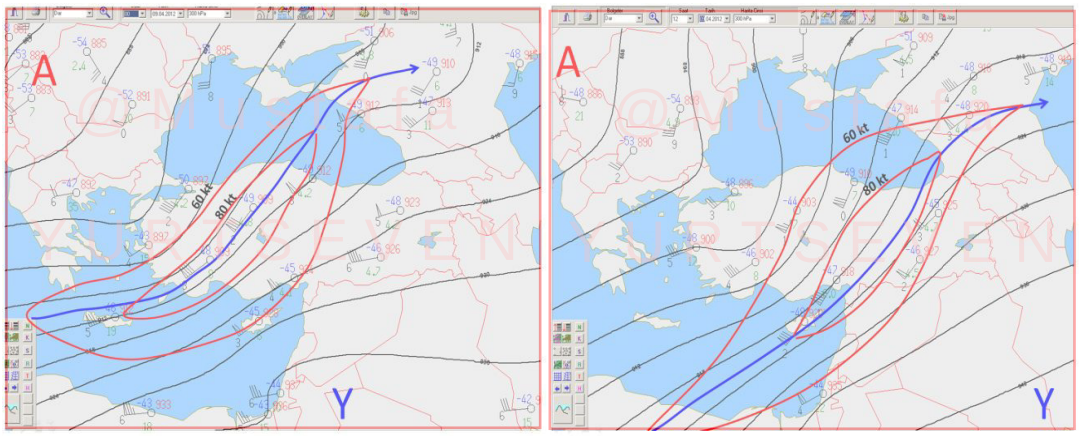
300 hPa seviye analizinde; 8 Nisan 2012 tarih ve 00 UTC'de Doğu Akdeniz üzerinde (Yunanistan'ın güneyinden Adana'ya doğru) bulunan jet korunun, İzmir'de 80 kt, Adana'da 60 kt eksen hızlarına sahip olduğu görülürken (Şekil 53-solda),



Şekil 53. *8 Nisan 2012 300 hPa seviye haritası 00 UTC (solda) ve 12 UTC (sağda)*

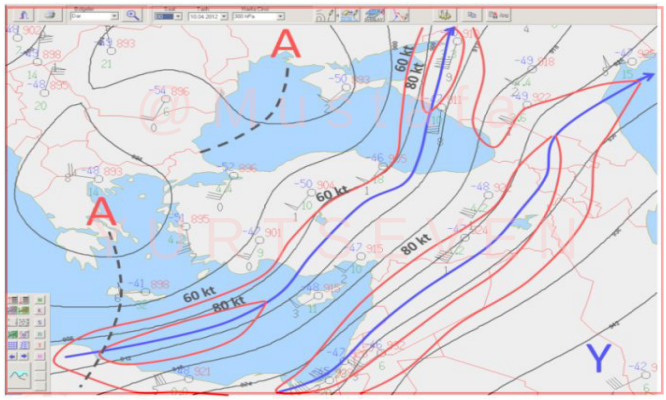
12 UTC'de İzmir'den Diyarbakır'a (İzmir ve Isparta'da 80 kt, Ankara, İstanbul ve Adana'da 60-65 kt, Diyarbakır'da 50 kt seviye hızları) uzanmaktadır (Şekil 53-sağda).

9 Nisan 2012, 00 UTC'de, Alçak merkezin Marmara üzerine sarkmasıyla, jet ekseninin konumu, Girit'ten Kırım'ın doğusuna (Isparta ve Ankara'da 80 kt, Samsun ve Adana'da 60-65 kt, İzmir ve Erzurum'da 50 kt seviye rüzgar hızları) uzanacak şekilde eksen değiştirmiştir (Şekil 54-solda). 12 UTC'de; jet ekseni, sistemin hareketine bağlı olarak, Kıbrıs'tan Gürcistan üzerine uzanmaktadır (Adana'da 85 kt, Ankara, Samsun, Diyarbakır ve Erzurum'da 60-70 kt seviye hızları, Şekil 54-sağda).



Şekil 54. *9 Nisan 2012 00 UTC 300 hPa seviye haritası (solda) ve 12 UTC (sağda)*

10 Nisan 2012, 00 UTC, 300 hPa analizine göre, Mısır'dan Türkiye'nin doğusuna uzanan jet ekseninde; Samsun-Ankara-Isparta'nın doğusunda; 50 kt'tan büyük rüzgar değerleri görülmektedir. İsrail'den Ermenistan'a uzanan jet hattında; Diyarbakır'da 90 kt, Erzurum'da 70 kt'lık kuvvetli rüzgar vardır (Şekil 55). 10 Nisan, 00 UTC'de 300 hPa'da; Doğu Akdeniz ve Türkiye üzerinde jet rüzgarlarının; Mısır üzerinde, birisi Kırım'ın doğusuna (Türkiye üzerinde 60 kt eksen hızı), diğeri Hazar denizinin kuzeyine (Diyarbakır'da 80 kt, Erzurum'da 70 kt seviye hızı) uzanacak şekilde ikiye ayrıldığı görülmektedir (Şekil 55).



Şekil 55. *10 Nisan 2012 00 UTC 300 hPa haritası*

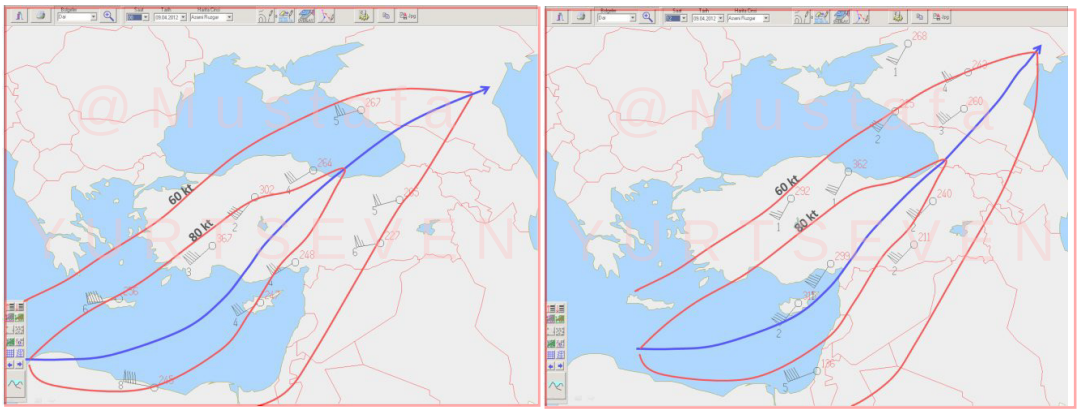
9 Nisan'da 12 UTC ve 10 Nisan, 00 UTC'de jet ekseninin hareketi birlikte değerlendirildiğinde; 9 Nisan, 12 UTC'de Adana'da 85 kt'lık seviye rüzgarı, hortumun olacağı bölgeye doğru yaklaşmaya başlamıştır. Hortumdan 5 saat sonraki radyosonde verilerine göre, Diyarbakır üzerinde 80 kt'lık rüzgar olduğundan, Elazığ civarında 80-85 kt'lık jet rüzgar olduğundan söz edilebilir.

11.5. Azami rüzgar analizleri

9 Nisan 00 UTC azami rüzgar analizinde; Girit'in güneyinden Hazar denizinin kuzeyine uzanan (Isparta üzerinde 367 hPa seviyesine inen 85 kt değerinde, Ankara'da 302 hPa seviyesinde 80 kt'lık, Samsun'da 264 hPa seviyesinde 70 kt, Adana'da 248 hPa seviyesinde 75 kt, Diyarbakır'da 227 hPa'da 65 kt azami rüzgar hızları) jet hattı bulunmaktadır 12 UTC'de azami rüzgarların bulunduğu jet korunun doğuya doğru hareket ettiği görülmektedir (Şekil 56). 12 UTC'de 300 hPa azami rüzgar hızı, Adana üzerinde 85 kt (299 hPa seviyesinde) ve Samsun üzerinde 70 kt (362 hPa seviyesinde) olarak değişmeden kalırken, Diyarbakır üzerinde 300 hPa'da 60 kt iken, azami rüzgar hızı, 211 hPa'da 75 kt'a çıkmıştır. Benzer olarak, 12 UTC'de Erzurum üzerinde 300 hPa'da 60 kt'lık seviye rüzgarı bulunmaktayken, azami rüzgar hızı, 240 hPa seviyesinde 75 kt'a ulaşmıştır.

Sonuç olarak; 12 UTC azami rüzgar hızları, Adana-Rize hattında rüzgar sheari oluşturarak, alttan üst seviyelere kadar devamlılık içeren bir yapıyı desteklemiştir. Bu durum 00 UTC'de 300 hPa'da Girit üzerinden Isparta ve Ankara'dan geçerek Kırım'ın doğusuna uzanan jet korunun, azami rüzgar analizinde, bu hattın doğusuna düştüğünü göstermekteyken, 12 UTC 300 hPa analizinde Kıbrıs'tan, Elazığ'dan Gürcistan'ın batısına uzanan jetin pozisyonunun; azami rüzgar jetinin konumuyla aynı koridor üzerinde olduğunu göstermektedir (Şekil 54 ve 56). Hortum oluşumunda etkili olan, dikey rüzgar sheari bakımından, 00 UTC'de; 300 hPa'da

genel jet korundaki rüzgar akışları, azami rüzgar jet koru rüzgar akışlarının 150 km gerisinde bulunmakta olup, sheari tamamlayan rüzgar yapısının devam ettiğini göstermektedir. 12 UTC'de dikey rüzgar shearinin üst seviyelere katkısını oluşturan rüzgarların, hortum bölgesi civarında 300 hPa seviyesine kadar indiğini göstermektedir.

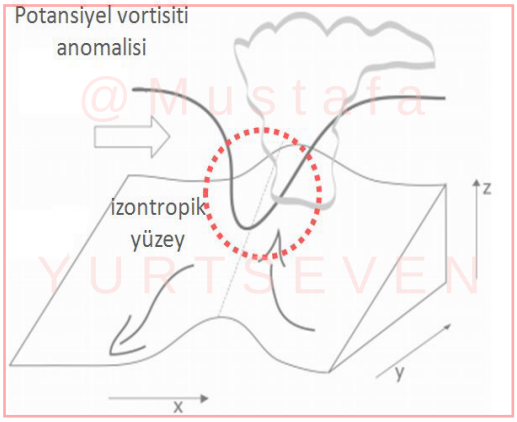


Şekil 56. *9 Nisan 2012 00 UTC (solda) ve 12 UTC (sağda) azami rüzgar haritası*

11.6. Potansiyel vortisiti enverziyonu ve WRF model tahmini

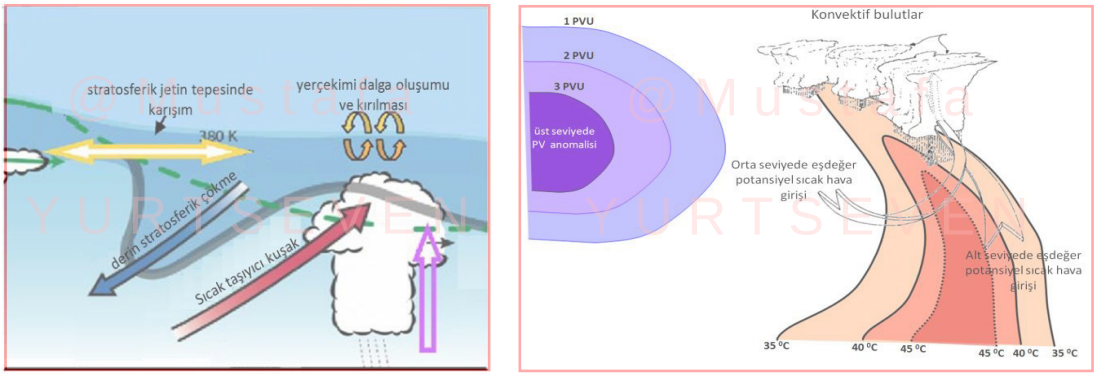
Derin konvektif bulutlarda gizli ısının (latent heat) serbest kalması, atmosferdeki genel sirkülasyonda çok önemli bir enerji kaynağıdır (Hoerling 1992). Lokal olarak derin konveksiyon, çift tropopoz kütlesi değişiminde (Lamarque ve Hess, 1994), su buharı, ozon ve diğer atmosferik bileşenlerin miktarlarında önemli olabilir (Waugh ve Funatsu, 2005). Sıcaklık, nem ve rüzgar profili gibi yerel faktörler, derin konveksiyon oluşumu ve kuvvetlenmesinde ana kontrolü üstlenirler.

İlerleyen üst seviye trofunun önündeki pozitif vortisiti adveksiyon alanındaki azalan statik kararlılık ve artan yukarı yönlü hareket, potansiyel vortisiti baskılaması ve konveksiyon oluşumunu sağlar (Kiladis ve Weickmann 1992b; Kiladis 1998). Dolayısıyla aynı bölgede yüksek potansiyel vortisiti sırtı ile büyük konvektifleşmeye



Şekil 57. *Potansiyel vortisiti anomalisi ve konvektivite oluşumu*

müsait potansiyel enerji (CAPE) alanı bulunmaktadır. Hopkins ve Ark. (1985) ile Thorpe (1985), anomalinin olduğu yerde ve anomalinin altındaki bölgede, üst seviyedeki pozitif (siklonik) potansiyel vortisitinin, daha az kararlı potansiyel sıcaklık dağılımına sahip olduğunu ortaya koymuşlardır (Şekil 57.) Anomalinin değişimiyle birlikte statik kararlılıktaki azalma, alt seviyelerde yukarı doğru olan dikey hareketle sonuçlanır. Fiziksel olarak; dikey (yukarı doğru) hız, kaldırma kuvvetinin yerel eğilimiyle orantılı, izontropik yer değişimi ile kaldırma kuvveti adveksiyonunun bir katkısı olan izontropik tırmanmanın sonucu olarak anlaşılabilir (Hoskins ve Ark., ile Dixon ve Ark., 2003) (Şekil 58)



Şekil 58. *Potansiyel vortisiti anomalisi, eşdeğer potansiyel sıcaklık katkısı ve konvektivite*

Potansiyel Vortisiti;

$$\mathrm{PV} = \frac{1}{\rho}\zeta^{a} \cdot \nabla\theta$$

formulü ile hesaplanır.

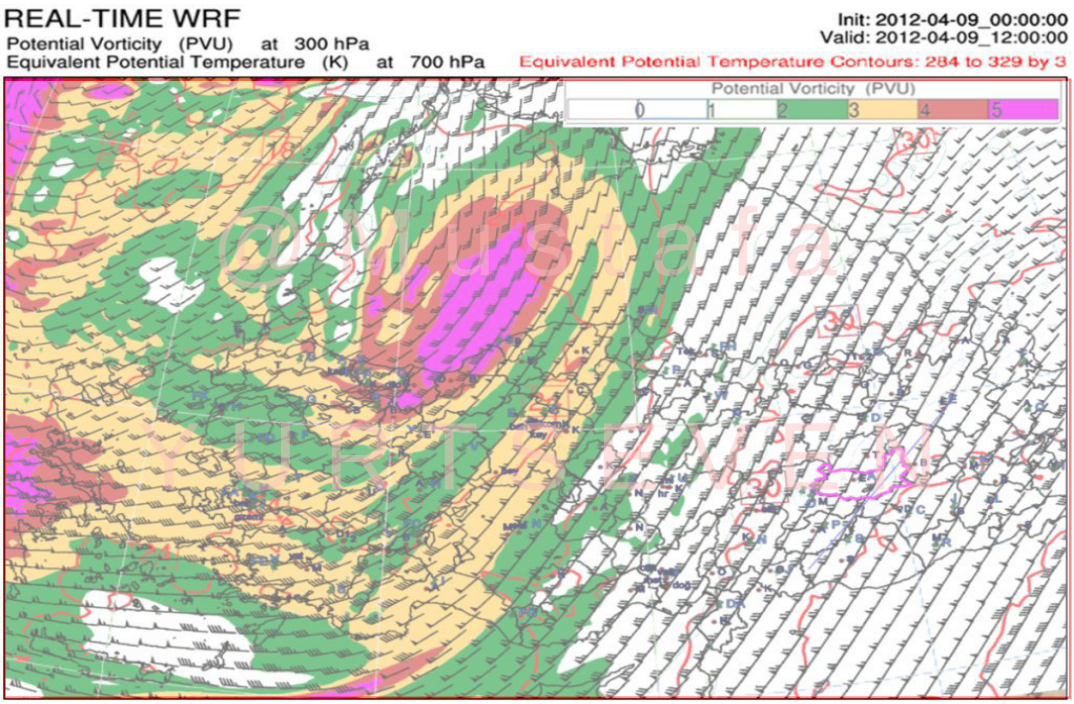
$$\frac{10^{-6} \cdot K \cdot m^2}{kg \cdot s} \equiv 1PVU$$

Potansiyel vortisiti birimi (PVU)

Burada; ρ- yoğunluk ζ^{a} - mutlak vortisiti $\nabla\theta$-potansiyel sıcaklık sıkışıklığıdır

00 UTC koşulları ile çalışan 12 km çözünürlüklü WRF-3D-Var asimilasyon modeli 12 UTC potansiyel vortisiti ve eşdeğer potansiyel sıcaklık tahmininde; 300 hPa seviyesinde, Türkiye'nin batısında 2-6 PVU, Marmara'nın doğusu, Batı Karadeniz bölgesi, Batı Karadeniz açıkları ile Girit'in güneyinden Alanya açıklarına

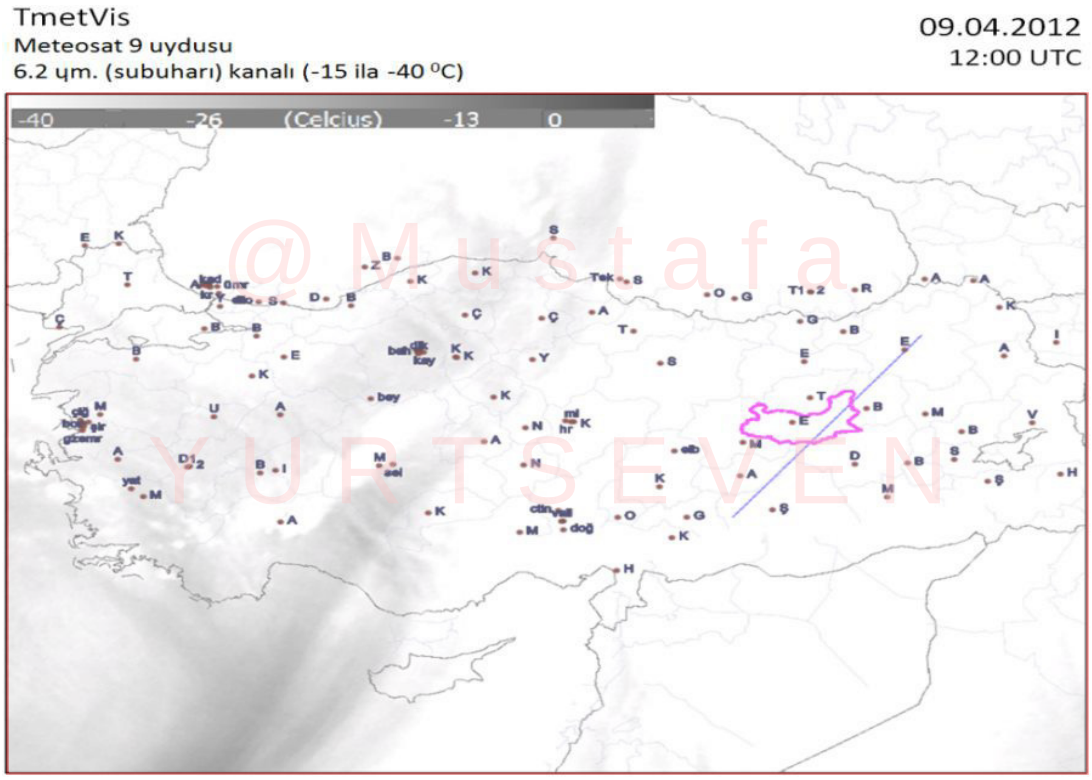
doğru, 4-6 PVU değerinde potansiyel vortisiti sahaları görülmektedir. Modelin, 700 hPa seviyesi eşdeğer potansiyel sıcaklık tahmininde, Doğu Karadeniz ile Doğu ve Güneydoğu Anadolu'da 30.0-35.5 °C'lik sıcaklıklar görülmektedir.



Şekil 59. *12 km çözünürlükte WRF-3DVar asimilasyon modelinin 9 Nisan 2012, 12 UTC için 300 hPa seviyesi potansiyel vortisiti ile 700 hPa eşdeğer potansiyel sıcaklık tahmini*

Batı bölgelerimizde stratosferik havanın, troposferin üst bölgesine çökmesi, doğu bölgelerimizde; alt-orta seviyelerde eşdeğer potansiyel sıcaklıkta bir kabarma ve Diyarbakır'dan Elazığ-Maden'e doğru 1600-2500 jkg^{-1}'e varan, konvektifleşmeye müsait potansiyel enerji (CAPE) oluşumuna sebep olmuştur (Şekil 59).

Bu teorik yaklaşım, atmosferik modeller tekniği bakımından, WRF-3DVar asimilasyon modelinin, Meteosat 9 uydusundaki işareti; 12:00 UTC'de 6.2 μm (su buharı) kanalında, -15 ila -40 °C arasındaki parlaklık sıcaklıkları filtrelenerek, batı bölgelerinde yüksek vortisiti alanları, gri-siyah ton renginde görülmektedir (Şekil 60).

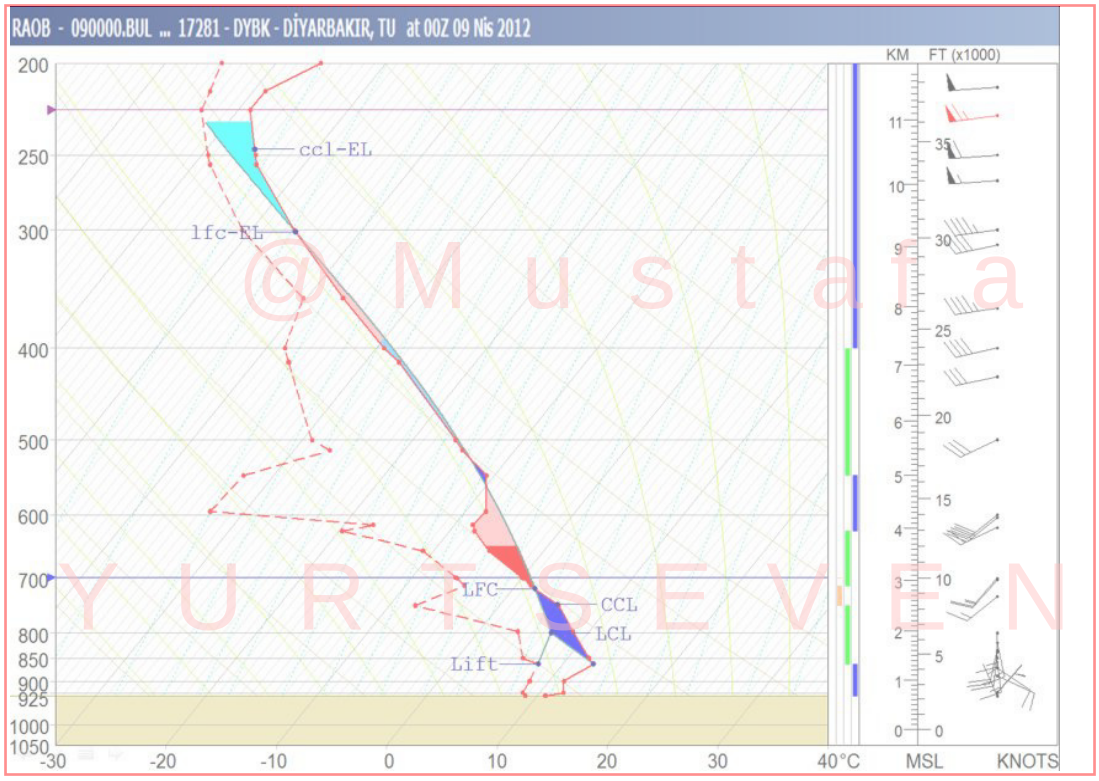


Şekil 60. *Meteosat-9, 12 UTC 6.2 µm su buharı kanal görüntüsü (-13 ila -40 °C filtrelemesi)*

12. TERMODİNAMİK DİYAGRAMLAR ve DİKEY RÜZGAR PROFİLİ ANALİZLERİ

Hortum başlangıç noktası, Diyarbakır radyosonde istasyonunun 75 km kuzeybatısındadır. İndeks hesaplamalarında; hava parseli için en kararsız parsel göz önünde bulundurularak, sanal (virtuel) sıcaklık düzeltmesi yapılmıştır.

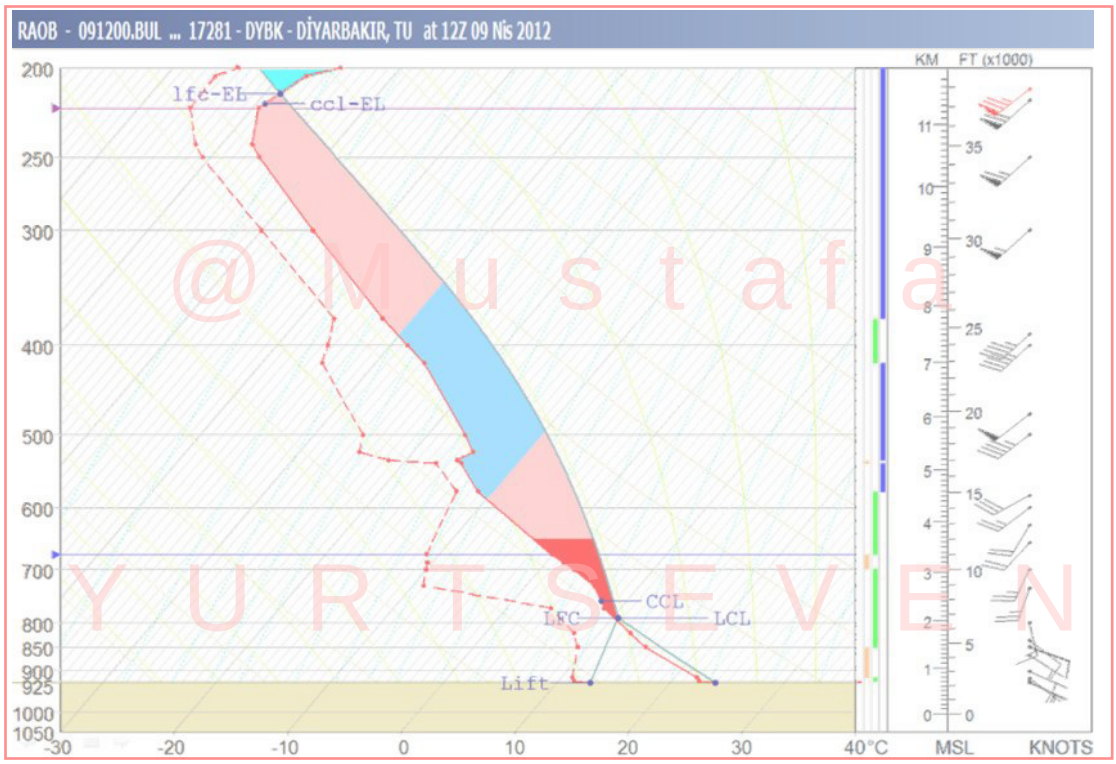
Diyarbakır radyosonde verisine göre; 00 UTC toplam CAPE 256 jkg^{-1}, 0-3 km CAPE'i 60 jkg^{-1}, dolu oluşum bölgesi CAPE'i 47 j kg^{-1}, CIN -48 jkg^{-1}, teorik updraft hızı 83 km sa^{-1}, Lifted indeks -0.3, Showalter 0.8, Total Totals 50.2, Sweat 153, LCL 1285 m, LFC 2051 m, EL 8.62 km, LFC ile EL farkı 1058 m, 0-1 km oraj nisbi sarmalı 173 m^{2}s^{-2}, 0-3 km oraj nisbi sarmalı 166 m^{2}s^{-2}, süper hücreli oraj indeksi 0.8 iken (Şekil 61,Tablo-2), 12 UTC toplam CAPE 2573 jkg^{-1}, 0-3 km CAPE'i 246 jkg^{-1}, dolu oluşum bölge CAPE'i 924 jkg^{-1}, CIN 0 jkg^{-1}, teorik updraft hızı 259 kmsa^{-1}, Lifted indeks -7.2, Showalter -4.4, Total Totals 57.8, Sweat 347, LCL 1381 m, EL 10.78 km, 0-1 km oraj nisbi sarmalı 18 m^{2}s^{-2}, 0-3 km oraj nisbi sarmalı 154 m^{2}s^{-2}, süper hücreli oraj indeksi 9.6'dır (Şekil 62 ve Tablo 2).



Şekil 61. *9 Nisan 2012 Diyarbakır radyosonde istasyonu için 00 UTC Skew T Log P diyagramı*

Diyarbakır'ın 00 UTC değerleri; K, Showalter, Total Totals indeksleri, LCL-LFC ile LCL-EL yüksekliği farkı, 0-3 km oraj nisbi sarmalı, orta kuvvette kararsızlık göstermekte iken, 12 UTC'de CAPE değeri, Lifted, Showalter, Total Totals ve süper hücreli oraj fırtına indeksleri kuvvetli kararsızlık göstermektedir (Tablo 2).

9 Nisan 2012'de Diyarbakır ve Samsun istasyon enterpolasyonuyla, Elazığ-Sivrice'nin 12 km güneyindeki Albayrak için elde edilen Skew T Log P diyagramına göre; oraj fırtına karakteri, süper hücreli oraja yakın (sınır civarı) bulunmuştur. Kararsızlık indeksine göre; yağışabilir su miktarı 20.2 mm, parselin yerden yükselmesi halinde, toplam CAPE 1536 jkg^{-1}, 0-3 km CAPE'i 56 jkg^{-1}, dolu oluşum bölge CAPE'i 675 jkg^{-1}, CIN -68 jkg^{-1}, teorik updraft hızı 57 $kmsa^{-1}$, Lifted indeks -5.7, Showalter -2.9, Total Totals 56.6, Sweat 458, LCL 1324 m, LFC 1985 m, EL 10.46 km, LFC ile EL farkı 661 m, 0-1 km oraj nisbi sarmalı 79 m^2s^{-2}, 0-3 km oraj nisbi sarmalı 272 m^2s^{-2}, süper hücreli oraj indeksi ise 14'tür (Tablo 2 ve Şekil 63).



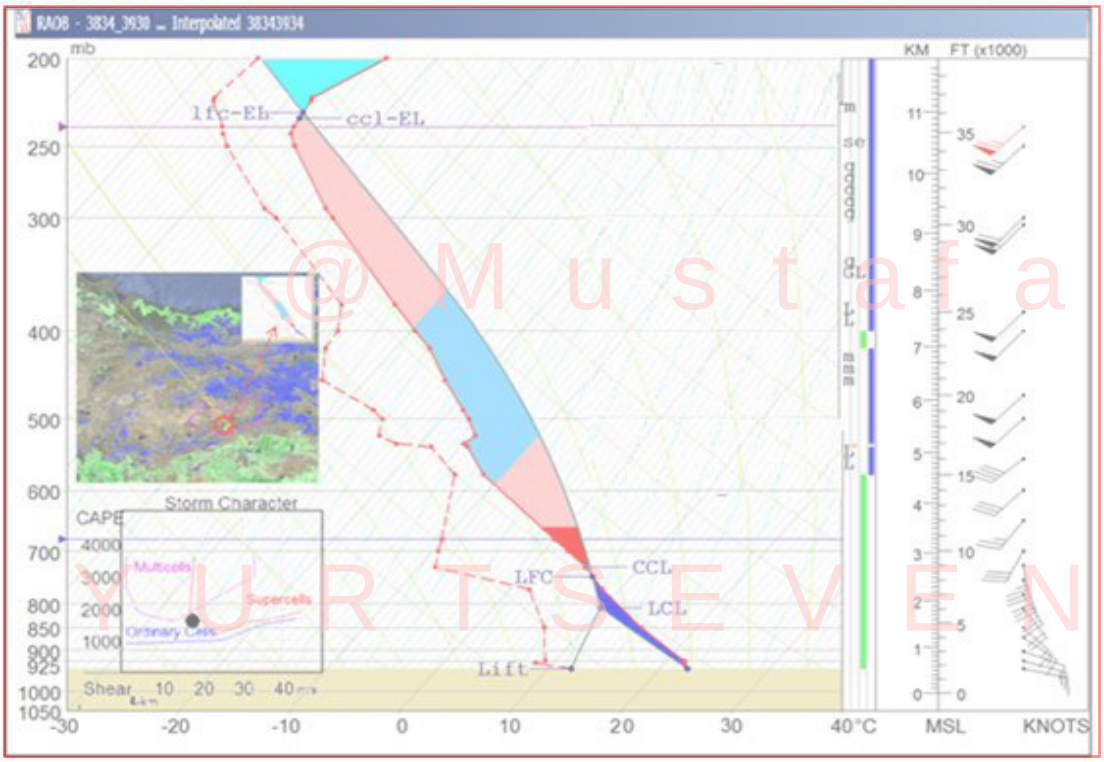
Şekil 62. *9 Nisan 2012 Diyarbakır radyosonde istasyonu için 12 UTC Skew T Log P diyagramı*

Bu indeksler Diyarbakır radyosonde verileriyle karşılaştırıldığında; yağışabilir su miktarı içeriğinin, Diyarbakır'da öğle saatlerinde güneş radyasyonuna rağmen 12 UTC'de 4 mm arttığı, Albayrak'ta, Diyarbakır'dan 1.4 mm daha düşük olduğu, 700-500 hPa seviyeleri arasındaki sıcaklık terselmesinin Diyarbakır'da -6.2 °C'den 12 UTC'de -7.5 °C'ye çıktığı, Albayrak'ta -7.6 °C olduğu, süper hücreli oraj fırtına tahmininde potansiyel updraft kuvvetinin göstergesi olan, Bulk Richardson Number sayısının (Weisman ve Klemp 1982) 12 UTC'de Diyarbakır'da 3'den, süper hücreli oraj fırtınaları için uygun aralık olan 27 değerine (15<BRN<45) çıktığı, Albayrak civarında BRN değerinin 12 olduğu, CAPE'in Diyarbakır'da 256 j kg^{-1}'dan 12 UTC'de 2573 jkg^{-1}'a (en kararsız parsel) çıktığı, Albayrak'ta 1603 jkg^{-1} (yer esaslı) olduğu (orta derecede kararsızlık), Downdraft CAPE (Gilmore and Wicker 1998) değerinin, Diyarbakır'da 550 jkg^{-1}'dan, 12 UTC'de 431 jkg^{-1}'a düştüğü, Albayrak'ta 670 jkg^{-1} olduğu (600<orta derece<900), teorik updraft hızının, Diyarbakır'da 23 m sn^{-1}'den (83 km sa^{-1}) 12 UTC'de 72 m sn^{-1} 'e (259 km sa^{-1}) çıktığı, Albayrak'da 57 m sn^{-1} (205 $kmsa^{-1}$) olduğu, konvektivite engelleyen enerjinin (CIN), Diyarbakır'da -48 j kg^{-1} iken, 12 UTC'de sıfır olduğu, Albayrak'ta 12 UTC'de -68 jkg^{-1} (yer esaslı) bulunduğu,

DİYARBAKIR - 00:00 UTC	DİYARBAKIR - 12:00 UTC	Elazığ-Sivrice- Albayrak - 12:00 UTC
Stn Elev: 675 m	Stn Elev: 675 m	Stn Elev: 531 m
Mean RH: 69%	Mean RH: 63%	Mean RH: 54%
Water: 1.76 cm	Water: 2.16 cm	Water: 2.02 cm
700-500 LR: -6.2 °C/km	700-500 LR: -7.5 °C/km	700-500 LR: -7.6 °C/km
BRN: 3	BRN: 27	BRN: 12
Lift type: LFC	Lift type: LFC	Lift type: LFC
Lift mode: MostUnstable	Lift mode: MostUnstable	Lift mode: Surface Base
NCAPE: 0.04	NCAPE: 0.24	NCAPE: 0.19
CAPE total: 208 J/kg	CAPE total: 2573 J/kg	CAPE total: 1536 J/kg
CAPE+ only: 256 J/kg	CAPE+ only: 2573 J/kg	CAPE+ only: 1603 J/kg
CAPE 0-3km: 60 J/kg	CAPE 0-3km: 246 J/kg	CAPE 0-3km: 56 J/kg
DCAPE 6km: 550 J/kg	DCAPE 6km: 431 J/kg	DCAPE 6km: 670 J/kg
CAPE..Hail: 47 J/kg	CAPE..Hail: 924 J/kg	CAPE..Hail: 675 J/kg
SHIP.hail: 0.1	SHIP.hail: 1.7	SHIP.hail: 1.1
Hail: 0.97 cm	Hail: 1.63 cm	Hail: 0.21 cm
MVV: 23 m/s	MVV: 72 m/s	MVV: 57 m/s
CIN total: -48 J/kg	CIN total: 0 J/kg	CIN total: -68 J/kg
IfcEL Hgt: 28267 ft AGL	IfcEL Hgt: 35385 ft AGL	IfcEL Hgt: 34304 ft AGL
KI: 28.1	KI: 28.1	KI: 27.3
LI: -0.3	LI: -7.2	LI: -5.7
LCL Hgt: 1285 m AGL	LCL Hgt: 1381 m AGL	LCL Hgt: 1324 m AGL
LFC Hgt: 2051 m AGL	LFC Hgt: 0 m AGL	LFC Hgt: 1985 m AGL
LFC-LCL: 1058 m	LFC-LCL: 0 m	LFC-LCL: 661 m
STP: 0.0	STP: 0.1	STP: 0.1
s-rH: 173 0-1km	s-rH: 18 0-1km	s-rH: 79 0-1km
s-rH: 137 0-2km	s-rH: 175 0-2km	s-rH: 193 0-2km
s-rH: 166 0-3km	s-rH: 154 0-3km	s-rH: 272 0-3km
Supercell: .8	Supercell: 9.6	Supercell: 14.0
SI: 0.8	SI: -4.4	SI: -2.9
TT: 50.2	TT: 57.8	TT: 56.6
WCD: 1.1 km	WCD: 1.3 km	WCD: 1.4 km
SWEAT: 153.0	SWEAT: 347.4	SWEAT: 457.4
WBZ Hgt: 1819 m AGL	WBZ Hgt: 2021 m AGL	WBZ Hgt: 2235 m AGL
TROP Lvl: 10484 m AGL	TROP Lvl: 10582 m AGL	TROP Lvl: 10227 m AGL

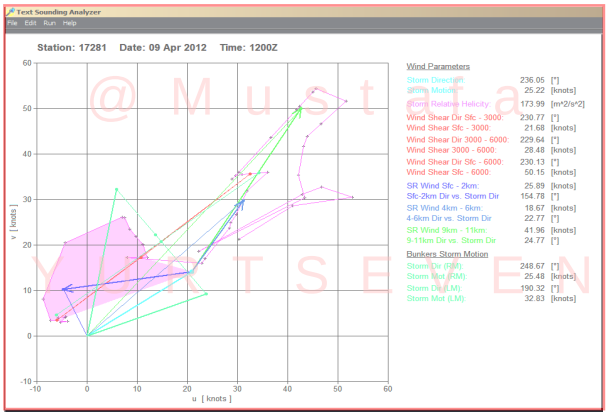
Tablo 2. *9 Nisan 2012 Diyarbakır'dan elde edilen 00 (solda) ve 12 UTC (ortada) ile Diyarbakır ve Samsun istasyon enterpolasyonuyla Elazığ-Sivrice'nin 12 km güneyinde Albayrak için (sağda) 12 UTC indeks karşılaştırması*

LCL seviyesinin, Diyarbakır'da 1285 m'den 12 UTC'de 1381 m'ye yükseldiği, Albayrak'da 1324 m olduğu, LFC'nin Diyarbakır'da 2051 m'den 12 UTC'de 1381 m'ye düştüğü, Albayrak'da ise 1985 m olduğu (kuvvetli kararsızlık), LCL ile LFC seviyesi arasındaki farkın, Diyarbakır'da 1058 m'den, 12 UTC'de 680 m'ye indiği, Albayrak'da 661 m olduğu, denge seviyesi (EL) yüksekliğinin Diyarbakır'da 8.6 km'den 12 UTC'de 10.8 km'ye yükseldiği, Albayrak'da 10.5 km olduğu, K indeksinin Diyarbakır'da 28 iken, 12 UTC'de değişmediği (28), Albayrak'da 27 olduğu, Lifted indeksinin Diyarbakır'da -0.3 iken 12 UTC'de -7.2'ye düştüğü, Albayrak'da -5.7 olduğu, Showalter indeksinin Diyarbakır'da 0.8 iken, 12 UTC'de 4.4'e düştüğü, Albayrak'da -2.9 olduğu, Total Totals indeksinin Diyarbakır'da 50.2 iken 12 UTC'de 57.8'a çıktığı, Albayrak'da 56.6 olduğu, Sweat indeksinin Diyarbakır'da 00 UTC'de 153 iken, 12 UTC'de 347'ye yükseldiği, Abayrak'da 457'ye yükseldiği, tropopoz seviyesinin 10.2-10.5 km, ıslak hazne sıfır derece yüksekliğinin 1.8-2.1 km olduğu, 0-1 km oraj nisbi sarmalının Diyarbakır'da 173 m^2s^{-2}'den 12 UTC'de 18 m^2s^{-2}'ye düştüğü, Albayrak'ta 79 m^2s^{-2} olduğu, 0-3 km oraj nisbi sarmalının, Diyarbakır'da 166 m^2s^{-2}'den, 12 UTC'de 154 m^2s^{-2}'ye düştüğü, Albayrak'da 272 m^2s^{-2} olduğu görülmektedir (Şekil 64).



Şekil 63. *9 Nisan 2012 Diyarbakır ve Samsun istasyonlarının enterpolasyonuyla Elazığ-Sivrice'nin 12 km güneyinde Albayrak yerleşim merkezinin 12 UTC Skew T Log P diyagramı*

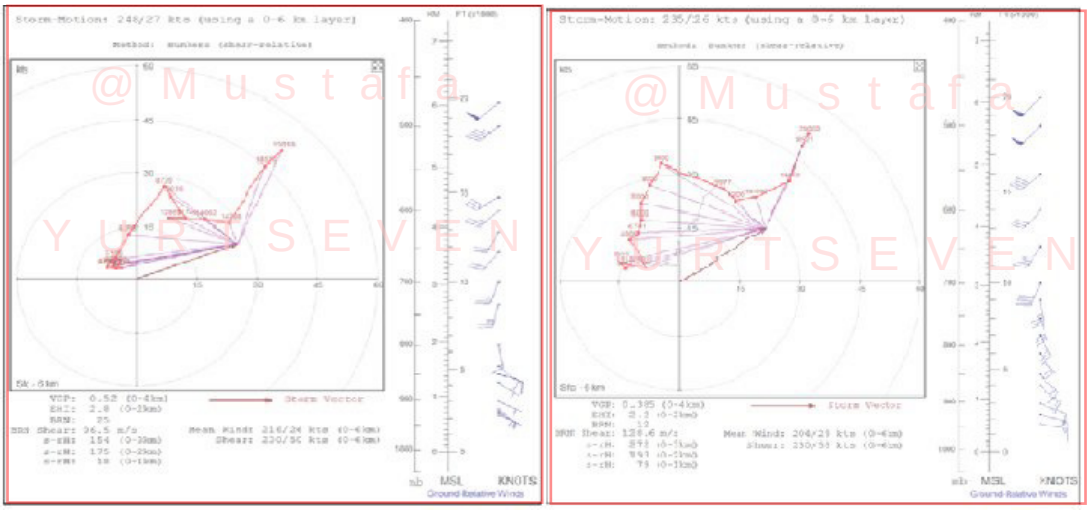
Diyarbakır'ın 12 UTC hodoğraf verisi (Şekil 65-solda) ile Diyarbakır ve Samsun radyosonde istasyonlarının 12 UTC verilerinin enterpolasyonu ve Sivrice otomatik istasyonu 12 UTC, 10 m rüzgar verisinin, hodoğrafın alt seviye rüzgarlarına dahil edilmesiyle, Elazığ'ın Sivrice ilçesi Albayrak yerleşim merkezi üzerinde tahmin edilen hodoğraf diyagramları karşılaştırıldığında; (Şekil 65); Diyarbakır'ın 00 UTC'de radyosonde diyagramı dikey rüzgar profillerinde, yer seviyesinde, kuzeydoğudan 5-11 kt hızla esen 10 m yer rüzgarının, ilk 1.5 km'lik tabakada önce güneydoğu sonrada güneyli yönlere doğru, 15-20 kt ortalama hızla antisiklonik (veering) bir dönüş yaparak, 500-300 hPa seviyeleri arasında batılı yönlerden 30-45 kt, 270 hPa'ın üzerinde, batılı yönlerden 50-65 kt hızla estiği görülmektedir (Şekil 65-solda). 12 UTC'de (Şekil 65), ilk 1500 metrelik tabakada



Şekil 64. *9 Nisan 2012 12 UTC Diyarbakır radyosonde istasyonu hodoğraf diyagramı*

@Mustafa YURTSEVEN

güneydoğulu yönlerden 6-12 kt hızla esen rüzgarın, 2.5-5.0 km arasında güneybatılı yönlerden 25-30 kt hızla, 5.0-8.5 km arasında, batıdan 35-50 kt hızla, 9.0 km'nin üzerinde, batılı yönlerden 55-75 kt hızla estiği görülmektedir. Bu, sıcak hava adveksiyonunun bir sonucu olup, üstelik soğuk hava adveksiyonuna işaret eden herhangi bir siklonik dönüş de (backing) görülmemektedir.

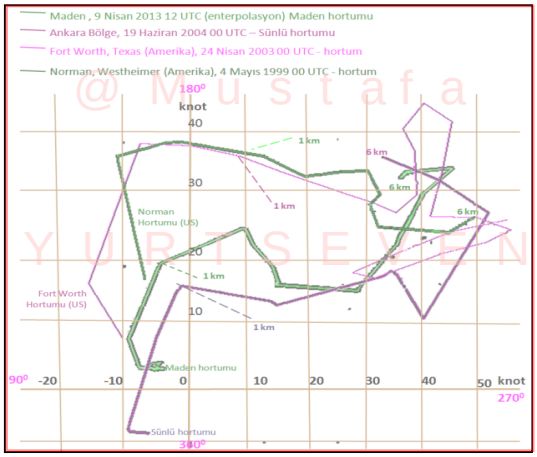


Şekil 65. *9 Nisan 2012, 12 UTC Diyarbakır (solda), Diyarbakır ve Samsun istasyon enterpolasyonuyla Elazığ-Sivrice'nin 12 km güneyinde Albayrak (sağda) hodoğraf diyagramı*

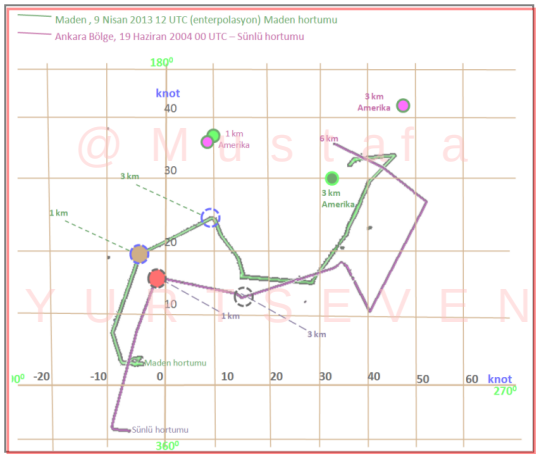
19 Haziran 2004'de Esenboğa havaalanının kuzeyinde Sünlü köyünde, 9 Nisan 2012'de Elazığ'ın Maden ilçesinin kuzeybatısında, 24 Nisan 2003'de Amerika'nın Texas eyaletinin Fort Worth ve 4 Mayıs 1999'de Norman-Oklahoma'nın Westheimer yerleşim merkezi yakınında gerçekleşen hortumlarla ilgili hodoğraf diyagramları karşılaştırıldığında; rüzgarın yönünde saat istikametinde dönüş işaretleri görülmektedir (Şekil 66). Amerika'da Fort Worth'da gerçekleşen hortum hadisesi 0-1 oraj nisbi sarmal değerleri 530 m^2s^{-2}, Norman Westheimer yakınında gerçekleşen hortumda, 330 m^2s^{-2}, Elazığ-Maden hortumunda, 79 m^2s^{-2} olduğundan, hortum şiddetleri Türkiye'de oluşanlara göre, Amerika'da gelişen hortum hadiseleri çok daha şiddetlidir

Bu durum; hodoğraf diyagramlarında ilk 1 km seviyesine karşılık gelen noktaların karşılaştırılmaları ile anlaşılabilir (Şekil 67). Fakat dört hodoğrafta da ortak benzerlik, saat yönündeki rüzgar yön değişimleri ile rüzgar hız değerlerinin düzgün

olarak artmasıdır. Sünlü köyü hortumu ile Maden hortum hodoğrafları karşılaştırılırsa; saat yönünde rüzgar yön değişimleri, ilk 3 km derinlikte birbirine çok benzemektedir. Yere yakın ilk 500 m'de rüzgar yönünün Sünlü köyü hortumunda kuzeydoğu yönünden, Maden hortumunda, doğudan (100-130 derece yönünden) estiği görülmekle birlikte, 0-3 km derinlikteki oraj nisbi sarmalı, Diyarbakır'da 154 m^2s^{-2}, Albayrak yerleşim merkezinde (hortumun ilk temas hattının 30 km güneybatısı) 272 m^2s^{-2}, Sünlü köyü hortumunda ise 240 m^2s^{-2} (Şekil 67) olup, iki hortum hadisesine ait oraj nisbi sarmal değeri birbirine yakındır.



Şekil 66. *Esenboğa-Sünlü, -Maden ile Texas Fort Worth ve Norman-Oklahoma (Westheimer) hodoğraf karşılaştırması*



Şekil 67. *Esenboğa-Sünlü ile Elazığ-Maden hodoğraf karşılaştırması*

Aslında hortumun yerde oluşturduğu hasarlara bakıldığında, etkilerinin birbirine çok benzediği görülmektedir. Özellikle araçlar, evler ile ağaçlarda oluşan hasar sonuçları birbirine çok benzemektedir. Oluşan hasara bağlı olarak muhtemel rüzgarın hızı, 17. Bölüm de (Hasar değerlendirmesi ve hortum şiddeti) tartışılacaktır.

Diyarbakır ve Samsun istasyonlarının enterpolasyonu ile Elazığ-Sivrice'nin 12 km güneyinde Albayrak yerleşim merkezi için oluşturulan 12 UTC dikey rüzgar profilinde ise, süper hücreli oraj fırtına oluşumunu destekleyecek yapıda rüzgarın dikey hız profili görülmektedir (Şekil 65-sağda). Yere yakın ilk 1 km kalınlıkta güneydoğulu yönlerden 8-15 kt alt seviye rüzgarları görülürken, yukarıya doğru çıkıldıkça anti siklonik dönüş devam ederek, yere yakın ilk 1-3 km tabakaları

arasında, güneyli yönlerden 15-30 kt hızla estiği, 3.-5. km tabaka arasında, batı-güneybatı yönlerden 30-45 kt hızla estiği, 5.0-8.5 km tabaka arasında, 45-55 kt hızla estiği, 9.0 km'den itibaren 55-65 kt hızla estiği görülmektedir.

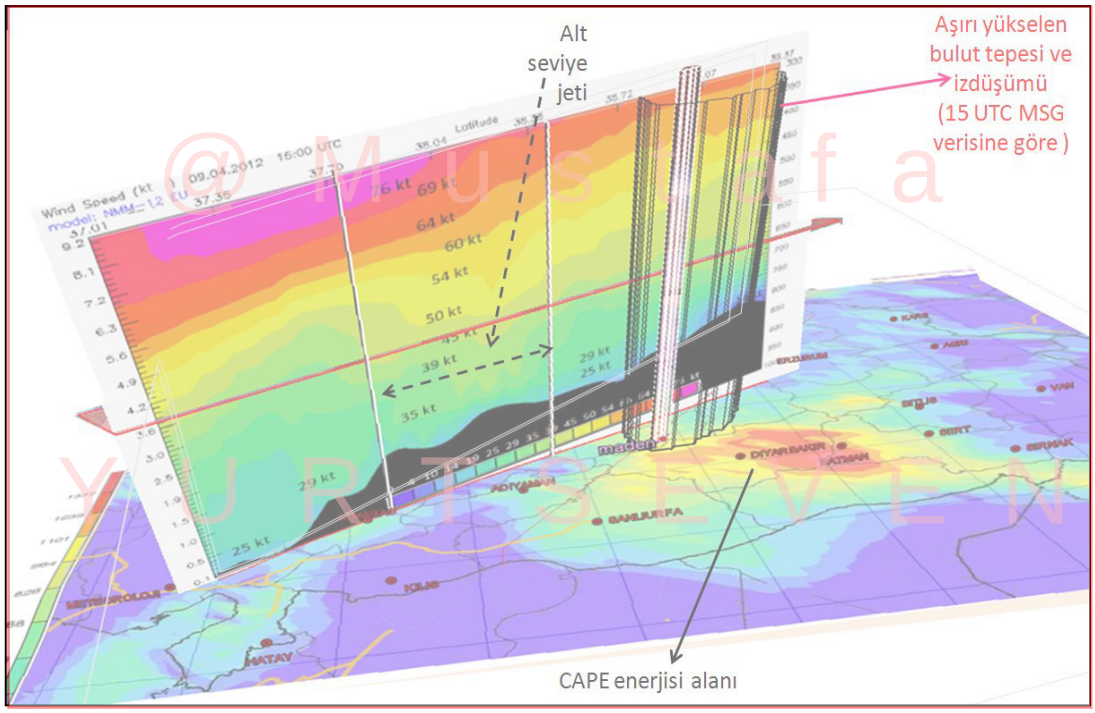
Albayrak yerleşim merkezi için enterpolasyonla elde edilen 12 UTC dikey rüzgar profilinde, 0-6 km rüzgar sheari, 230 dereceden 58 kt, 0-3 km oraj nisbi sarmalı 272 $m^2 s^{-2}$'dir. 13 ve 14 UTC'de Elazığ'ın güneydoğusunda 1600-2000 jkg^{-1}'lık CAPE değeriyle, bölgede süper hücreli oraj oluşumunu destekleyecek bir ortamın bulunduğu görülmektedir (Davies Jones ve Ark., 1990).

12 UTC hodoğraf analizinde Elazığ-Maden ilçesinde alt seviye rüzgarının, süper hücreli oraj oluşumu için gerekli oraj nisbi sarmalını oluşturacak yapıda olduğu, 50 kt ve daha yüksek rüzgar hızının 6 km'ye indiği görülmektedir (Şekil 67).

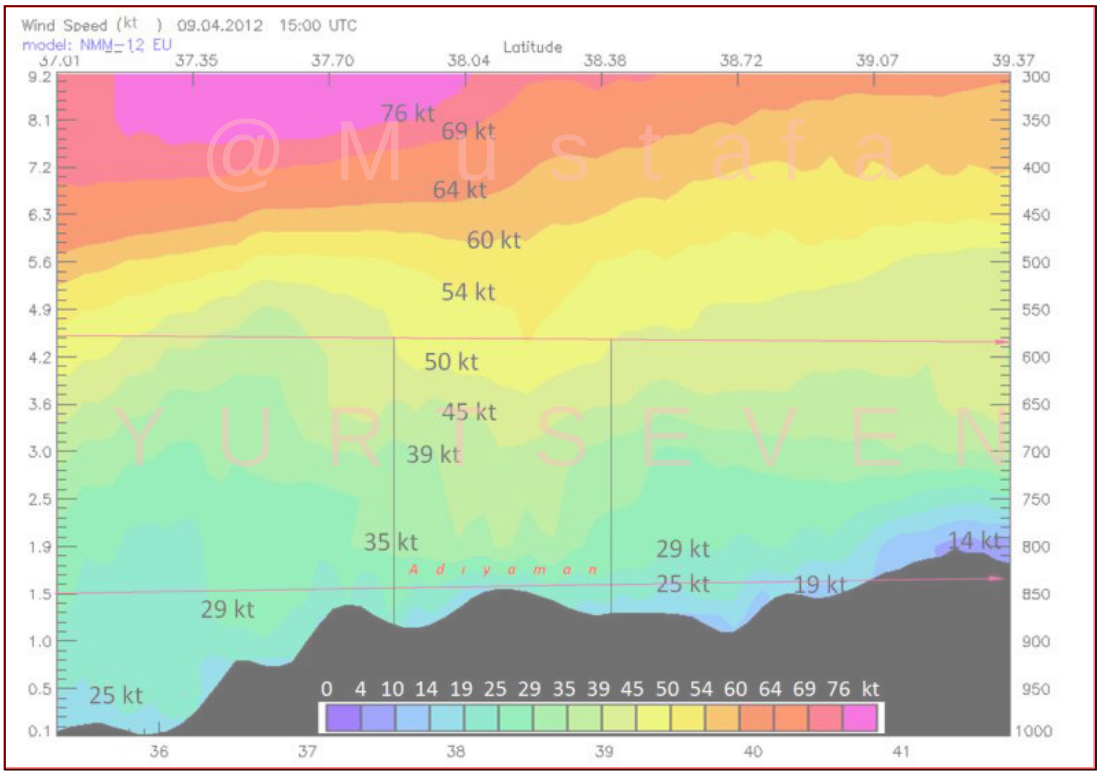
13. WRF-NMM MODELİ DİKEY KESİT (RÜZGAR) GRAFİKLERİ

İsviçre-Basel Üniversitesinin 12 km çözünürlüklü WRF-NMM modelinde, rüzgar dikey kesitinde; rüzgar hızlarının 9 Nisan 2012 tarih ve 15 UTC (olaydan yarım saat önce) için Adana-Erzurum güzergahındaki tahmini (Şekil 69), Meteosat-9 uydusunun "Gelişmiş-V" oraj yapısı (dikey uzanımı) ve yakın sıcak bölge izdüşümü, Şekil 68 ile verilmiş olup Adıyaman civarında üst seviyelerden aşağıya doğru bir rüzgar jet korunun indiği görülmektedir.

WRF-NMM modeli; Adana-Erzurum hattının dikey kesit rüzgar hız tahmininde (Şekil 69); 9 Nisan 2012 tarih ve 15 UTC'de, Adıyaman üzerine çöken üst seviye rüzgar jet korunun, coğrafik yükseltiler üzerinde, ilk 3 km'lik kalınlığının üst kısmında 50-52 kt'lık rüzgar hızlarının, yerden 1 km yukarıda 40-42 kt'a çıktığı görülmektedir. Bu durum, hortum oluşması ya da üst seviyelerdeki mezosiklonun yere inmesi için uygun rüzgar shear yapısının Adıyaman ve kuzeydoğusu (Maden ilçesi yakınları) için uygun olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 68. *9 Nisan 2012, 16 UTC WRF-NMM modeli (12 km çözünürlük) Adana-Erzurum hattı dikey rüzgar hız kesiti (dikey) ve CAPE (yerde), MSG uydusu 16 UTC "Gelişmiş-V" yapısı-aşırı yükselen bulut tepe kolonu (uydu verisine göre-dikey)*



Şekil 69. *9 Nisan 2012, 15 UTC WRF-NMM modeli Adana-Erzurum hattı rüzgar hız tahmini (dikey kesit)*

14. METEOSAT-8 ve METOSAT-9 UYDU VERİLERİ

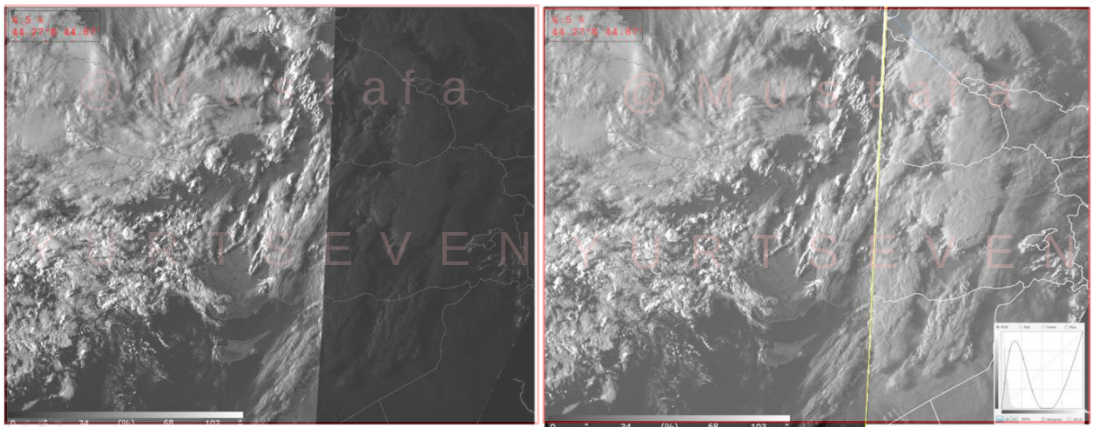
6 Nisan 2012 tarihinde Modis uydusundan elde edilmiş karla kaplı alanlar ile NDVI (bitki örtüsü) durumunu ifade eden arka plan verileri üzerinde; 15 dk aralıklarla uydu verisi aktaran Eumetsat'ın ekvator üzerinde (0^0 enlem, 0^0 boylam), operasyonel Meteosat-9 uydusundan elde edilmiş aşırı yükselen bulut tepe sıcaklık piksellerine ait görüntü (Şekil 78), arka planın görüntülenmesi amacıyla en düşük bulut tepe sıcaklık piksellerinin içi boşaltılarak, 13:45-16:30 UTC'ye ait görüntüler bir araya getirilerek oluşturulmuştur.

14.1. Yüksek çözünürlüklü görünür kanal-histogram uygulaması

Güneşin, Elazığ civarında 16:02 UTC'de batması nedeniyle, Meteosat-8 uydusunun 15:10 UTC'de yüksek çözünürlüklü kanalından elde edilen görüntüde; Ordu-Hatay hattının doğusundan gelen veriler, siyaha yakın (karanlık olarak) görünmektedir. Fakat görüntünün sadece karanlık olan kısmına (Ordu-Hatay hattının doğusu) histogram uygulandığında, karanlık nedeni veri alınamayan alan, neredeyse Türkiye'nin batısı kadar net görülebilmektedir.

Güneşin batışına yakın zamanlardan, doğuşuna kadar olan sürede, -yüksek çözünürlüklü görünür kanal dahil- görünür (visible) kanal verilerinden yararlanılamamaktadır. Güneş açısının daralmaya başladığı bu durumlarda, uydu görüntüleme yazılımlarında uygun histogram düzeltme teknikleri kullanıldığında, 5 dk aralıklı altı görüntü alınarak, 30 dakika daha fazladan veri alınabilmektedir.

Maden'in 6.5 km kuzeyinde Dutpınar Köyünde başlayıp, Diyarbakır-Elazığ karayolu civarında bir yol yapım şantiyesinde can kayıplarına sebep olan ve etkisini Maden'in 9.5 km kuzeyinde yer alan Kaşlıca Köyüne kadar devam ettiren hortum hadisesi, güneşin batış zamanına yakın bir zamana rastladığından, Maden ilçesi civarı, 15:00 UTC'de dahil olmak üzere, yüksek çözünürlüklü görünür kanaldan gelen veriler anlamlı olmamaktadır (Şekil 70).

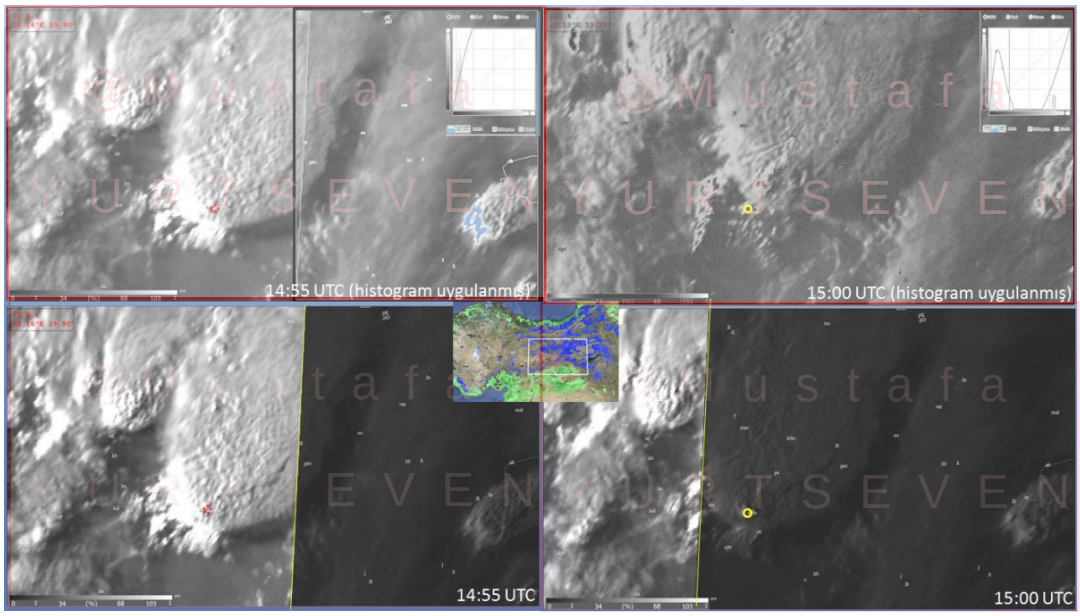


Şekil 70. *Meteosat-8 uydusu 15:10 UTC (güneş batışına yakın saatler) HRV kanalı (soldaki resmin sağ kısmı) histogram uygulaması ile elde edilen veri(sağdaki resim sağ kısım)*

Fakat görünür (visible) kanal verilerine, histogram düzeltmesi yapıldığında, en son 15:30 UTC dahil olmak zere, yüksek çözünürlüklü görünür kanal verileri anlaşılır hale gelmektedir (15:30 UTC'den sonraki görünür kanal verilerine uygulanan histogram, görüntülerdeki özelliklerin anlaşılmasına imkan vermemektedir).

Meteosat-8 uydusunun yüksek çözünürlüklü görünür kanalından, Tmetvis uydu görüntü yazılımı ile Maden ilçesi civarından görüntülenebilen son görüntü 14:55 UTC saatindeki veridir (Şekil 71-solda). Meteosat uydusundan, 15 UTC'den itibaren, Tmetvis uydu veri görüntüleme yazılımı ile, yüksek çözünürlüklü görünür kanaldan gelen veriler, siyah olarak görünmektedir (Şekil 71-sağda). Görüntüye histogram uygulandığında, Maden ve çevresi net olarak görülebilmektedir.

Histogram sayesinde görülebilen (Şekil 71-sağda) 15:00 UTC Meteosat-8 uydusu görünür kanalında, paralaks hata düzeltmesi düşünüldüğünde, aşırı yükselen bulut tepe sıcaklık pikselinin, Maden ilçesi ile Diyarbakır'ın Çermik ilçesi sınırı arasında olduğu anlaşılmaktadır. Buluta ait kanat hattı bulutluluğunun ise, Çermik ile Adıyaman-Çüngüş'e bağlı Çaybaşı yerleşim merkezi arasında, 12-20 km uzunluğunda ince şeritler halinde uzandığı görülmektedir (Şekil 71).



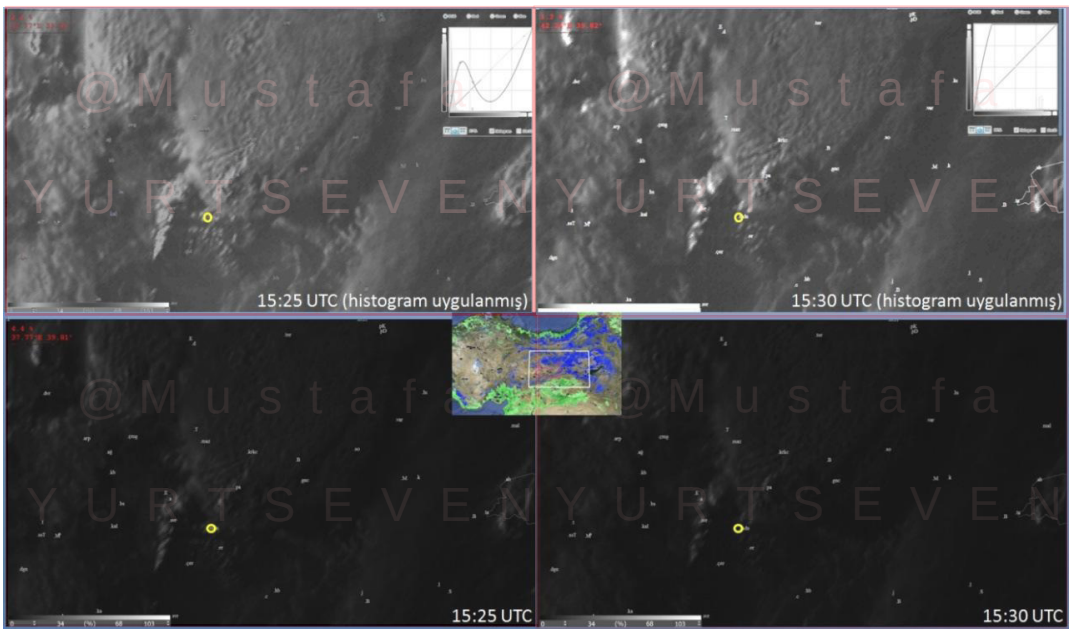
Şekil 71. *Meteosat-8 uydusu 14:55 UTC ve 15:00 UTC (güneş batışına yakın saatler) HRV kanalı (sol alt ve sağ alt) histogram uygulamasıyla elde edilen veri(sol üst ve sağ üst)*

Meteosat-8 uydusu 15:25 UTC (Şekil 72-solda) ve 15:30 UTC (Şekil 72- sağda) görüntülerine; güneşin batması nedeniyle yüksek çözünürlüklü görünür kanalda, tamamen siyah olarak görünen bölgeye, histogram uygulanmasıyla elde edilen yeni görüntüde (Şekil 72-sol üst); paralaks hata düzeltmesi düşünülerek, aşırı yükselen bulut tepe sıcaklık pikselinin Maden ilçesinin kuzeyinde, hortumun ölüme sebep olduğu bölgenin 3 km kuzeydoğusunda olduğu görülürken, bulutluluğun kanat hattının, hortumun başlangıç noktası olduğu düşünülen (medyada geçen haberlerden) Dutpınar köyünden (11-14 km'lik şerit halinde) Adıyaman sınırına yakın Çalkaya köyüne doğru uzandığı anlaşılmaktadır (Şekil 72).

14.2. Yer değişimi (Paralax) hatası

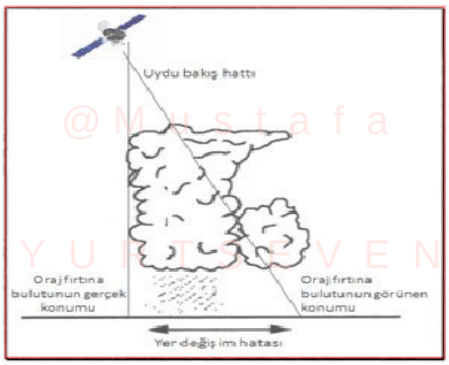
Atmosferdeki bulutların, uydular yardımıyla analiz edilmesinde, uydu görüntülerinde birtakım sorunların olduğunu bilmek gerekir. Uydu görüntülerindeki hatalar, uydularda kullanılan sensör sınırlamaları, sensör ile sensörün pozisyonu (bakış doğrultusu) arasındaki açı ve yer değişim miktarıdır (paralaks). Bu hatalar, uydu görüntüsündeki belirli bir özelliğin, sıklıkla yer değişmiş olarak görülmesine ya da parlaklık sıcaklık değerine ait konum bilgisinin, doğru olmamasına sebep olur. Bu durum, uydu yardımıyla kuvvetli oraj fırtınaları incelemelerinde çok önemli olup, sadece birkaç km yer değişim miktarı, yanlış yorum ve tahminlere sebep olabilir.

Meteosat uydu veri yorumlanmasında; uydu, eğri dünya atmosferinden bulutu algılamaktadır. Uydunun bakış açısı nedeniyle, çok büyük derinliğe sahip bulut, gerçekte birkaç km yükseklikte olmasına rağmen, görüntüde bir nokta olarak görülür. Bu durum bulut yer değişimi olarak adlandırılır (Şekil 73).



Şekil 72. *Meteosat-8 uydusu 15:25 UTC (sol alt) ve 15:30 UTC'de (sağ alt) güneş batışına yakın, HRV kanalına histogram uygulanmayla oluşturulan görüntüler (sol üst-sağ üst)*

Farklı uydu bakış açısında, bulut farklı konumda görülebilir. Uydu bakış açısı nedeniyle, bulut hücresinin yerinde görülen konum değişimi, yer değişimi (paralaks) hatası olarak isimlendirilir. Kuvvetli bir orajın, gerçek pozisyonundan bir kaç km yanlış konumlandırılmasına sebep olması nedeniyle, bu durum çok önemli bir problemdir.

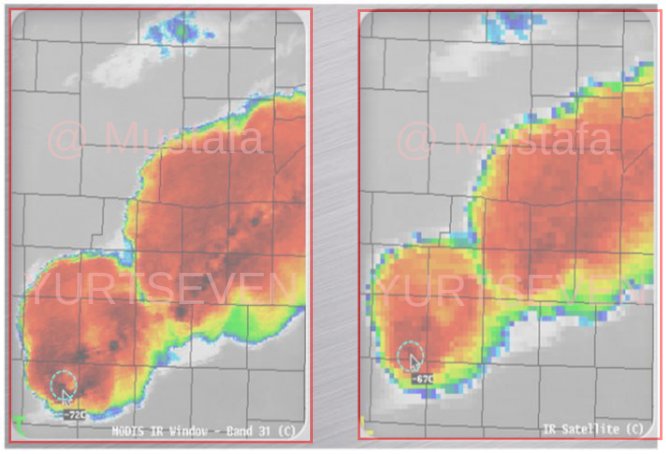


Şekil 73. *MSG uydu görüntülerinde tipik bulut yer değişim hatası*

Meteosat 8 ve Meteosat-9 uydularına ait yer değişimi (paralaks) hataları, Avrupa Kuvvetli Hava Laboratuarı (European Severe Storms Laboratory) web sayfasının Konveksiyon Grubu çalışmasında verilmiş olup, her 500 m yükseklik için Meteosat-9 ve Meteosat-8 uydularına ait piksellerin yer değişimi hatası sonucu düzeltilen yeni

konum koordinatları kullanılmıştır. Aşırı yükselen bulut tepe sıcaklık piksel konum değişimiyle düzeltmeli güzergahlar oluşturulmuştur (Şekil 79 ve 81).

Şekil 74, aynı oraj bulut yapısına, biri polar (Modis-solda), diğeri sabit yörüngeli (Goes-sağda) uydunun bakışını ve bulutun konum farklılıklarını ifade etmektedir. Polar yörüngeli Modis uydusunda -72 °C olarak görünen en düşük bulut tepe sıcaklığının konumu, sabit yörüngeli GOES uydusunda (-67 °C), Modis uydusundaki konumun kuzeyinde görülmektedir. Yer değişimi hatası (paralaks) uydu bakış noktasından (sub-satellite point) uzaklaştıkça büyür. Büyük derinlikli konvektif tip bulutlarda bu hata miktarı daha büyüktür (Şekil 75).



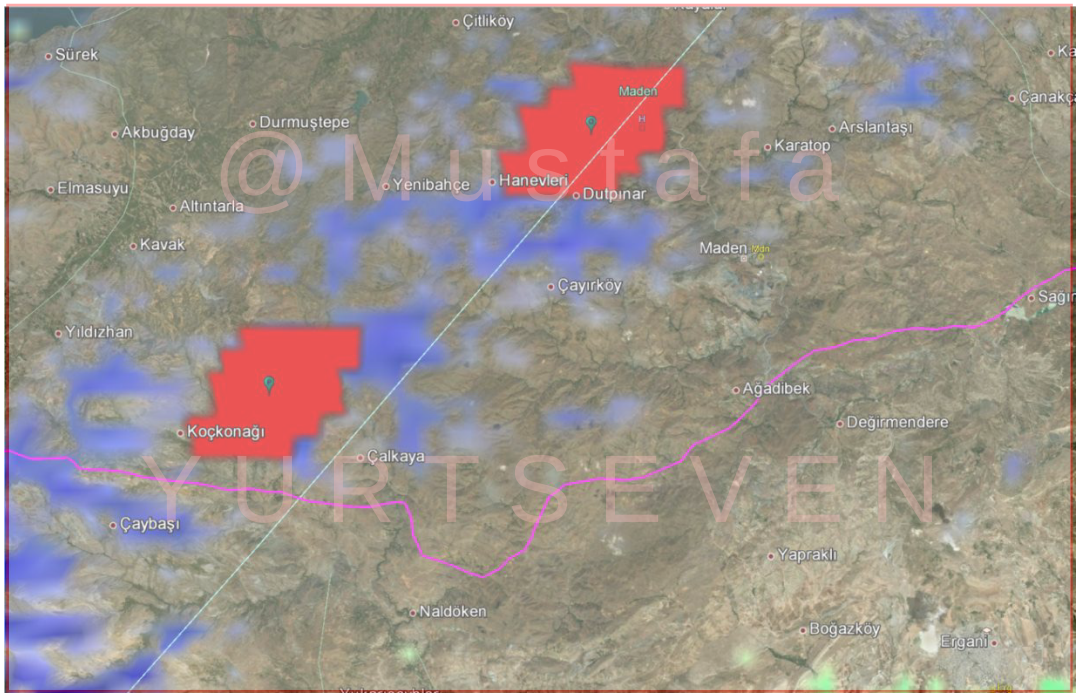
Şekil 74. *Kızılötesi uydu görüntüsünde polar (Modis-solda) ve sabit yörüngeli (Goes-sağda) uyduların buluta bakışı ve bulutun konum farklılıkları*

Meteosat-9 uydusunun 14:45 UTC'deki aşırı yükselen bulut tepe sıcaklığı -62.45 °C olup, aşırı yükselen bulut tepe pikseli, Maden ilçesinin 16.95 km güneybatısında, Maden'in Dutpınar köyünün 2 km güneybatısındadır (paralaks düzeltmesi yapılmamış). Meteosat-9 uydusu paralaks düzeltme tablosuna göre (12 km yükseklik için) aşırı yükselen bulut tepe sıcaklığı pikselinin yeni konumu, 10.46 km (paralaks hata miktarı) güneybatıya kayarak, Maden ilçesinin Eğrikavak yerleşim merkezinin güneyi üzerine düşmüştür(Şekil 76).

Uydu görüntülerinde farklı derinlik ve yükseklikde, bulutların tipik yer değişim hatası, Şekil 75 ile gösterilmiştir. Şekil-75'e göre, yukarı seviyede derin kalınlığa sahip olan konvektif türde bulut yapılarının (30 km yer değişimi) gerçekteki konumu, alçak seviye bulutlara (5 km yer değişimi) göre altı kat daha fazladır.

14:45 UTC saatinde Meteosat-8 uydusunun 10.8 µm kızılötesi kanalında aşırı yükselen bulut tepe sıcaklığı -62.45 °C olup; piksel, Maden ilçesinin 16.95 km güneybatısında, Dutpınar köyünün 2 km güneybatısındadır (O noktası -paralaks düzeltmesi yapılmamış). Metesat-9 uydu paralaks düzeltme tablosuna göre (12 km yükseklik için); aşırı yükselen bulut tepe sıcaklığı pikselinin yeni konumu, 10.46 km güneybatıya kayarak, Maden ilçesinin Koçkonağı-Eğrikavak yerleşim merkezi arasındadır (P noktası). (Şekil 76).

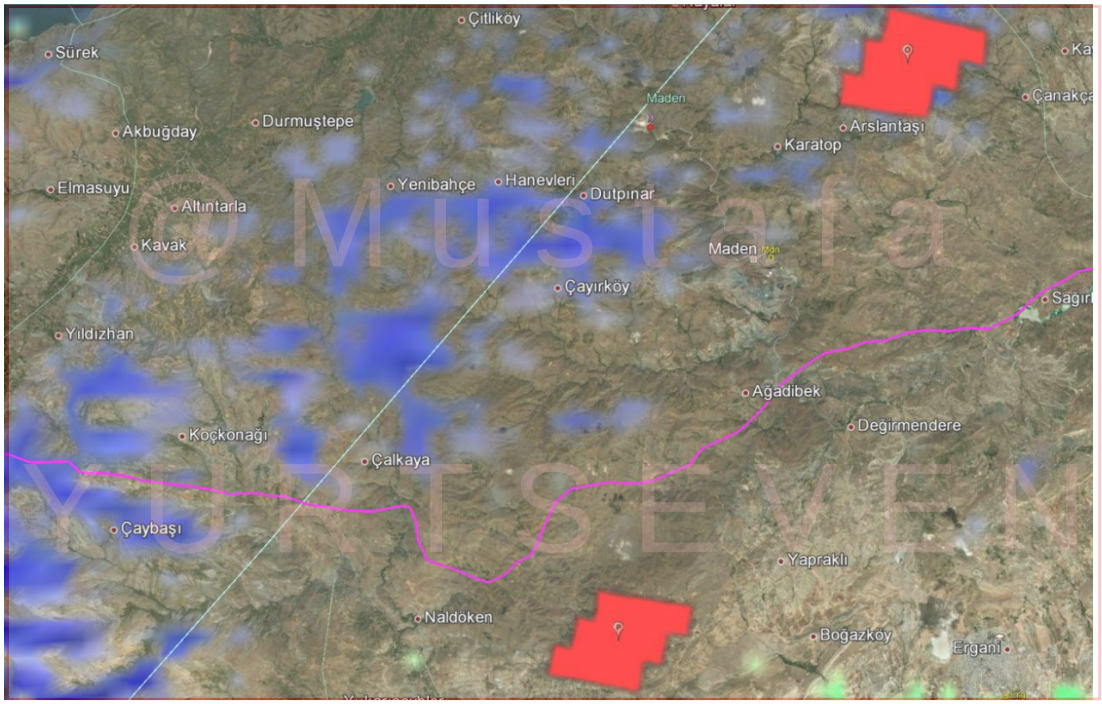
Şekil 75. *Uyduda farklı derinlik ve yükseklikteki bulutların yer değişim hatası*



Şekil 76. *Meteosat-9 uydusu 14:45 UTC için aşırı yükselen bulut tepe sıcaklığı pikselinin yer değişimi (paralaks) hatası (0-düzeltme yok, P-Paralaks düzeltmesi)*

15:10 UTC'de Meteosat-8 uydusu (hızlı tarama servisi), 10.8 µm kızılötesi kanalı, aşırı yükselen bulut tepe sıcaklık pikseli (-62.45 °C), Maden'in 16.95 km güneybatısında, Dutpınar köyünün 2 km güneybatısındadır (O noktası-paralaks düzeltmesi yapılmamış). Meteosat-8 uydu paralaks düzeltme tablosuna göre (12 km yükseklik için) aşırı yükselen bulut tepe sıcaklığı pikselinin yeni konumu,

10.46 km (paralaks hata miktarı) güneybatıya kayarak, Maden'in Koçkonağı ile Eğrikavak yerleşim merkezleri arasına (P noktası) karşılık gelmektedir (Şekil 77).

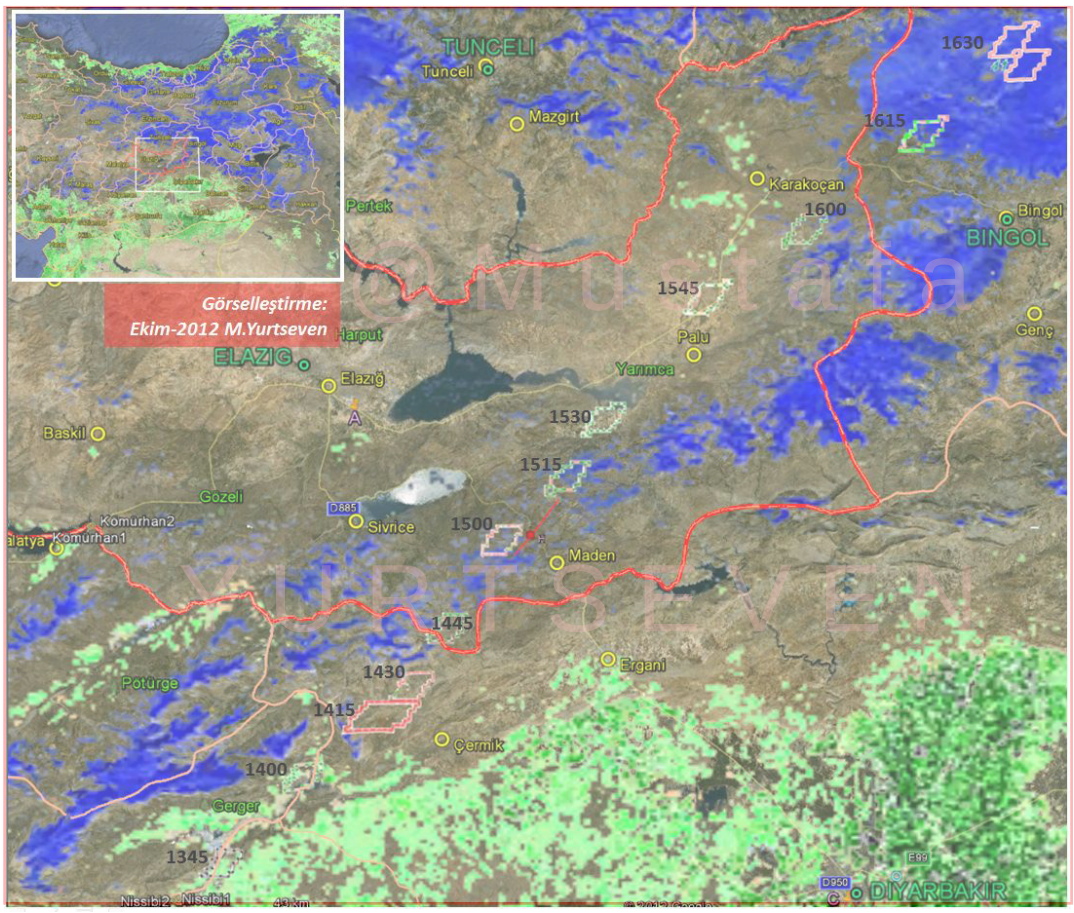


Şekil 77. *Meteosat-8 uydusu 15:10 UTC için aşırı yükselen bulut tepe sıcaklığı pikselinin yer değişimi (paralaks) hatası (0-düzeltme yok, P-Paralaks düzeltmesi)*

Paralaks tablosunda; aşırı yükselen bulut tepelerinin 12 km civarına kadar yükseldiği dikkate alınarak, yeniden konumlandırma yapılmıştır. Paralaks düzeltmesi yapılmadan elde edilen aşırı yükselen bulut tepe parlaklık sıcaklık piksellerinin bir araya getirilerek, Meteosat-9 uydu verisiyle oluşturulan güzergah haritasında, 13:15 UTC'de Adıyaman-Atatürk Baraj havzasının kuzeydoğusunda (Nissibi'nin güneyinde) aşırı yükselen bulut tepesi oluşmaya başlamış ve bulut tepesi parlaklık sıcaklığı -62.65 ^{o}C'ye (Şekil 78) düşmüştür. (Aşırı yükselen bulut tepe parlaklık sıcaklıkları: 12:00 UTC-34.85 ^{o}C, 12:15 UTC:-48.95 ^{o}C, 12:30 UTC:-56.45 ^{o}C, 12:45 UTC:-57.15 ^{o}C, 13:00 UTC:-60.25 ^{o}C'dir Not: Saatler UTC'dir).

Maden'in 14 km kuzeyinde; 15:00 UTC'de aşırı yükselen bulut tepesine ait, en düşük parlaklık sıcaklık pikseli konumu, Meteosat-9 uydusu paralaks düzeltme tablosu kullanılarak, yapılan yeni konumlandırmada; pikselin orijinal konumundan geriye doğru (210 derece doğrultusunda) 14.1 km güneybatıda, Maden ilçesinin

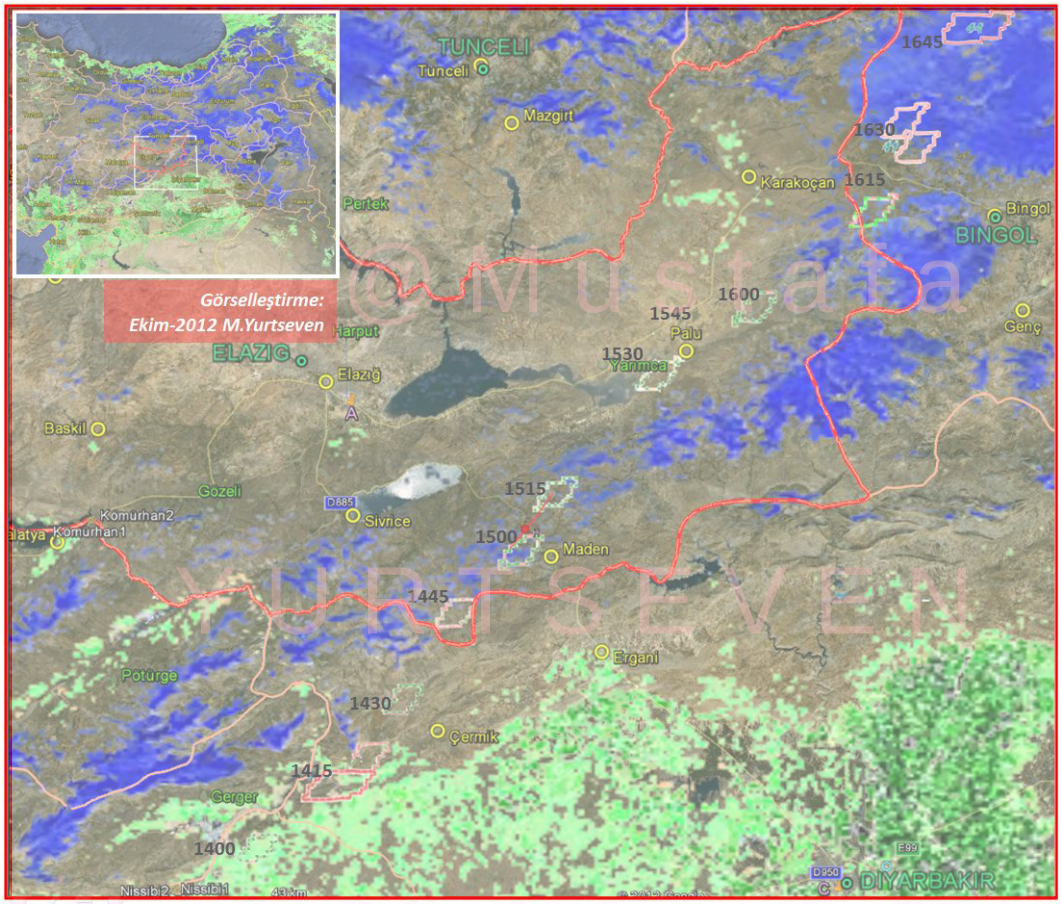
4.8 km batısına karşılık gelirken, 16:45 UTC'de aşırı yükselen bulut tepesi, ait en düşük parlaklık sıcaklık piksel konumu, Bingöl'ün Adaklı ilçesinin 14.4 km doğusunda iken, paralaks hata düzeltilmesi yapıldıktan sonra, pikselin gerçek konumu, 20 km güneybatıda (210 derece doğrultusunda) Adaklı'nın güneyinde bir yere karşılık gelmiştir (Paralaks düzeltmesi yapılmamış konumlandırmada; bir önceki, 16:30 UTC piksel görüntüsüne yakın bir konum-Şekil 77).



Şekil 78. *Meteosat-9 uydusu 13:45 UTC-16:30 UTC arası, aşırı yükselen bulut tepe sıcaklık pikselleri güzergahı (Not: Saatler UTC'dir)*

Meteosat uydusunun paralaks düzeltme tabloları kullanılarak yapılan yeniden konumlandırmada; örneğin Bingöl'ün 27 km kuzeyindeki Keban Barajının doğusunda Baltaşı'nın sahil kesiminde bir nokta için, 15:25 UTC için aşırı yükselen bulut tepesine ait en düşük parlaklık sıcaklık pikselinin konumu, 17.5 km kadar güneybatıda (218 derece doğrultusunda) Maden ilçesinin Kaşlıca yerleşim biriminin kuzeyinde bir konuma karşılık gelirken, daha kuzeydoğuda Bingöl'ün 27 km kuzeyindeki bir nokta için, 16:35 UTC saatinde aşırı yükselen bulut tepesine ait en

düşük parlaklık sıcaklık pikseli konumu, 25 km kadar güneybatıda bir konuma (218 derece doğrultusunda geriye doğru) karşılık gelmiştir (16:22 UTC civarındaki aşırı yükselen bulut tepesine ait en düşük parlaklık sıcaklık pikselinin konumu).



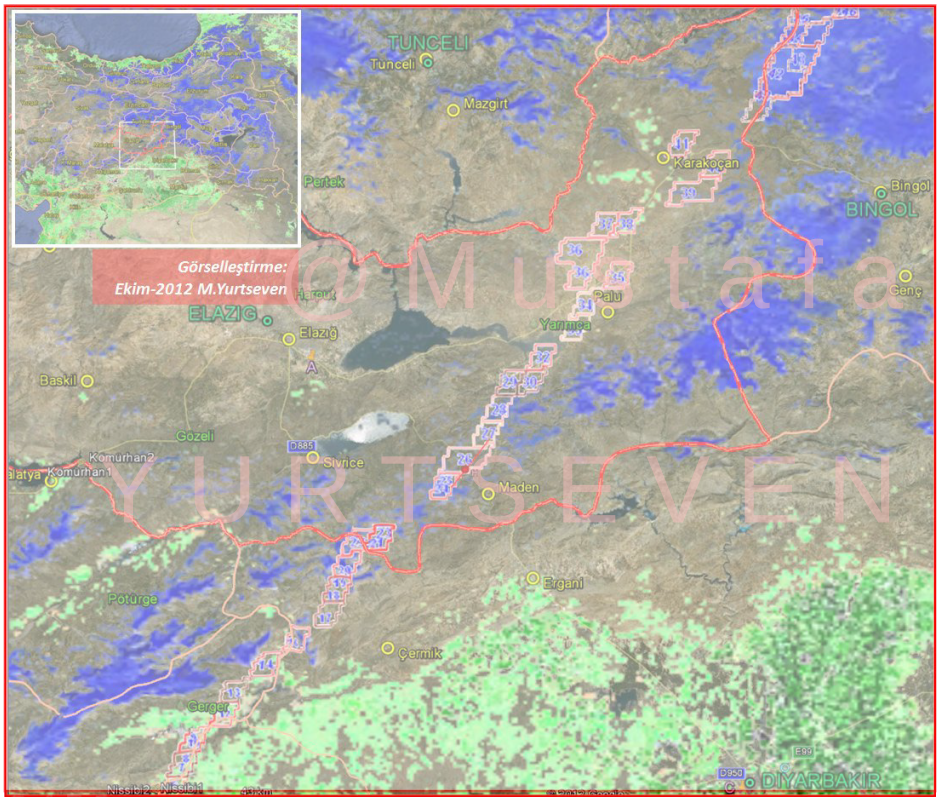
Şekil 79. *Meteosat-9 uydusu 13:30 UTC-16:30 UTC arası, aşırı yükselen bulut tepe sıcaklık pikselleri paralaks düzeltmeli güzergahı*

Eumetsat'ın ani gelişen kuvvetli hadiseleri takip etmek amacıyla, 5 dk aralıklı, 0^0 enlem ve 9.5^0 doğu boylamı üzerinde operasyonel olarak veri aktaran Meteosat-8 uydusunun 13:45-16:55 UTC saatleri arasındaki verileri kullanılarak, aşırı yükselen bulut tepe sıcaklığına sahip pikselleri, 6 Nisan 2012'de Modis uydusundan elde edilmiş karla kaplı alanlar ile NDVI (bitki örtüsü) durumunu ifade eden arka plan verileri altlığında bir araya getirilmiştir.

Oluşturulan aşırı yükselen bulut tepe sıcaklığı piksel güzergahı, Meteosat uydusunun 5 dk zaman çözünürlüğü nedeniyle, daha ayrıntılı olarak görülmektedir

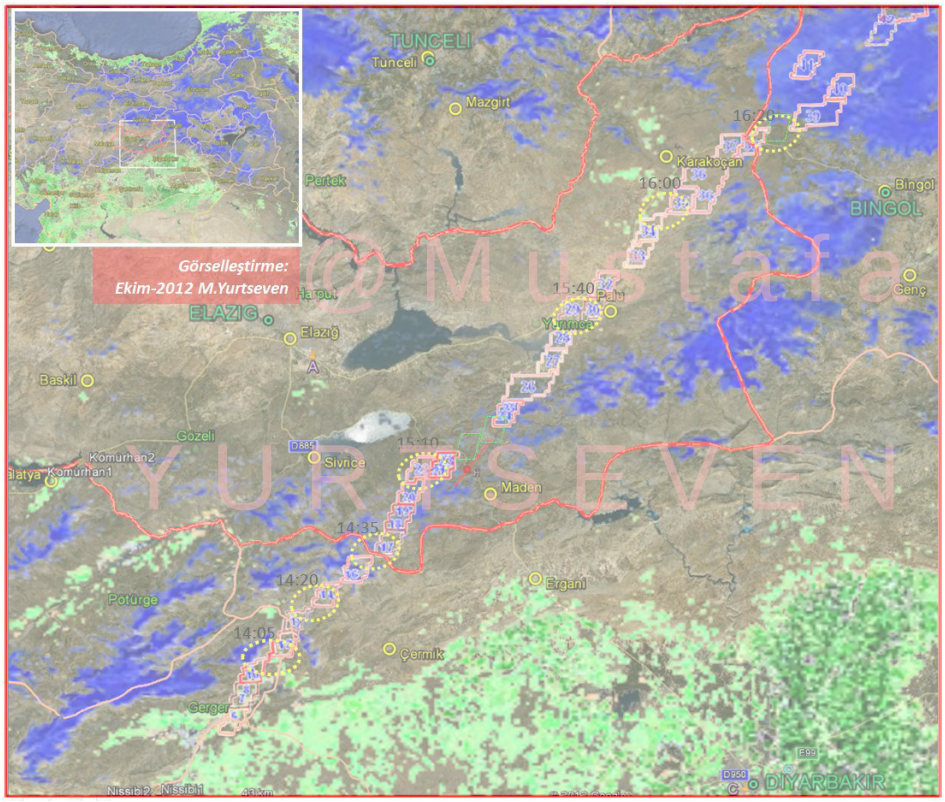
(Şekil 80; Rakamların anlamları; 1345-7, 1350-8, 1355-9, 1400-10, 1405-11, 1410-12, 1415-13, 1420-14, 1425-15, 1430-16, 1435-17, 1440-18, 1445-19, 1450-20, 1455-21, 1500-22, 1505-23, 1510-24, 1515-25, 1520-26, 1525-27, 1530-28, 1535-29, 1540-30, 1545-Yok, 1550-32, 1555-33, 1600-34, 1605-35, 1610-36, 1615-37, 1620-38, 1625-39, 1630-40, 1635-41, 1640-42, 1645-43, 1650-44, 1655-45 Not: Saatler UTC'dir). Paralaks tablosunda aşırı yükselen bulut tepelerinin yaklaşık 12 km yüksekliğe çıktığı dikkate alınarak, yapılan yeniden konumlandırmayla, aşırı yükselen bulut tepe sıcaklık piksellerinin yeni güzergahı oluşturulmuştur.

Oraj fırtınaları, organize olarak süper hücreli hale gelirken, siklonik dönen vortekse sahipse, 20 derece kadar sağa (kuzey yarımkürede) sapmakta (Mair, 2008) olup, Ankara-Esenboğa havaalanı civarındaki hortum ile ilgili olarak Haziran-2008'de Mustafa YURTSEVEN tarafından hazırlanan "Süper hücreli oraj fırtına sistematiğinde Sünlü Mezosiklonu" adlı çalışmada, Elmadağ radarı reflektivite veri güzergahına göre bu sapma Şekil 82 ile gösterilmiştir.



Şekil 80. *Meteosat-8 uydusu 13:45 UTC-16:55 UTC arası aşırı yükselen bulut tepe sıcaklık pikselleri güzergahı*

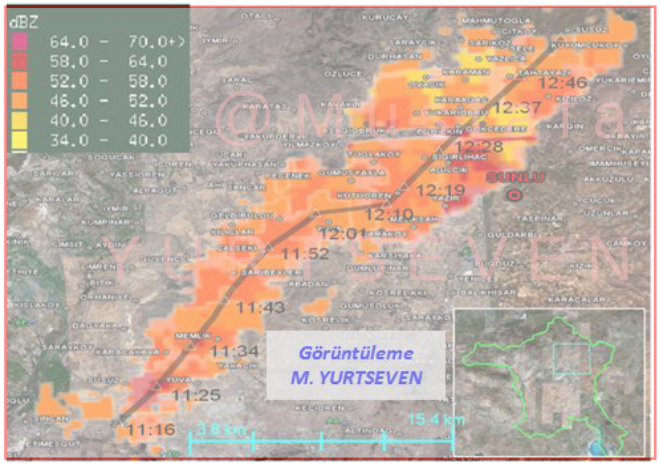
Elmadağ radar reflektivite ürününe göre oluşturulan güzergah verisinde ortaya konulan oraj hücresi korundaki yön değişiminin (sapma), Meteosat-9 uydu verisi yardımıyla oluşturulan aşırı yükselen bulut tepesi piksel güzergahında (Şekil 82); 15 dk zaman çözünürlüğünün yetersizliği nedeniyle, net olarak görülemediği, fakat 5 dk aralıklarla veri aktaran Meteosat-8 uydu verisi kullanılarak oluşturulan en düşük bulut tepe sıcaklık piksel güzergahındaki (Şekil 80) kırılmaların, net olarak belirdiği görülmektedir.



Şekil 81. *Meteosat-8 uydusu 13:45 UTC-16:35 UTC arası aşırı yükselen bulut tepe sıcaklık pikselleri paralaks düzeltmeli güzergah sapmaları*

Meteosat-9 uydu verileriyle oluşturulan, paralaks düzeltmeli aşırı yükselen bulut tepesi en düşük sıcaklık piksel güzergah sapmasına göre (Şekil 81, Rakamların anlamları: 1345-7, 1350-8, 1355-9, 1400-10, 1405-11, 1410-12, 1415-13, 1420-14, 1425-15, 1430-16, 1435-17, 1440-18, 1445-19, 1450-20, 1455-21, 1500-22, 1505-23, 1510-24, 1515-25, 1520-26, 1525-27, 1530-28, 1535-29, 1540-30, 1545-Yok, 1550-32, 1555-33, 1600-34, 1605-35, 1610-36, 1615-37, 1620-38, 1625-39, 1630-40, 1635-41 Not: Saatler UTC'dir); Nissibi'nin güneyinde Atatürk

Barajının kuzeydoğusunda; aşırı yükselen bulut tepesi parlaklık sıcaklığının -62.65 °C olduğu konumda, güneybatı-kuzeydoğu doğrultusunda (213-033 derece) hareket eden oraj hücresinin (Şekil 81), 14:30 UTC'de (bölge 14:37 UTC civarında taranmakta) Diyarbakır'ın Çermik ve Çüngüş ilçeleri arasında aşırı yükselen bulut tepe parlaklık sıcaklığı -63.95 °C'ye düşmüştür.



Şekil 82. *19 Haziran 2004'de Ankara-Çubuk ilçesi-Sünlü köyün hotumu, radar reflektivitesiyle (>34 dBz filtresi) oluşturulan süper hücreli oraj güzergahı*

Aşırı yükselen bulut tepesi en düşük sıcaklık pikseli güzergahında; Diyarbakır'ın Çüngüş ilçesinden, Elazığ'ın Maden ilçesine doğru hareket ederken, sağa doğru 4.5 derecelik bir sapmayla, 14:45 UTC'de (Uydu bölgeyi 14:52 UTC civarında taramaktadır) Elazığ'ın Maden ilçesinin güneybatısında aşırı yükselen bulut tepe parlaklık sıcaklığı -61.45 °C olmuştur. Aşırı yükselen bulut tepe parlaklık sıcaklığı 15:00 UTC'de (bölge 15:07 UTC civarında taranmakta) Dutpınar köyünde -60.65 °C'ye, 15:15 UTC'de (bölge 15:22 UTC civarında taranmakta) Kaşlıca Köyünde -60.65 °C'ye, 15:30 UTC'de (bölge 15:37 UTC civarında taranmakta) Murat nehrinin Keban Barajına döküldüğü yerde -60.25 °C'ye düşmüştür.

Bu süreçte aşırı yükselen bulut tepesi parlaklık sıcaklık pikseli, Elazığ'ın Palu ilçesini geçtikten sonra, aşırı yükselen bulut tepesi en düşük sıcaklık piksel güzergahında, sağa doğru 13.6 derecelik bir sapma daha oluşmuş ve 16:00 UTC'de (bölge 16:07 UTC civarında taranmakta) Palu'nun Karaman Köyünün doğusunda -61.05 °C'ye, 16:15 UTC'de (bölge 16:22 UTC civarında taranmakta) Bingöl'ün Dikme köyünün güneybatısında -60.25 °C'ye, 16:30 UTC'de (bölge 16:37 UTC civarında taranmakta) Bingöl'ün Yazgülü, Gökçekanat ve Balıklıçay köyleri arasında -60.25 °C'ye, 16:45 UTC'de (bölge 16:52 UTC civarında taranmakta) Bingöl'ün Adaklı ilçesinin Boyalı köyünün batısı üzerinde -61.45 °C'ye düşmüştür (Şekil 81).

Özet olarak; Meteosat-9 uydu verileriyle oluşturulan paralaks düzeltmeli aşırı yükselen bulut tepesi en düşük sıcaklık piksel güzergahına göre, süper hücreli oraj bulutu, Diyarbakır'ın Çüngüş ilçesinden, Maden ilçesine doğru hareket ederken, 14:37 UTC-14:52 UTC saatleri arasında, ilk sapma sağa doğru 4.5 derece olmuş, Elazığ'ın Palu ilçesini geçtikten sonra, aşırı yükselen bulut tepesi en düşük sıcaklık piksel güzergahında, 15:37~15:52 UTC saatleri arasındaki bölge taramasında, ikinci kez sağa doğru 13.6 derecelik bir kırılma medyana gelmiştir. 16:37 UTC-16:52 UTC saatleri arasında bölge taramasında, Bingöl'ün Dikme Köyü civarlarında, oraj bulutu son kez, sola doğru 25 derece sapmıştır.

Meteosat-8 uydu verileriyle oluşturulan, paralaks düzeltmeli aşırı yükselen bulut tepesi en düşük sıcaklık piksel güzergah sapmasına göre (Şekil 81); 13:40 UTC'de Adıyaman'ın Nissibi yerleşim merkezinin doğusunda -62.75 ^{o}C aşırı yükselen bulut tepesinin parlaklık sıcaklığına sahip bulut hücresi, 200-020 derece istikametinde hareket ederken, 14:05 UTC'de (-61.15 ^{o}C) Gerger'in doğusunda ilk kez 30 derece sağa saparak, 14:10 UTC'de (-62.10 ^{o}C) ve 14:15 UTC'de (-61.95 ^{o}C) 190-010 derece yönünde hareket etmiştir.

Süper hücreli oraj bulutu; 14:20 UTC'de (-61.55 ^{o}C) 200-020 derece yönünde hareket ederken, ikinci kez 25 derece kadar sağa sapmıştır. 14:25 ve 14:30 UTC'de (-61.95 ^{o}C) 230-050 derece yönünde hareket etmiştir. 14:35 UTC'den itibaren (-62.35 ^{o}C) 200-020 derece yönünde (15:10 UTC'ye kadar) hareket etmiştir (25 derece sola sapma). 14:35 UTC'den itibaren (14:40 UTC'de -63.15 ^{o}C) Çüngüş'ün kuzeydoğusu boyunca 15:05 UTC'ye kadar 205-025 derece yönünde hareket etmiştir

15:05 ile 15:10 UTC'de aşırı yükselen bulut tepe sıcaklık pikseli, Maden'in güneybatısından Maden'in 8 km batısına kadar 13 km civarında (5 dk içerisinde) yer değiştirmiştir. (13:15-17:05 UTC arasında 5 dk'lık ortalama yer değişim miktarı 5-7 km olup, pikselin en fazla yer değişim miktarı 15:05-15:10 UTC arasında gerçekleşmiştir). Bu süreçte aşırı yükselen bulut tepe pikselinin paralaks hatası düzeltilmiş güzergahında, 18 derecelik sağa doğru sapma gözlemlenmiş olup, oraj

hücresinin en düşük parlaklık sıcaklık pikseli, 15:35 UTC'ye kadar 210-030 derece yönünde hareket etmiştir. Aşırı yükselen bulut tepe pikseli paralaks hata düzeltmeli güzergahında, 15:35 UTC'den sonra Elazığ-Harput'un Kumla ve Kuşhane ile Palu'nun Baltaşı yerleşim merkezlerinde, bulut tepe sıcaklığı 15:30 UTC'ye göre 2.8 ^{o}C daha düşerek -62.35 ^{o}C olmuş (yakın sıcak bölge ile sıcaklık farkı 14 ^{o}C'ye yükselmiştir) ve 15:40 UTC'de (-62.35 ^{o}C) 9 derece sağa saparak, 15:55 UTC ve 16:00 UTC'de 200-020 derece istikametinde hareket etmiştir.

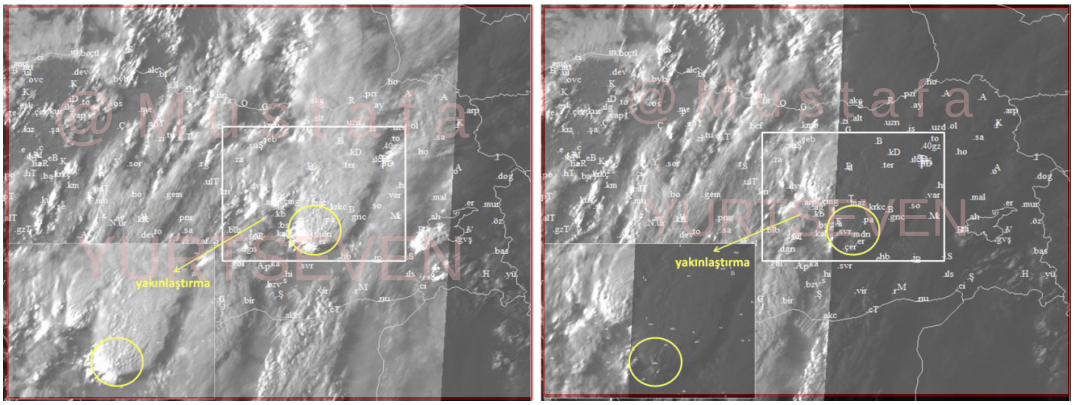
16:05 UTC'de (-60.35 ^{o}C) aşırı yükselen bulut tepe pikseli, paralaks hatası düzeltilmeli güzergahında; 30 derece sağa doğru sapma gözlemlenmiş olup, piksel 16:20 UTC'ye kadar (-60.35 ^{o}C) 220-040 derece istikametinde hareket etmiştir.

14.3. Uydu görünür (visible) kanallarına histogram düzeltmesi yapmak

Hortuma sebep olan bulut özelliklerini görmek bakımından, büyük zaman ve alan çözünürlüklü, görünür (visible) kanal verileri ayrı bir öneme sahiptir. Fakat; Maden'de, 9 Nisan için 15:38 UTC'de (yerel saat ile 18:38) güneş batışına yakın (güneşin açısı sebebiyle), yüksek çözünürlüğe sahip görünür kanal uydu verilerinin işlenmesinde kullanılan MSGView yazılımından (3.4 versiyonu); Meteosat-9 uydu verilerinden 15:30 UTC'den itibaren (Şekil 83-sağda), TmetVis yazılımından (1.4.2 versiyonu); Meteosat-9 ve Meteosat-8 uydu verilerinden 15:00 UTC'den (Şekil 89-sağda) itibaren, Geosatsignal yazılımından (7.3.2 versiyonu) 15:25 UTC'den (Şekil 85-sağda) itibaren alınan veriler, yazılım içerisinde görüntülenememektedir.

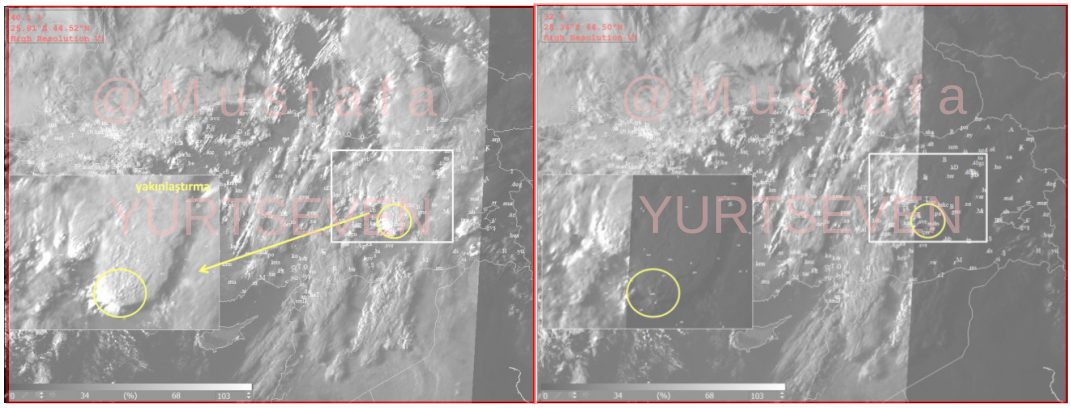
Hortum hadisesinin uydu verilerinden takibinde, en fazla yardımcı olan, kanat hattı bulutluluğunun (komşu bulut hücreleri tarafından maskelenmediği takdirde) takibinde; güneşin açısı nedeniyle uydunun yüksek çözünürlüklü görünür kanal verilerinin görüntülenememesi nedeniyle operasyonel takip yapılması zorlaşmaktadır. Zaten güneşin eğim açısının düşük olduğu (güneşin batmadan önceki son 40 dk içinde gelen verilerde de güneş ışınlarının eğimi nedeniyle, uydunun yüksek çözünürlüklü görünür kanal verilerinin görüntü kalitesi düşmekte ve daha karanlık verilerle çalışılmaktadır. Uydudan 24 saat süresince veri alınabilen

infrared kanalından gelen veriler ise, hortum işaretine yönelik ipuçları içermemektedir (Sadece "Gelişmiş-V" yapısının varlığı görülebilmektedir).

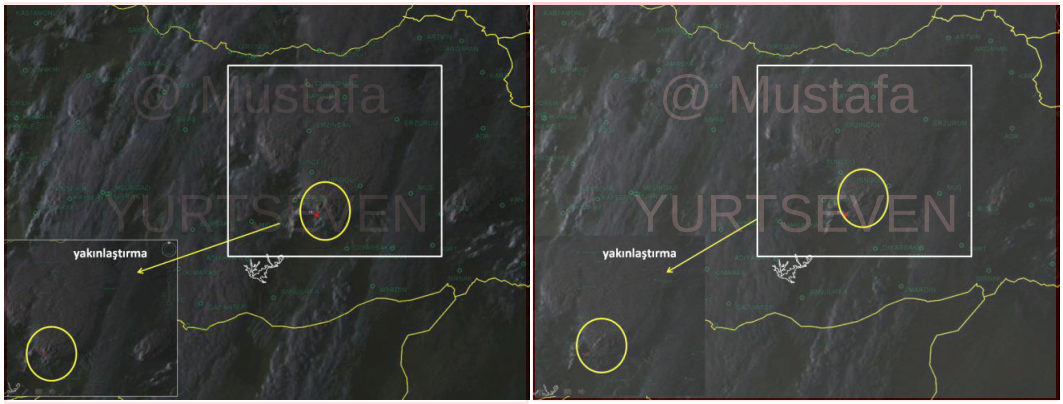


Şekil 83. *Güneş batımı öncesi TmetVis yazılımı (1.4.7 versiyonu) ile Elazığ civarı Meteosat-9 uydusu (HRV kanalı) son görüntüleri (15:15 UTC-solda, 15:30 UTC-sağda)*

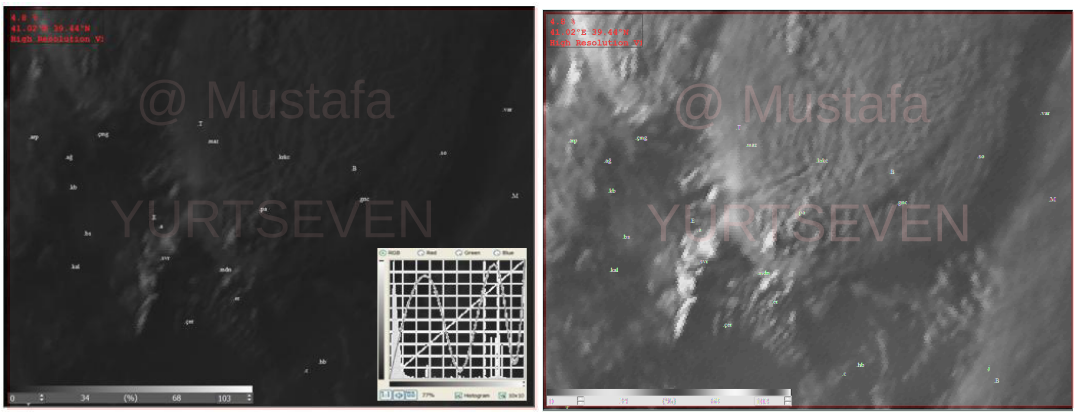
Güneşin batmasına yakın eğim açısından kaynaklanan, karanlığın azaltılması amacıyla hortumun oluşma saatine yakın ve aydınlanmanın az olduğu, Meteosat-8 uydusunun yüksek çözünürlüklü görünür kanal verileri TmetVis ve Geosatsignal yazılımı ile görüntülendikten sonra, histogram renk düzeltme eğrisi uygulanarak görüntü kalitesi artırılmıştır (Şekil 86). Bu sayede; normal görüntülerde TmetVis ve Geosatsignal yazılımları ile en son 15:00 UTC'de alınan görüntü dahil olmak üzere 15:30 UTC'ye kadar olan sürede alınan görüntüler üzerinde, hortum işareti ifade eden, alçak seviye bulutluluğu görülünceye kadar yeniden renklendirme yapılmıştır. Böylece, daha önceki görüntülerde karanlık olarak görünen Meteosat-8 uydusunun 15:05, 15:10, 15:15, 15:20, 15:25 ve 15:30 UTC görüntüleri de kullanılabilmiştir.



Şekil 84. *Güneş batışı öncesi TmetVis yazılımından Elazığ civarı Meteosat-9 uydusu (HRV kanalı) görüntüleri (14:45 UTC-solda, 15:00 UTC-sağda)*



Şekil 85. *Güneş batışı öncesi Geosatsignal yazılımından (7.3.2 versiyonu)-Elazığ civarı Meteosat-9 uydusu (HRV kanalı) görüntüleri (15:15 UTC-solda, 15:25 UTC-sağda)*



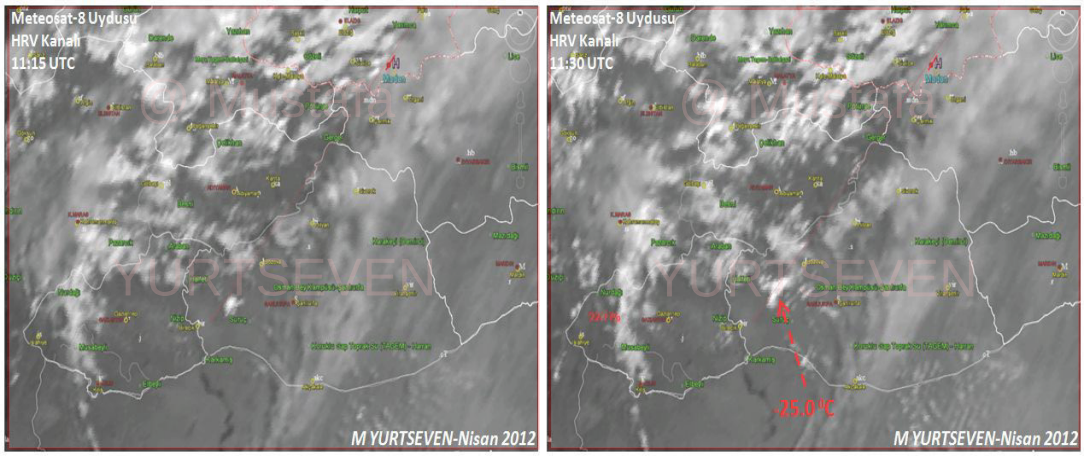
Şekil 86. *Meteosat-8 uydusu TmetVis yazılımı (1.4.7 versiyonu) 15:20 UTC görüntüsü üzerinde, histogram düzeltmesi uygulanarak elde edilen görüntülerin karşılaştırılması*

Hortum hadisesi; Maden istasyonunun 5.5-8.5 km kuzeybatısındadır. Maden'in 2 dk'lık rüzgar verilerine göre, 07:00-16:22 UTC arasında rüzgar, Maden'de 100-170 derece yönleri arasında, hortum yerine en yakın istasyon olan Çermik'te (Maden'in 33 km güneybatısı), aynı saatlerde yer rüzgarı 070-130 derece arasında esmiştir (Grafik 1). Hortum bölgesi; denizden itibaren 1.0-1.2 km yukarıdadır. 15 UTC'de modelin 10 m seviye rüzgarı; 120-160 dereceden 8-15 kt, 700 hPa rüzgarı, 180-200 dereceden 35-40 kt, 500 hPa rüzgarı 190-230 dereceden 45-50 kt ve 300 hPa rüzgarı, 190-220 dereceden 50-65 kt'tır.

14.4. Uydudan Elde Edilen Soğuk ve Sıcak Nokta Analizleri

MSG uydusundan elde edilen bulut tepe sıcaklıklarının analizlerinde, operasyonel olarak 15 dk aralıklı operasyonel görüntü servisi olarak kullanılan Meteosat-9 uydusu (sıfır derece boylamı ile sıfır derece enlemi üzerinde konumlu)

ile 5 dk aralıklı hızlı tarama servisi (RSS-Rapid Scan Service) olarak kullanılan Meteosat-8 uydu (9.5 derece doğu boylamı ile sıfır derece enlemi üzerinde konumlu) verilerinden yararlanılmıştır.

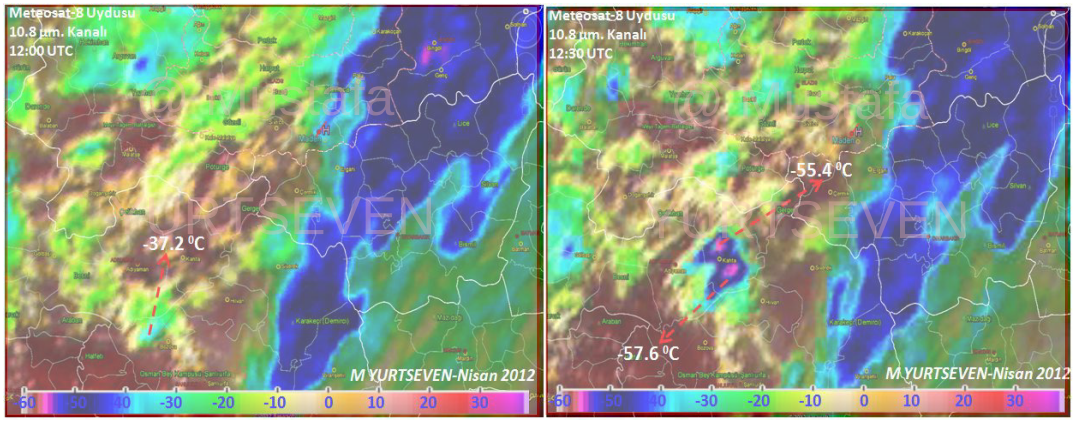


Şekil 87. *Meteosat-8 uydusu HRV kanalı 11:15 UTC (solda) ve 11:30 UTC (sağda) görüntüsü*

Elazığ-Maden bölgesini kapsayan radar olmadığından, Elazığ-Maden hortumunun, yüksek çözünürlüklü MSG uydu verisine bağlı olarak ne tür özellikler sergilediği analiz edilmiş olup, bu çerçevede; 6. Bölüm olan "Gelişmiş-V Şekilli Oraj Fırtınalarının Uydu Gözlem Özellikleri" adlı bölümde; Heymsfield ve Arkadaşlarının (1983a) yaptıkları "Gelişmiş-V" şekilli oraj modelleme çalışmasına dayanan; yakın sıcak bölge ve uzak sıcak bölge ile "Gelişmiş-V" şekilli orajların en soğuk noktasının oluşturduğu, soğuk-sıcak uydu parlaklık sıcaklık çifti yapısına bağlı konsept çerçevesinde (McCann 1983, Heymsfield ve Ark., 1983a,b, Negri 1982, Fujita 1982) Elazığ-Maden hortumunun yapısı analiz edilmiştir.

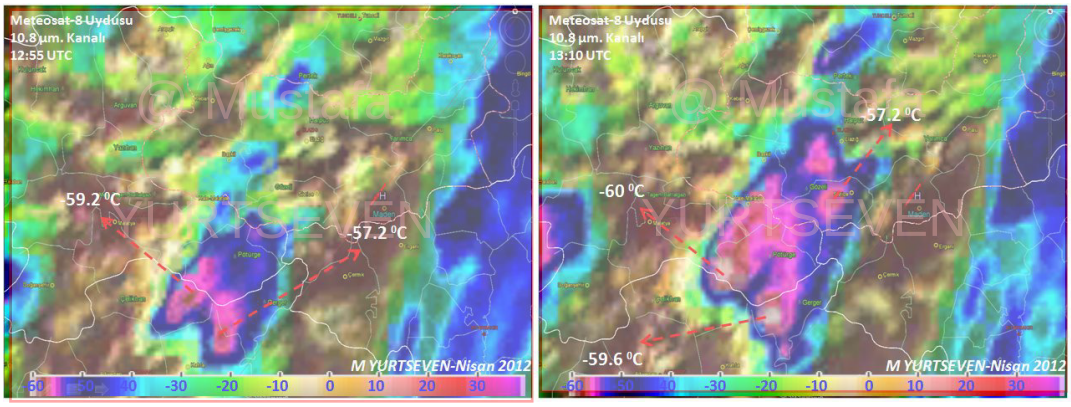
5 dk aralıklı Meteosat-8 ve 15 dk aralıklı Meteosat-9 uydularındaki; bulut yapısı içerisindeki en soğuk, yakın sıcak ve uzak sıcak nokta çiftlerinin zaman bağlı parlaklık sıcaklık değişim grafikleri ortaya konulmuştur. Elazığ-Maden'de görülen ve hortuma sebep olan bulutluluğa ait ilk oluşum; Meteosat-8 uydusunun (Hızlı tarama servisi) HRV kanalı 11:15 UTC (Şekil 87-solda) verisine göre, Urfa'nın Birecik ilçesinin kuzeydoğusunda başlamış olup, 11:30 ve 11:45 UTC'de Urfa'nın Bozova ilçesinde gelişerek, bulut tepe sıcaklığının -25 ^{o}C'ye düştüğü görülmektedir (Şekil 87-sağda).

Meteosat-8 uydusu, 10.8 µm kanalı, geliştirilmiş renk görüntüsünde 12 UTC'de, Şanlıurfa'nın Bozova ilçesinin kuzeybatısında ve Adıyaman'ın güneyinde (Atatürk Barajı havzasında) oraj hücresi bulut tepe sıcaklığının -37.2 °C'ye düştüğü görülmektedir (Şekil 88.-solda). 12:30 UTC'de, bulutun Adıyaman'ın Kahta ilçesine doğru ilerleyerek, hücrenin ikiye ayrıldığı, kuzeydeki hücrenin bulut tepe sıcaklığı -55.4 °C iken, güneydeki hücrenin -57.6 °C olduğu görülmektedir (Şekil 88-sağda).



***Şekil 88**. Meteosat-8 uydusu 12:00 UTC (solda) ve 12:30 UTC (sağda) 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsü*

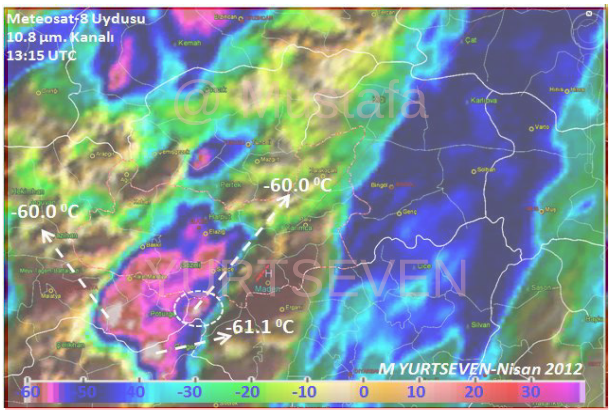
12:55 UTC'de uydunun 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsünde, iki ayrık oraj bulut hücresinden; kuzeydeki, Adıyaman-Sincik'e ilerlerken (bulut tepe sıcaklığı -59.2 °C), güneydeki hücrenin bulut tepe sıcaklığı düşerek, Kahta-Gerger sınırı civarında -57.2 °C bulut tepe sıcaklığına ulaşmıştır. 12:55 UTC'de Pötürge'nin kuzeyinde yeni oraj hücresinin gelişmeye başladığı görülmektedir (Şekil 89-solda).



***Şekil 89.** Meteosat-8 uydusu 12:55 UTC (solda) ve 13:10 UTC (sağda) 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsü*

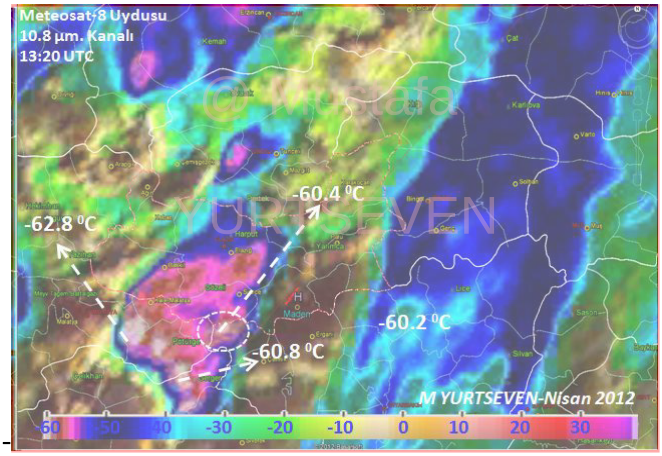
Ayrıca bu iki oraj fırtına hücresinin hemen kuzeyinde, hızlı tarama uydusunun 13:10 UTC, 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsünde, her iki bulut hücresinin de bulut tepe sıcaklıklarının düşmeye devam ettiği ve kuzeydeki hücrenin bulut tepe sıcaklığının, Malatya'nın Pötürge ilçesi civarında -60.0 °C'ye düşerken, güneydeki hücrenin Adıyaman'ın Gerger ilçesi üzerinde, -59.6 °C'ye düştüğü görülmektedir (Şekil 89-sağda). 12:55 UTC'de kuzeyde gelişmeye başlayan oraj hücresi, 15 dk gibi kısa bir süre sonra, 13:10 UTC saatinde Elazığ'ın Sivrice ilçesi üzerine hareket ederek, bulut tepe sıcaklığı -57.2 °C'ye ulaşmıştır. 13:15 UTC'de uydunun 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsünde, Diyarbakır'ın kuzeybatısında Çüngüş ilçesi üzerinde ani şekilde dikey olarak gelişen (bulut tepe sıcaklığı -60.0 °C), üçüncü ve yeni bir oraj fırtına hücresi dikkati çekmekte olup, bu durumda oraj fırtınası, Maden'in 43 km güneybatısında yer almaktadır.

Malatya-Pötürge'nin batısında, bulut tepe sıcaklığı -60.0 °C'ye düşerken, Adıyaman-Gerger'de bulutun tepe sıcaklığı -61.1 °C'ye düşmüştür (Şekil 90). Adıyaman-Gerger hattında, dört farklı oraj hücresi, gelişimine devam etmiştir. Bunlardan, bulut tepe sıcaklığı en düşük olan, Malatya-Pötürge'deki oraj hücresi bulutu tepe sıcaklığı, -62.8 °C'ye düşerken, oraj hücresinde aşırı yükselen bulut tepe sıcaklığı en düşük olan ikinci aşırı yükselen bulut tepesi, Adıyaman'ın Gerger ilçesi ile Malatya'nın Pötürge ilçesi arasındaki sınırda -60.8 °C'ye kadar düşmüştür.



Şekil 90. *Meteosat-8 uydusu 13:15 UTC 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsü*

Diyarbakır'ın Çüngüş ilçesi üzerindeki oraj fırtına hücresi, Elazığ'ın Sivrice ilçesine yaklaşarak, bulut tepe sıcaklığının -60.4 °C'ye düştüğü görülmektedir (Şekil 91). 13:30 UTC'de uydunun 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsünde, farklı oraj hücrelerinin bir arada bulunduğu bulutluluk alanının doğusunda, Adıyaman'ın Gerger ilçesinden Elazığ'ın Sivrice ilçesine kadar olan alanda "Gelişmiş-V" hücresine uygun farklılaşma görünmektedir.



Şekil 91. *Meteosat-8 uydusu 13:20 UTC 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsü*

13:30 UTC'de, ikinci "Gelişmiş-V" oraj fırtına yapısı olan, Diyarbakır'ın Çüngüş ilçesi ile Elazığ'ın Sivrice ilçesinin doğusu üzerindeki oraj hücresinin bulut tepe sıcaklığı -62.0 °C'ye düşmüştür. Oraj hücresine ait yakın sıcak bölgenin (CWA) Elazığ Sivrice'nin doğusu ile Maden ilçeleri arasındaki alanda belirmeye başladığı görülmektedir. Burada oraj hücresinin yakın sıcak bölge bulut tepe pikseli en yüksek sıcaklığı -54.8 °C'dir (Şekil 94-sağda).

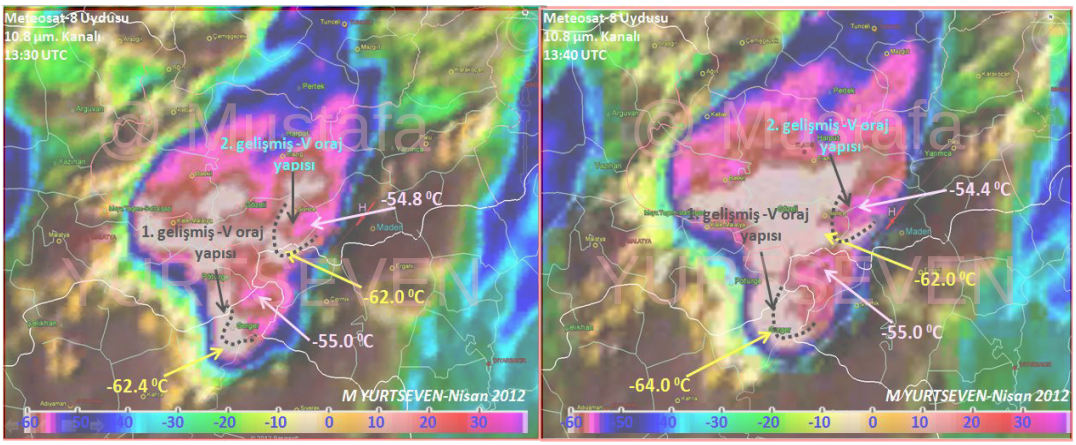
Birinci "Gelişmiş-V" oraj fırtına hücre yapısı olan, Adıyaman'ın Gerger ilçesi üzerindeki oraj hücresi bulut tepe sıcaklığı düşmeye devam ederek -62.4 °C olurken, bu oraja ait yakın sıcak bölgesinin (Close Warm Area-CWA), Pötürge-Çüngüş ve Gerger arasında belirmeye başladığı görülmekte olup, yakın sıcak bölgesinin, en yüksek bulut tepe sıcaklığı -55 °C'dir (Şekil 94-solda). 13:20 UTC'de bölgedeki genel bulut yapısı içerisinde beş adet oraj hücresi varken, 13:30 UTC'de oraj hücrelerinin organize olmaya ve "Gelişmiş-V" oraj fırtına hücre yapısına geçmeye başladığı görülmekte olup, "Gelişmiş-V" oraj fırtına yapısının özellikleri Tablo 3 ile verilmiştir.

	1."Gelişmiş-V" oraj yapısı (Adıyaman-Gerger)	2. "Gelişmiş-V" oraj yapısı (Diyarbakır-Çüngüş ile Elazığ- Sivrice'nin doğusu)
T_{min}	-62.4 °C	-62.0 °C
T_{maks}	-54.8 °C	-55.0 °C
T_{fark} (T_{min} ile T_{maks} arası)	7.6 °C	7.0 °C
MES (T_{min} ile T_{maks} arası)	20 km	15 km
MES_{kol} kolları arası	25 km	15 km
$Açı_{Kollar}$, "V şekli"'	65°	53°

Tablo 3. 13:30 UTC saatinde "Gelişmiş-V" oraj fırtına yapısının özellikleri

Meteosat-8 uydusu 13:40 UTC, 10.8 µm kanal görüntüsünde; Adıyaman'ın Gerger ilçesi üzerinde "Gelişmiş-V" yapılı oraj hücresi en düşük bulut tepe sıcaklığı, -64 °C'ye düşerken en yakın sıcak bölge; 25 km kuzeydoğuda Diyarbakır'ın Çüngüş ilçesinde bulunmakta olup, sıcaklığı -55 °C olarak (değişmeden) devam etmektedir. Elazığ'ın Sivrice ilçesinin doğusu ile Maden ilçeleri üzerindeki "Gelişmiş-V" yapılı oraj hücresi en düşük bulut tepe sıcaklığı, -62 °C iken (değişim yok), bu yapıya ait en yakın sıcak bölge; 15 km kuzeydoğuda Maden'in Durmuştepe, Yoncapınar ve Hatunköy yerleşim merkezleri arasındaki bölge üzerinde bulunmaktadır ve sıcaklığı -54.4 °C'ye yükselmiştir.

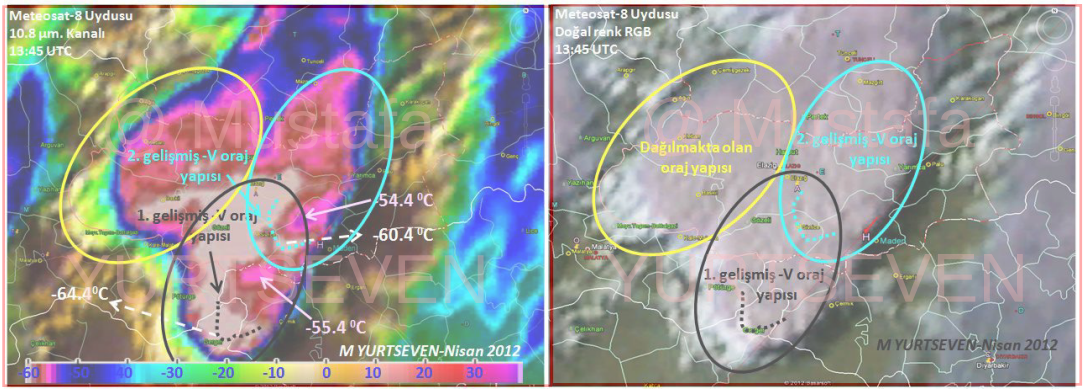
13:45 UTC'de MSG uydusu 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsünde, Adıyaman'ın Gerger ilçesi üzerindeki "Gelişmiş-V" oraj hücresine ait en düşük bulut tepe sıcaklığı, -64.4 °C'ye düşerken (0.4 °C azalış), "Gelişmiş-V" oraj hücresinin en yakın sıcak bölgesi; 25 km kuzeydoğuda Diyarbakır'ın Çüngüş ilçesinin kuzeyine ilerleyerek, sıcaklığı -55.4 °C'ye düşmüştür (0.4 °C soğuma). 13:40 UTC'de Maden ilçesi üzerindeki "Gelişmiş-V" oraj hücresinin en düşük bulut tepe sıcaklık alanı, Elazığ'ın Maden ilçesinin Sürekkavak-Yenibahçe yerleşim merkezine doğru hareket ederek, oraj hücresine ait yakın sıcak bölgenin sıcaklığı 5 dk öncesine göre değişmemiş (-54.4 °C), Maden ilçesi Kızıltepe-Tepecik'e ilerlemiştir (Şekil 93-solda).



Şekil 92. *Meteosat-8, 13:30 UTC (solda) ve 13:40 UTC (sağda) 10.8 µm kanal görüntüsü*

Eumetsat'ın hızlı tarama servisi uydusu (Meteosat-8), 13:45 UTC doğal renk RGB görüntüsünde, birbirine komşu üç bulut hücresinden ilkinin; Adıyaman'ın

Gerger ilçesinde, ikincinin Elazığ merkez ve merkezinin doğusu ile Maden ilçesinin kuzeyinde, üçüncüsünün Elazığ'ın Baskil ilçesinde olduğu görülmekte olup, üç bulut hücre sınırı birbiriyle iç içe girmiştir (Şekil 93-sağda).

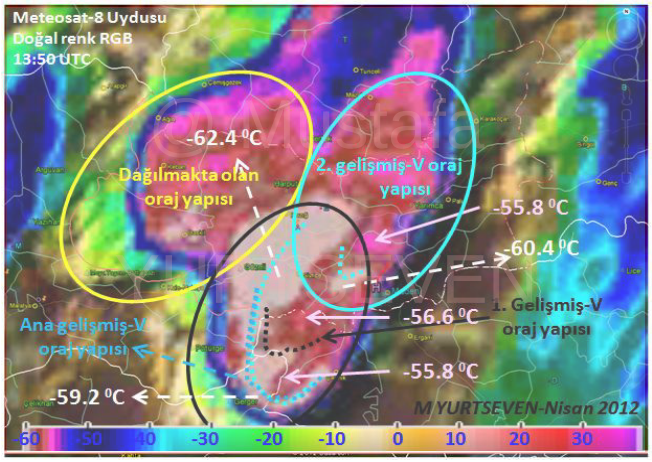


Şekil 93. *Meteosat-8 uydusu 13:45 UTC 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsü (solda) ve doğal renk RGB görüntüsü (sağda)*

13:50 UTC'de MSG uydusu 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsünde, kuvvetli hadiselere sebep olan oraj bulutunun, doğu kanadındaki birinci ve ikinci "Gelişmiş-V" hücre yapısının değişmekte olduğu görülmektedir. Maden ilçesinin kuzeybatısındaki ikinci oraj hücresi, Maden ilçesindeki "Gelişmiş-V" hücresine ait minimum bulut tepe sıcaklık bölgesi, bulutluluk alanının batısındaki (-62.4 °C) bölgeden koparak, Maden ilçesinin Kızıltepe-Kavak ve Yenibahçe yerleşim merkezleri arasındaki bölgede küçülmeye başladığı, "Gelişmiş-V" oraj yapısına ait yakın sıcak bölgenin, Elazığ'ın Korucu ve Kumla ile Maden'in Tepecik yerleşim merkezleri arasında alanını daraltarak -55.8 °C (1.4 °C azalma) olduğu, dolayısıyla ikinci "Gelişmiş-V" oraj yapısının bozulmaya başladığı görülmektedir (Şekil 94).

Adıyaman'ın Gerger ilçesi üzerindeki birinci "Gelişmiş-V" oraj hücresi kuzeydoğuya hareket ederek, Gerger-Çüngüş ilçeleri istikametindeki oraj hücresine ait "Gelişmiş-V" yapının, doğu kolunun doğusunda yeni ve daha büyük "Gelişmiş-V" oraj hücresi oluşturacak şekilde Şanlıurfa-Siverek ilçesi Büyüktepe yerleşim merkezinden, Diyarbakır-Çermik'e doğru uzandığı görülmekte olup, hücrenin en düşük bulut tepe sıcaklığı, 5.2 °C azalarak -59.2 °C'ye ulaşırken, batıda bozulmakta

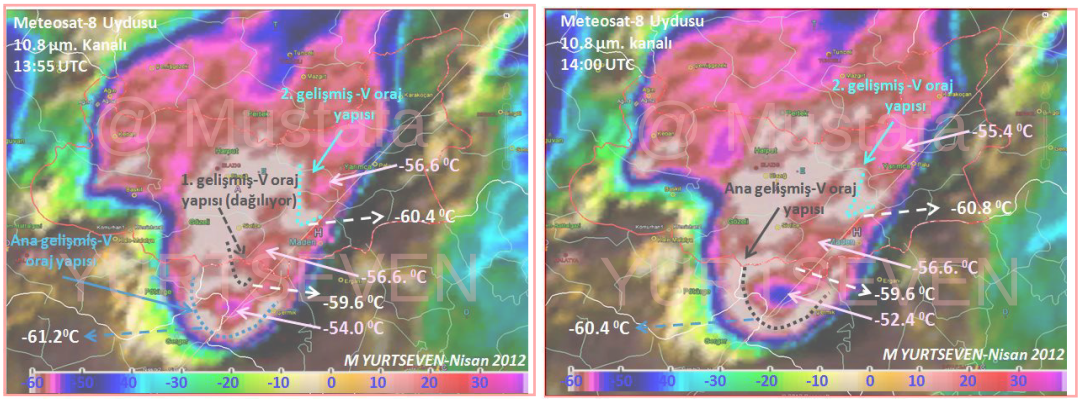
olan “Gelişmiş-V” oraj hücresi en yakın sıcak bölgesi; Sivrice-Maden- Çüngüş ilçeleri arasında -56.6 °C iken, oluşan yeni “Gelişmiş-V” oraj hücresi yakın sıcak bölgenin 5 km kuzeydoğusunda, Çermik ilçesinin Ceylan-Kalaç yerleşim merkezi ile Gerger’in Ortaca yerleşim merkezi arasındaki bölgede, bulut tepe sıcaklığının -55.8 °C olduğu görülmektedir (Şekil 94).



Şekil 94. *Meteosat-8, 13:50 UTC doğal renk RGB görüntüsü*

Hızlı tarama uydusunun, 13:55 UTC, 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsünde; Diyarbakır’ın Çüngüş ilçesi üzerinde bulunan “Gelişmiş-V” oraj hücresi en düşük bulut tepe sıcaklığı, -59.6 °C olmasına rağmen, alanını daraltmaya başladığı görülmekte olup, oraj hücresine ait yakın sıcak bölgesinin, Maden ilçesinin güneybatısı üzerinde -56.6 °C'lik bulut tepe sıcaklığına sahip olduğu görülmektedir (Şekil 95).

13:55 UTC'de hızlı tarama uydusunun 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsündeki ana değişikliğin, genel bulutluluk alanının güneyindeki kanat üzerinde, Adıyaman’ın Gerger ilçesinin kuzeydoğusu ile Diyarbakır’ın Çüngüş ve Çermik ilçeleri arasında gerçekleşen “yapısal sıcaklık alanı ve sıcaklık değişimi” olduğu görülmektedir (Şekil 95-solda). 13:50 UTC'de birinci "Gelişmiş-V” oraj hücresi yakın sıcak bölge sıcaklığı (-56.6 °C) ile hortum üretecek buluta ait, ana "Gelişmiş-V" oraj hücresinin yakın sıcak bölge sıcaklık alanı (-55.8 °C, Şekil 95), 13:55 UTC'de; birinci "Gelişmiş-V" oraj hücresi yakın sıcak bölge sıcaklığı -56.6 °C, ana "Gelişmiş-V" oraj hücresi, yakın sıcak bölge sıcaklığı -54.0 °C, 14:00 UTC'de; birinci "Gelişmiş-V" oraj yapısı için değişmemiş (-56.6 °C), ana "Gelişmiş-V" oraj hücresi yakın sıcak bölge sıcaklık alanı için, -52.4 °C (1.6 °C ısınma) olmuştur (Şekil 95-sağda).

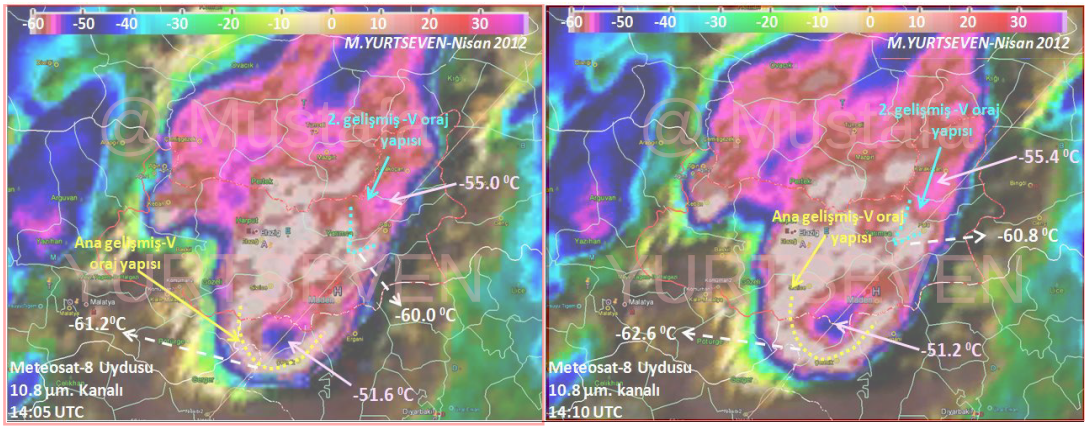


Şekil 95. *Meteosat-8 uydusu 13:55 UTC (solda) ve 14:00 UTC (sağda) 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsü*

Hızlı tarama servis uydusu (Meteosat-8) 14:00 UTC 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsünde, ana "Gelişmiş-V" hücresi en düşük bulut tepe sıcaklığının, -60.4 °C (0.4 °C ısınma) olduğu görülürken, yakın sıcak bölgesi; Diyarbakır'ın Çüngüş ilçesinde, hızla ısınmaya devam etmiştir (-52.4 °C). Maden ilçesinin batısında dağılmaya başlayan, ilk "Gelişmiş-V" hücresi en düşük bulut tepe sıcaklık bölgesinin kaybolduğu (ana "Gelişmiş-V" oraj yapısıyla bütünleştiği) görülmekte olup, yakın sıcak bölge sıcaklığı -56.6 °C'dir. (Şekil 95-sağda).

Ana "Gelişmiş-V" oraj hücresi yakın sıcak bölgede gerçekleşen, 1.6 °C'lik hızlı ısınma ve bulut alanının genişlemesi, "Gelişmiş-V" bulut yapı gelişimi bakımından önemlidir. 14:00 UTC'de, uydunun 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsü; "Gelişmiş-V" oraj hücresi yakın sıcak bölgesinin, organize olmaya başladığını göstermektedir. Fakat, ana "Gelişmiş-V" oraj yapılanmasında, en düşük bulut tepe sıcaklığı yapı gelişimini henüz tamamlamadığını ifade etmektedir (Şekil 95-sağda).

14:05 UTC saatinde Meteosat-8 uydusunun 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsünde, ana "Gelişmiş-V" oraj fırtınasının doğudaki "V" kolunun, Diyarbakır'ın Ergani ve Çermik ilçeleri üzerinde, batıdaki "V" kolunun Elazığ'ın Sivrice ilçesi üzerinde olduğu görülmekte olup, oraj fırtına yapısının en düşük bulut tepesinin Diyarbakır'ın Çüngüş ilçesi üzerinde -61.2 °C (0.8 °C azalma) sıcaklığa sahiptir.

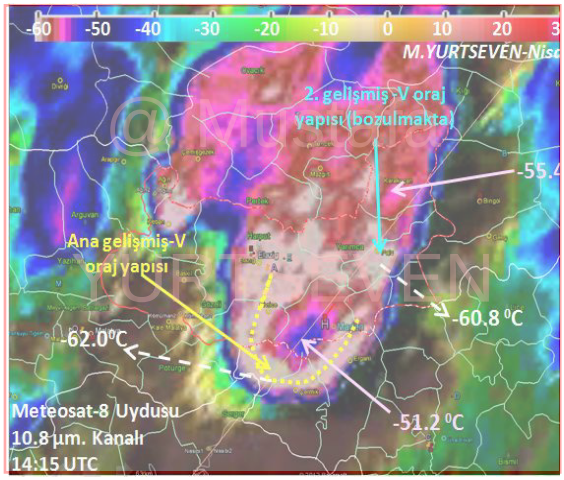


Şekil 96. *Meteosat-8 uydusu 14:05 UTC (solda) ve 14:10 UTC (sağda) 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsü*

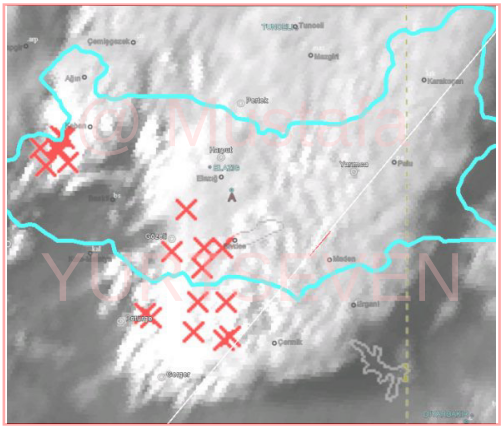
Diyarbakır-Çüngüş'ün kuzeydoğusu ile Elazığ-Maden'in güneybatısı arasında bulunan ana oraj hücresi, yakın sıcak bölge sıcaklığı -51.6 °C'dir (0.8 °C ısınma). Ana "Gelişmiş-V" hücrenin yakın sıcak bölgesi, hortum bölgesine mesafesi 30 km'dir. Ana "Gelişmiş-V" hücre yakın sıcak bölgesi, gelişimini sürdürmektedir (Şekil 96-solda). 14:05 UTC'de, ana oraj hücre yakın bölge sıcaklığı ile en düşük bulut tepe sıcaklığı farkı 9.6 °C'dir. Yakın sıcak bölge sıcaklığı ile en düşük bulut tepe sıcaklığı farkı 10 °C ve daha büyük olması halinde, hortum, büyük çaplı dolu ve hasar verici rüzgar hadiselerinin oluşum ihtimali de artmaktadır. Bu durumda ana oraj fırtınasının kritik bir sürece doğru gittiği görülmektedir.

Hızlı tarama uydusu; 14:10 UTC, 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsünde, Elazığ-Yarımca'nın doğusu ile Palu'nun batısında ikinci "Gelişmiş-V" hücresi en düşük bulut tepe sıcaklığı -60.8 °C'dir (0.8 °C soğuma) ve halen etkili olmaya devam etmektedir. Bu yapının yakın sıcak bölgesi, Yarımca'nın kuzeyinden Karakoçan merkezine kadar olan bölgede olduğu görülmekte olup, sıcaklığı -55.4 °C'dir (0.4 °C soğuma). Ana "Gelişmiş-V" hücrenin en düşük bulut tepe sıcaklığı -62.6 °C (1.4 °C soğuma), yakın sıcak bölge sıcaklığı, Diyarbakır-Çüngüş'ün kuzeydoğusu ile Maden'in güneybatısı arasında -51.2 °C (0.4 °C ısınma) olup; oraj hücresi, yukarı yükselmeye devam ederken, yakın sıcak bölge sıcaklığı ile en düşük bulut tepe sıcaklığı farkı 11.4 °C'dir (Şekil 96-sağda). 10 °C ve daha büyük sıcaklık

farkında; hortum, büyük çaplı dolu ve hasar verici rüzgar hadiselerinin oluşum ihtimali arttığından, 14:05-14:10 UTC'de kritik bir safhanın geliştiği düşünülmelidir.



Şekil 97. *Meteosat-8 uydusu 14:15 UTC 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsü*

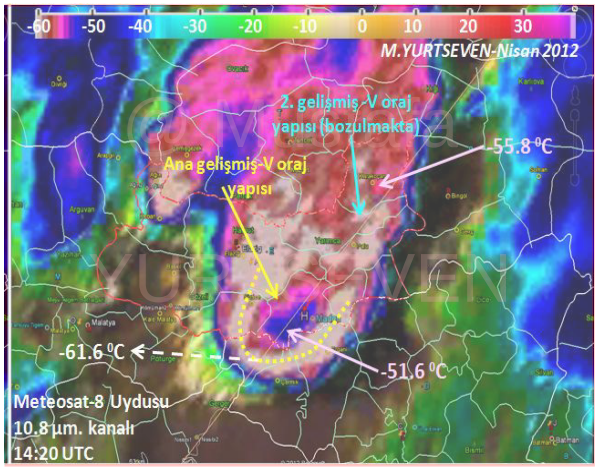


Şekil 98. *Meteosat-8 uydusu 14:15 UTC yüksek HRV kanalı üzerinde UK-Met. Office yıldırım sensör verileri*

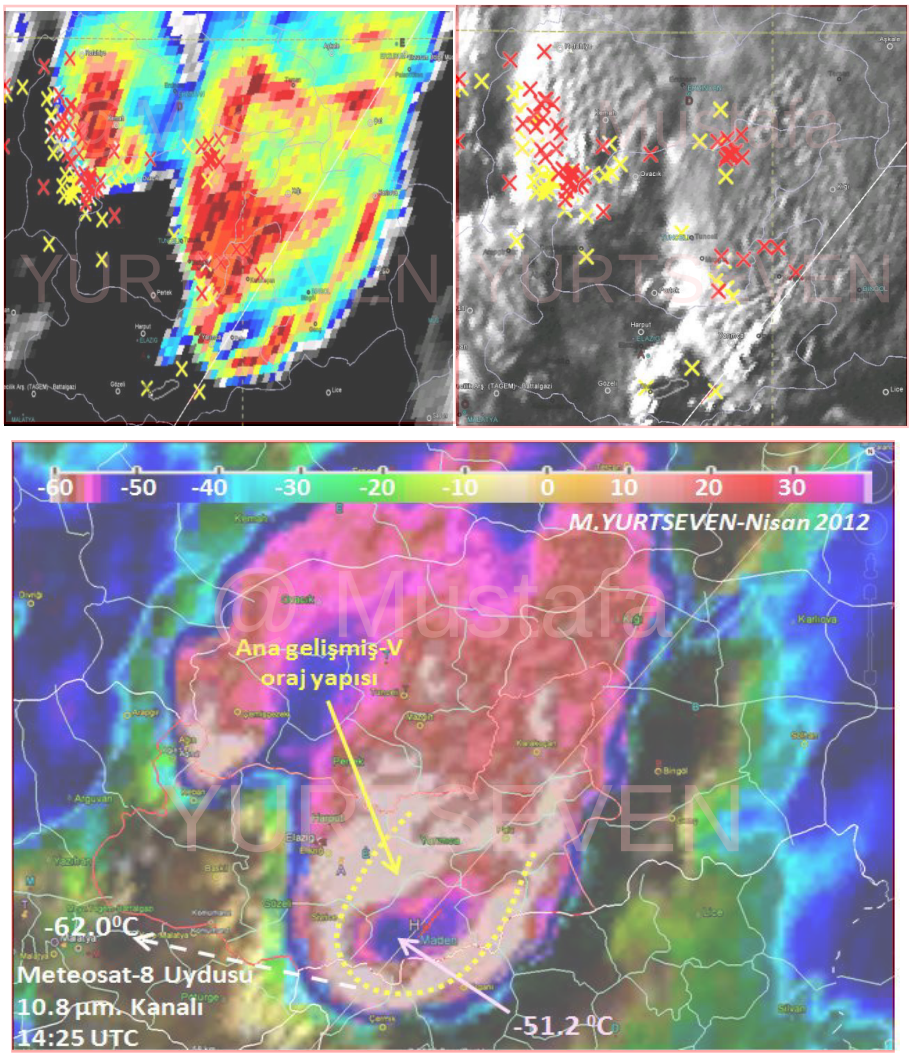
14:15 UTC'de MSG uydusu 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsünde, ana "Gelişmiş-V" hücresi, en düşük bulut tepe sıcaklığı; -62.0 °C (0.6 °C ısınma) olup, Maden'in güneybatısındaki yakın sıcak bölgesinin sıcaklığı, 14:10 UTC ile aynıdır (-51.2 °C). Yakın sıcak bölge sıcaklığı ile en düşük bulut tepe sıcaklığı arasındaki fark, 14:10 UTC'de 11.4 °C iken 14:15 UTC'de 10.8 °C'dir. Elazığ'ın Palu ilçesi üzerindeki ikinci "Gelişmiş-V" oraj hücresinin "V" kolları dağılmaya devam ederken, yakın sıcak bölgesinin aynı sıcaklık değerini (-55.4 °C) koruduğu görülmektedir (Şekil 97).

Meteosat-8 uydusun 14:15 UTC yüksek çözünürlüklü kanal görüntüsünde, İngiltere Meteoroloji Ofisinin "ulaşım zaman farkına-arrival time difference" bağlı yıldırım verileri konularak yapılan analizde, süper hücreli oraj hücresinin, arka kanat boşalım bölgesi civarı olan, Malatya'nın Pötürge ilçesi, Elazığ şehir merkezinin güneyi ile Maden ilçesinin batısı ve Diyarbakır'ın Çermik ilçesi arasındaki bölgede buluttan yere doğru yıldırım boşalımları görülmektedir (Şekil 98). 14:20 UTC'de, ana oraj hücresi en düşük bulut tepe sıcaklığı -61.6 °C (0.4 °C ısınma) ve Maden üzerinde yakın sıcak bölge sıcaklığı -51.6 °C (0.4 °C soğuma) olup, yakın sıcak bölgesinin büyüklüğü Maden'in yüzölçümü kadardır. Yakın sıcak bölge sıcaklığı ile en düşük bulut tepe sıcaklığı farkı 10 °C'dir (Şekil 99)

Meteosat-8 uydusu 14:25 UTC 10.8 µm kanal geliştirilmiş renk görüntüsünde, en düşük bulut tepe sıcaklığı -62.0 °C (0.4 °C soğuma) ve Maden'in tamamına yayılan, yakın sıcak bölgesinin sıcaklığı -51.2 °C'dir (0.4 °C ısınma). Yakın sıcak bölge sıcaklığı ile en düşük bulut tepe sıcaklığı arasındaki fark 10.8 °C'dir.



***Şekil 99**. Meteosat-8 uydusu 14:20 UTC 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsü*

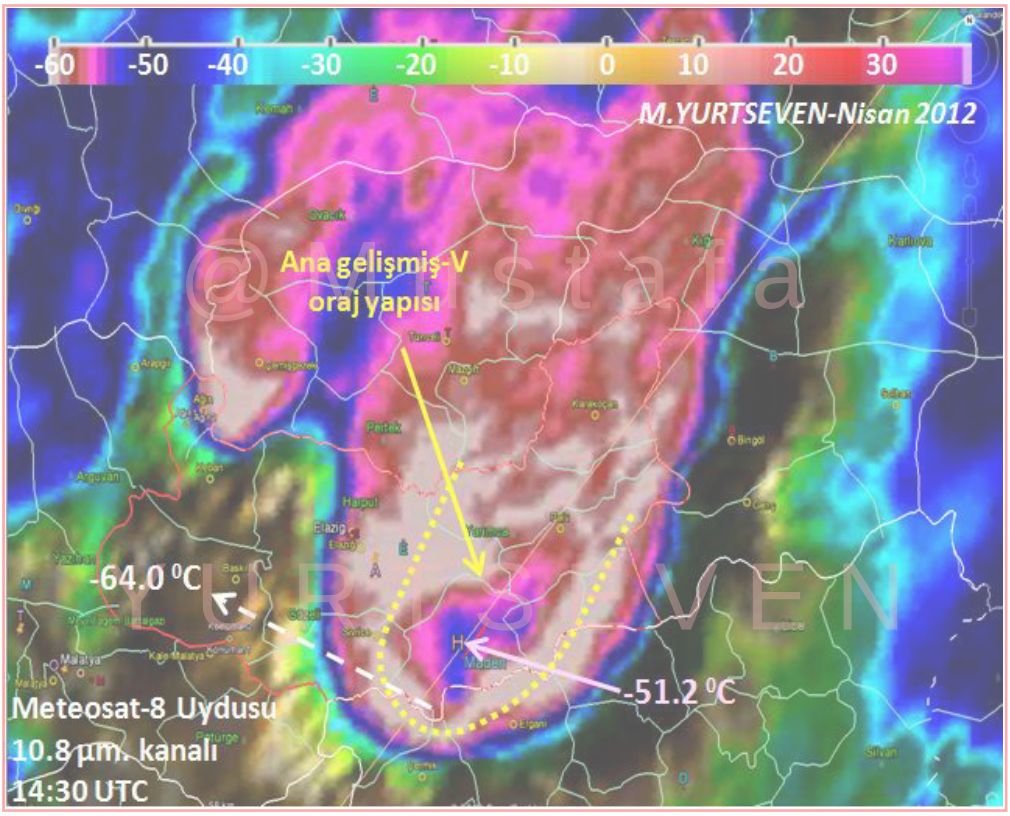


***Şekil 100.** Meteosat-8 uydusu 14:25 UTC 10.8 µm kanalı geliştirilmiş görüntüsü (üstte-solda) ve HRV kanalı üzerinde 14:15-14:30 UTC UK-Met. Office yıldırım sensör verileri (üstte-sağda) ile 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsü (altta)*

Meteosat-8 uydusu 14:25 UTC, 10.8 µm kanalı geliştirilmiş görüntüde, 14:15-14:30 UTC yıldırım sensör verileri (UK-Met. Office-solda) analizine göre, buluttan yere doğru olan yıldırım boşalımlarının, Erzincan'ın batısında gelişen süper hücreli oraj hücresi, Elazığ'ın güney ve batısı ile Tunceli merkez ile Bingöl'ün batısı arasında yoğunlaştığı görülmektedir.

Meteosat-8 uydusu 14:25 UTC yüksek çözünürlüklü histogram düzeltmesi yapılmış görüntüde, Maden ilçesine doğru uzanan kanat hattı ile Maden'in kuzeydoğusunda aşırı yükselen bulut tepesinin olduğu görülmektedir. Bu iki yapı arasındaki mesafe 12 km civarındadır. Kanat hattı bulutluluğu, 12-15 km yatay uzanıma sahiptir (Şekil 100). 14:30 UTC'de, ana oraj hücresi en düşük bulut tepe sıcaklığı -64.0 ^{o}C'dir (2 ^{o}C soğuma). Hücrenin, Maden'den Palu'nun güneybatısına doğru uzanan bölgede, yakın sıcak bölge sıcaklığı -51.2 ^{o}C'dir (değişim yok). Oraj yapısının, yakın sıcak bölge sıcaklığı ile en düşük bulut tepe sıcaklığı farkı, 12 ^{o}C'ye çıkmıştır. 14:30 UTC'ye kadar olan 5 dk'lık sürede, en büyük soğuma 14:30 UTC itibariyle, 2 ^{o}C olup, ana oraj hücresi içerisinde güçlü updraftların (dolayısıyla yüksek CAPE değerinin) varlığına dair önemli bir başka göstergedir (Şekil 101).

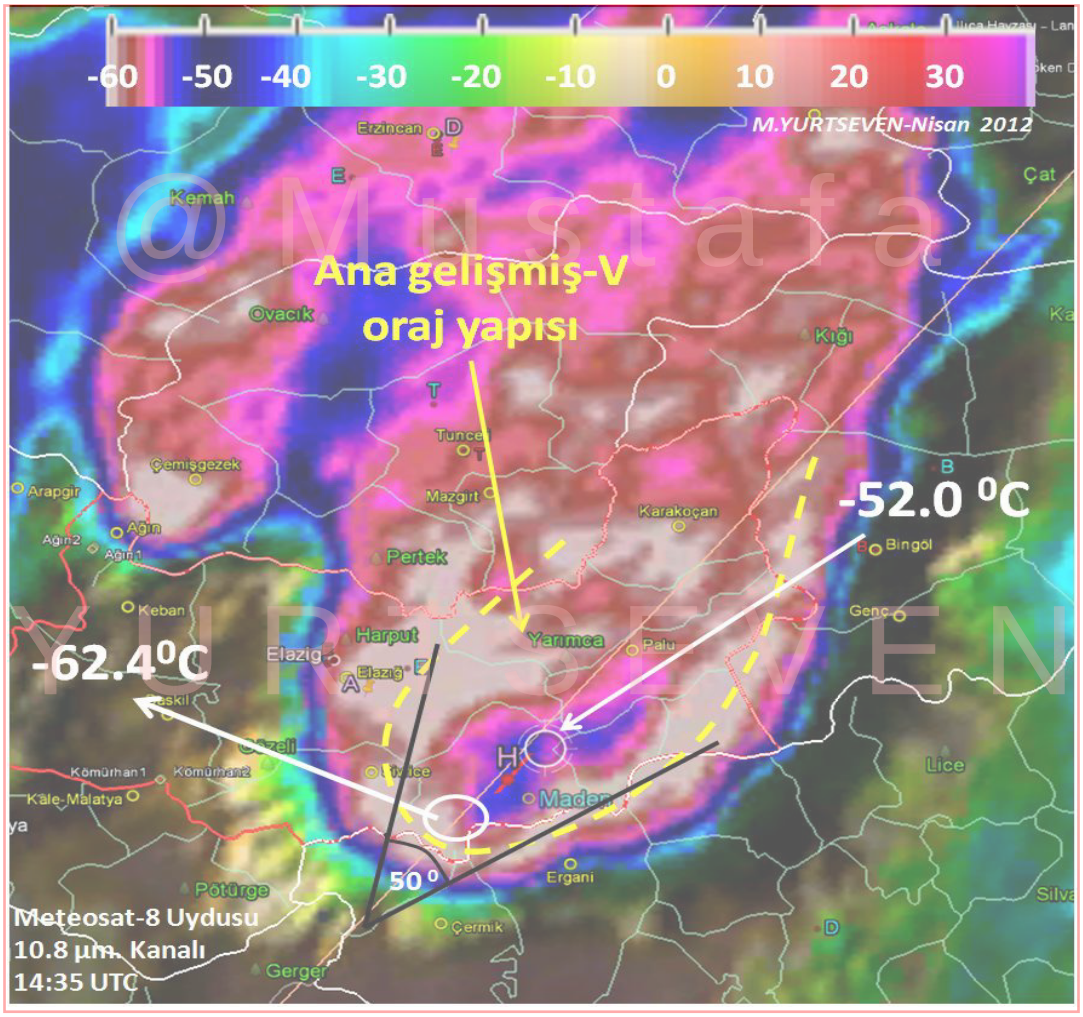
Meteosat-8 uydusu, 14:35 UTC 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsünde; oraj updraftı, hortum başlangıcının (Dutpınar Köyü) 19 km güneybatısında (Çaybaşı Köyü'nün 3 km doğusu) en düşük bulut tepe sıcaklığı -62.4 ^{o}C (1.6 ^{o}C ısınma) ve Maden'in doğusu, Alacakaya'nın kuzeybatısı ve Palu'nun batısı arasındaki bölgede, yakın sıcak bölge sıcaklığı -52.0 ^{o}C (0.8 ^{o}C soğuma), yakın sıcak bölgenin sıcaklığı ile en düşük bulut tepe sıcaklığı farkı, 10.4 ^{o}C'dir. Ana oraj hücresi, 14:35 UTC'den itibaren, yakın sıcak bölge sıcaklığı ile en düşük bulut tepe sıcaklığı farkı, en düşük bulut tepe sıcaklığı (1.6 ^{o}C ısınma) ve yakın sıcak bölge sıcaklık değişimi (0.8 ^{o}C soğuma) anlamında, yavaş yavaş bozulmaya başladığı görülmektedir (Şekil 102).



Şekil 101. *Meteosat-8 uydusu 14:30 UTC 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsü*

Meteosat-8 uydusu 14:35 UTC doğal renk RGB görüntüsünde (görüntü, renk özelliklerinin netleşmesi amacıyla açıklaştırılmıştır), ana oraj hücresinin en düşük bulut tepesinin (-62.4 °C), hortumun başladığı Dutpınar köyünün 8.5 km batısında net olarak belirdiği (mor renkli daire), "Gelişmiş-V" oraj hücresinin kanat kolları arasındaki açının, 50 derece olduğu görülmektedir (Şekil 103). Meteosat-8 uydusu 14:40 UTC 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsünde, ana oraj fırtına updraftı, hortum başlangıç noktasının (Dutpınar Köyü) 11 km güneybatısında Çalkaya Köyünün 1.9 km kuzeybatısında gelişmesine devam etmiştir. Bu sırada en düşük bulut tepe sıcaklığı, -63.2 °C (1.2 °C soğuma) ve Maden ilçe merkezinin kuzeyi üzerinde, yakın sıcak bölge gelişimi devam etmiş (-50.4 °C -1.6 °C ısınma) olup, iki bölge arasındaki sıcaklık farkı artarak 12.4 °C'ye çıkmıştır (Şekil 104-solda).

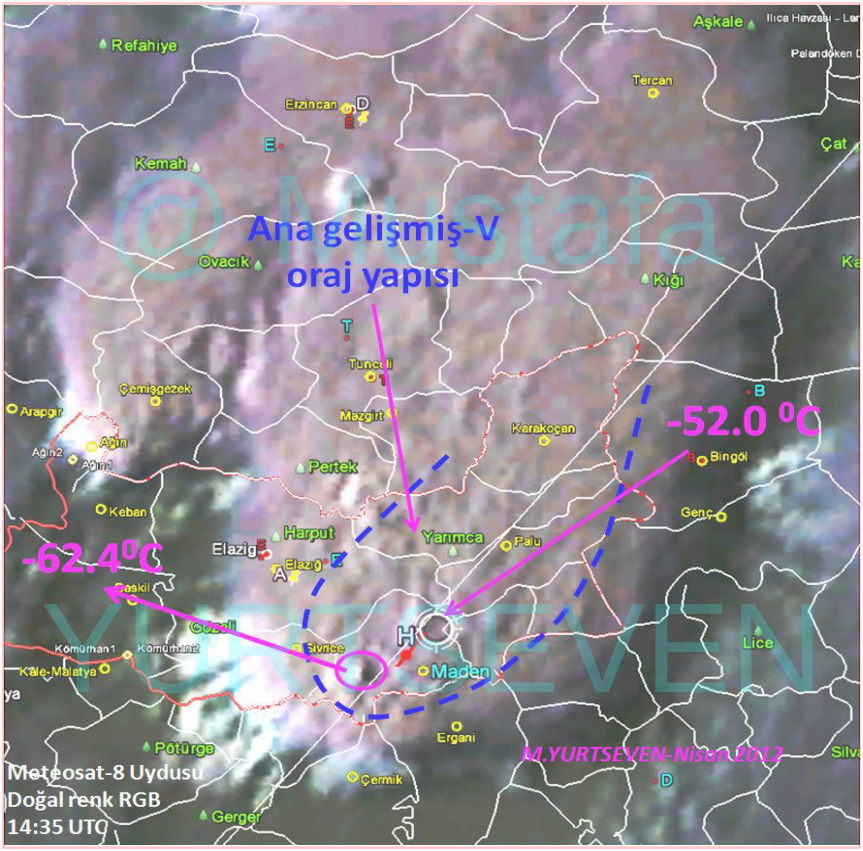
14:45 UTC Meteosat-8 uydusu, 10.8 µm kanal görüntüsünde, oraj updraft kolon gelişimi zayıflayarak, en düşük bulut tepe sıcaklığı -60.8 °C (2.4 °C ısınma) olmuş, yakın sıcak bölgesi, kuzeydoğuya hareket ederek, Maden'in kuzeydoğusunda, sıcaklığı -49.4 °C olmuş (ısınma) ve gelişmesine (1.6 °C ısınma) devam etmiştir.



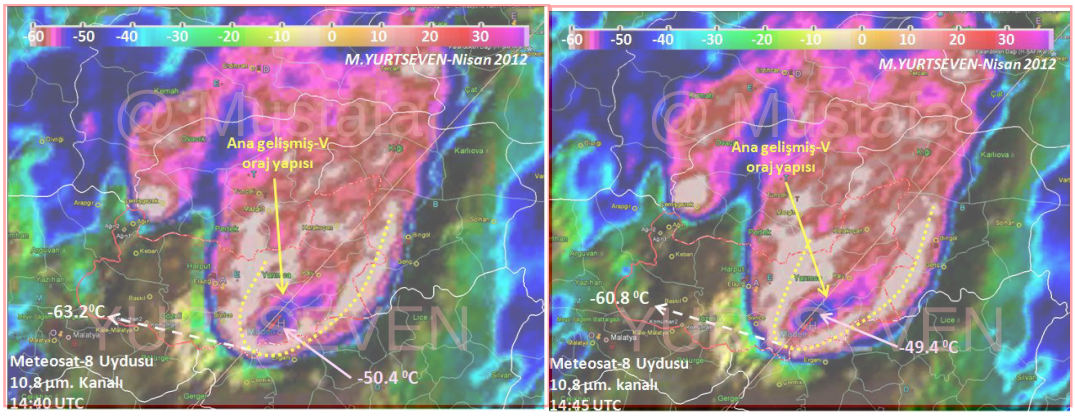
Şekil 102. *Meteosat-8 uydusu 14:35 UTC 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsü*

En düşük bulut tepe sıcaklığı pikseli ile yakın sıcak bölge içerisindeki en sıcak piksel sıcaklık farkı 11.4 ºC'dir (Şekil 104-sağda). Meteosat-8 uydusu 14:50 UTC saatinde, 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsünde; ana oraj hücre updraftına ait (hortum başlangıç noktası olan Dutpınar'ın batısı) en düşük bulut tepe sıcaklığı, Yenibahçe köyü güneybatısında -61.6 ºC iken (0.8 ºC soğuma), yakın sıcak bölgesi, Kaşlıca köyünde -50.0 ºC olmuştur (0.6 ºC ısınma, Şekil 105-solda).

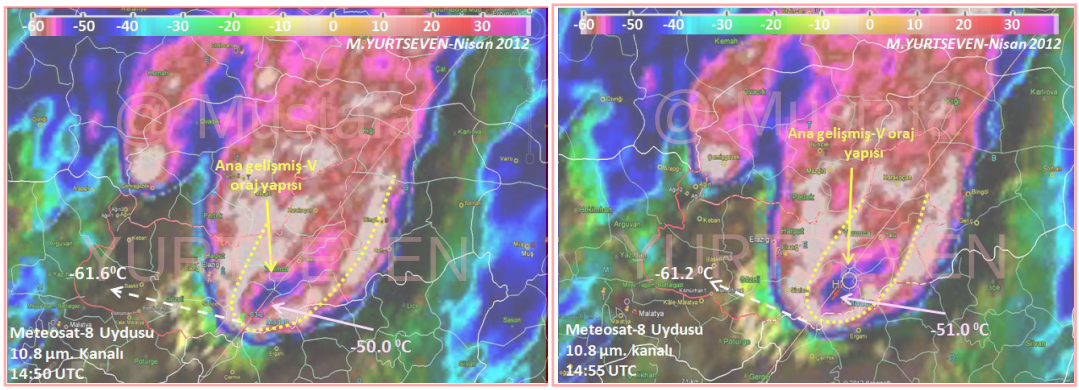
Hızlı tarama uydusunun 14:55 UTC, 10.8 µm kanalı geliştirilmiş renk görüntüsünde; ana hücre updraftı, hortum başlangıç noktası, Dutpınar'ın 3.5 km kuzeybatısında ve Yenibahçe'nin 3.5 km kuzeydoğusunda olup, en düşük bulut tepe sıcaklığı -61.2 ºC (0.4 ºC soğuma), yakın sıcak bölgesi Kaşlıca köyünün 5 km kuzeydoğusundadır (-51.0 ºC-1.4 ºC soğuma, Şekil 105-sağda).



***Şekil 103**. Meteosat-8 uydusu 14:35 UTC doğal renk RGB görüntüsü*



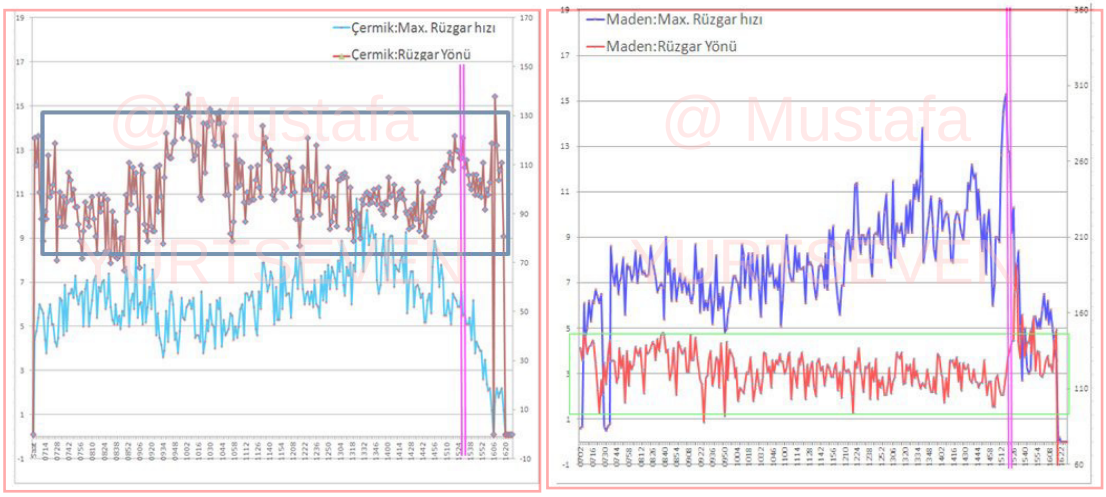
***Şekil 104.** Meteosat-8, 14:40 UTC (sol),14:45 UTC (sağ) 10.8 µm geliştirilmiş renk görüntüsü*



***Şekil 105.** Meteosat-8, 14:50 UTC (sol),14:55 UTC (sağ) 10.8 µm geliştirilmiş renk görüntüsü*

15. OTOMATİK İSTASYON VERİLERİNİN ANALİZİ

Süper hücreli oraj güzergahına göre; Diyarbakır-Çermik ile Elazığ'ın Maden otomatik istasyonlarının bu hatta yakın olduğu görülmektedir (Şekil 100). Diyarbakır-Çermik istasyonu 10 m yer rüzgarı grafiğinde (Grafik 1-solda); bulutluluğun ilk aşamasında Atatürk barajının kuzeydoğusunda gelişim devam etmekte, Maden, Çermik ve Ergani ilçeleri üzerinde bulut yokken (hava açıkken), Çermik'te 10 m yer rüzgarı, doğu yönünden (080-100 dereceden) 20 kt'a kadar çıkarak, 15 UTC'ye kadar güneydoğu yönüne (120 dereceye) doğru, aynı hızla esmiştir. Bu ise, Maden'den önce, Çermik'te oraj nisbi sarmalını artırmıştır.

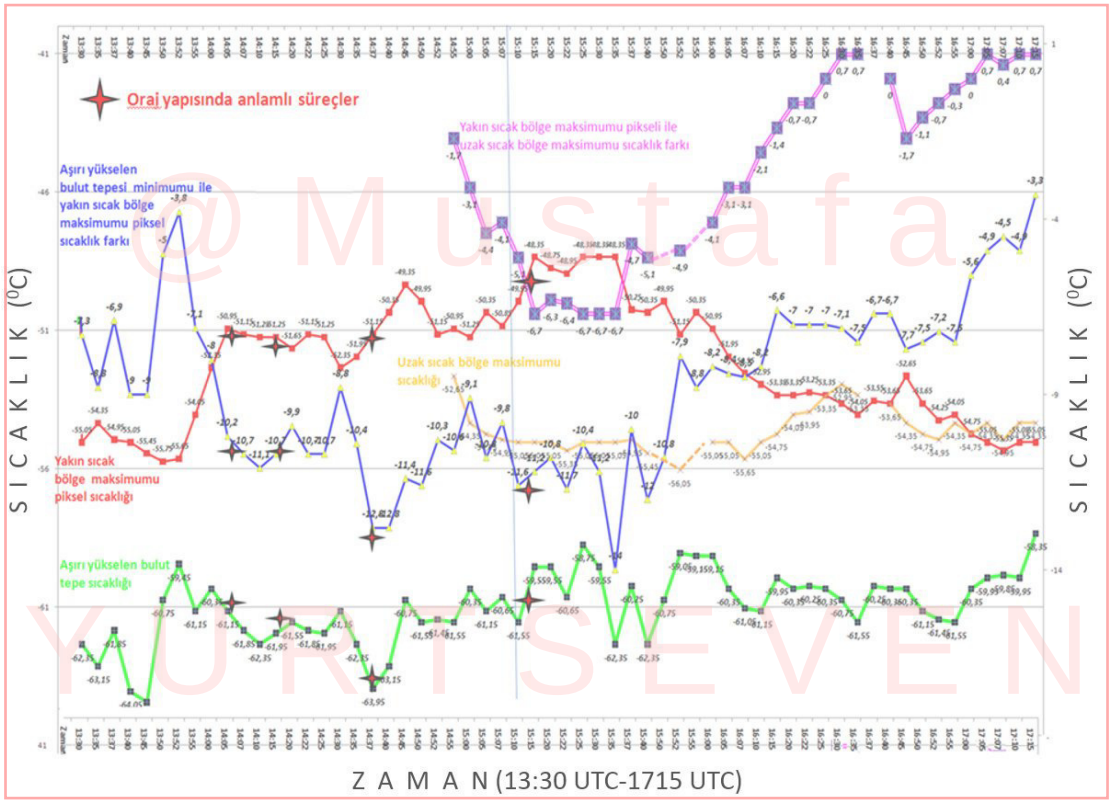


Grafik 1. *Maden (solda) ve Çermik (sağda) istasyonu 10 m rüzgarı yön ve hızı (2 dk'lık m/sn)*

Maden otomatik istasyon kayıtlarına göre, 07:30 UTC'den itibaren, 10 m yer rüzgarı; doğu-güneydoğu yönünden (100-120 dereceden), 12:30 UTC'ye kadar 12-17 kt hızla eserek, 12:30 UTC'den 15:00 UTC'ye kadar olan sürede, hızında artış trendi devam etmiştir (18-24 kt). Bu süreçte rüzgar yönü doğu-güneydoğu yönünden (100-120 derece) arasından esmeye devam etmiştir. 13:40 UTC'de Maden üzerine bulutluluk gelmemişken, 10 m seviyesi rüzgarı doğudan (110 dereceden) 27 kt'a ulaşan pik bir salınım yapmıştır. Rüzgar, 15:11-15:23 UTC saatleri arasında 24.0 kt-29.7 kt hız aralığında esmiştir. Bu durum; Diyarbakır'ın Ergani ve Dicle ilçeleri üzerinden, sıcak hava kaynağının, Elazığ'ın Maden ilçesine doğru taşındığını gösterirken, oraj nisbi sarmalını da artırmıştır (Grafik 1-sağda)

16. BULUT YAPISINDA DEĞİŞİK BÖLGE SICAKLIK DEĞİŞİMİ

Süper hücreli oraj bulutunda; özel sıcaklık alanlarının zamana göre değişimi; bulut gelişimi bakımından bazı işaretler verebilmektedir (Örneğin; aşırı yükselen bulut tepe pikseli minimum sıcaklığı ile yakın sıcak bölge maksimumu piksel sıcaklığı ya da yakın sıcak bölge maksimumu pikseli ile uzak sıcak bölge maksimumu piksel sıcaklığı arasındaki farklar v.b.). Grafik 2'de; bulut içerisindeki aşırı yükselen bulut tepe pikseli minimum sıcaklık pikseli, yakın sıcak bölge maksimumu piksel sıcaklığı, uzak sıcak bölge maksimumu piksel sıcaklığı, aşırı yükselen bulut tepesi ile yakın sıcak bölge maksimumu pikseli sıcaklık farkı, yakın sıcak bölge maksimumu pikseli ile uzak sıcak bölge maksimumu sıcaklık farkı verilmiştir.



Grafik 2. *Bulut yapısı içerisinde değişik bölgelere ait sıcaklık değişimleri*

Bu grafiğe göre; oraj hücresi, ömrü süresince, 13:45 UTC'de en düşük aşırı yükselen bulut tepe pikseli minimumu sıcaklığına ulaşarak (-64.45 °C), kuvvetli yükselen updraftların, 13:45 UTC'de (hortum başlamadan 2 saat öncesinden) bulutun, en düşük parlaklık sıcaklığına ulaştığını göstermektedir. Süper hücreli oraj

bulutu, 15 dk sonra, 14:00 UTC-14:05 UTC arasında, ana güzergahındaki ilk yön değişikliğine uğramıştır (sağa doğru kırılma).

Bu süreçte, aşırı yükselen bulut tepe pikseli minimumu ile yakın sıcak bölge pikseli maksimum sıcaklığı arasındaki fark, 10.2 ^{o}C'ye ulaşmıştır. Aşırı yükselen bulut tepe pikseli minimumu sıcaklıkları 14:35 UTC'ye kadar -60 ^{o}C ila -62 ^{o}C aralığında devam ederken, 14:35 UTC'de, ikinci en düşük aşırı yükselen bulut tepe pikseli minimumu sıcaklığına (-63.95 ^{o}C) ulaşmıştır. Bu sırada, süper hücreli oraj hücresi, genel hareket istikametinden tekrar saparak, bu süreçte aşırı yükselen bulut tepe sıcaklık minimumu ile yakın sıcak bölge sıcaklık maksimumu arasındaki fark, oraj hücresi ömrü süresince, en büyük fark değeri olan, 12.8 ^{o}C'ye ulaşmıştır.

Süper hücreli oraj, 14:45 UTC'de aşırı yükselen bulut tepesi ile yakın sıcak bölge ilişkisi bağlamında; yakın sıcak bölge maksimum sıcaklığı, ilk kez -49.35 ^{o}C'ye yükselmiştir. 14:55 UTC'de "Gelişmiş-V" oraj hücresi, ikinci önemli yapı elemanı "uzak sıcak bölgesini" oluşturarak, aşırı yükselen bulut tepe pikseli minimumu sıcaklığı ile yakın sıcak bölge pikseli maksimumu sıcaklığı farkı 10.6 ^{o}C'ye, uzak sıcak bölge maksimumu pikseli sıcaklığı ile arasındaki fark, 8.9 ^{o}C'ye çıkmıştır.

Oraj hücresi, hortum oluşmadan önce, son güzergah değişikliğini, 15:05-15:10 UTC arasında yapmıştır. Bu sırada, oraj hücresinin aşırı yükselen bulut tepe pikseli minimumu ile yakın sıcak bölge piksel maksimumu sıcaklığı arasındaki fark, 11.6 ^{o}C'ye ulaşmıştır.

Özet olarak, oraj hücresi güzergah değişiklikleri ile aşırı yükselen bulut tepe pikseli minimumu ve yakın sıcak bölge pikseli maksimumu sıcaklığı farkı arasında, hortum oluşum süreciyle bağlantılı olarak, anlamlı ilişkiler görülmektedir (Grafik 2).

17. HASAR DEĞERLENDİRMESİ, HASARA GÖRE HORTUM ŞİDDETİ ve RÜZGAR HIZ TAHMİNİ

Hasar sonucuna bakılarak, oluşan rüzgar hızını tahmin etmeye yönelik olarak, Ted Fujita'nın güncellediği (Şubat 2007) EF hortum ölçeği Tablo 4 ile verilmiş olup, medya kanalıyla yansıyan hasar fotoğrafları incelenerek, hasar sonucu oluşan etkiye bağlı olarak, rüzgar şiddeti tahmin edilmeye çalışılmıştır (Şekil 109). Bu durum, meteorolojik karakterli hasarlarda; mutlaka MGM içerisinde, bu tür hasarların nasıl inceleneceği ile ilgili eğitim almış kişilerin olayla ilgili inceleme yapma ve hasar raporu oluşturma sorumluluğu bulunması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Hortum genellikle açık ve homojen arazi ve buralara yakın yerleşim bölgelerinde olduğundan, hasar ve zarar görenlerin genellikle çiftçi olması sebebiyle, hasar veya zarar raporları; genellikle, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı il ve ilçe teşkilatları kanalıyla yapılmaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, kendi çalışmalarına yön ve destek verecek şekilde, bu tür teknik inceleme ve hasar raporları hazırlamadan önce, uydu ve radar verilerinin ortaya koyduğu güzergah verileri kullanılarak, belki de insanların bulunmadığı ortamlarda inceleme yapması sayesinde, olayın bilimsel olarak araştırılması da sağlanacaktır.

Hortum hadisesi, Diyarbakır-Elazığ yolun üzerinde şantiyeye bağlı bir başka yerde, videoya kaydedilmiş olup, hortum fotoğrafı Şekil 108 ile gösterilmiştir. Bu durum, kuvvetli meteorolojik olaylara şahit olan kişilerin vakit kaybetmeksizin, durumu ifade eden hadiseyle ilgili, en yakın meteoroloji birimini arayarak bilgi vermeleri, hadiselerin sonrasında kat edeceği güzergahtaki diğer insanların can ve mal kaybını önlemek bakımından çok önemli olduğunu göstermektedir.

Hasar fotoğraf analizleri, olay yerini görenlerin şahitlikleri ile hortumun vurduğu konteynırdan sağ kurtulanların anlattıklarına göre değerlendirmeler yapılmıştır. Dutpınar köyünün yakınlarında Raman mezrasında bazı elektrik nakil

direkleri ile sağlam yapı ve gövdeye sahip ağaçların köklerinden sökülmesi ile işçilerin çalıştığı şantiye alanı içerisinde; araçların, hortumun etkisiyle traktör başta

Şekil 108. Bir başka şantiyeden kaydedilen hortum videosundan alınmış görüntü

olmak üzere devrilmesi, bazı araçları yaklaşık 100 m ileriye Maden çayına savurarak ters çevirmesinden, hortumun hat botunca EF-2 kuvvetinde (178-217 km sa^{-1}) devam ettiği anlaşılmaktadır. Fakat, Dutpınar köyünün yakınlarında, Raman mezrasında bazı evlerin sadece tek parçalı çatı aksamlarını savurması, ağaçları ortadan kırması ve zayıf yapılı bina duvarlarını yıkmasından, hortumun köyün ana hasar eksenine uzak bir bölümünde EF-1 kuvvetinde (137-177 km sa^{-1}) rüzgara sebep olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 109).

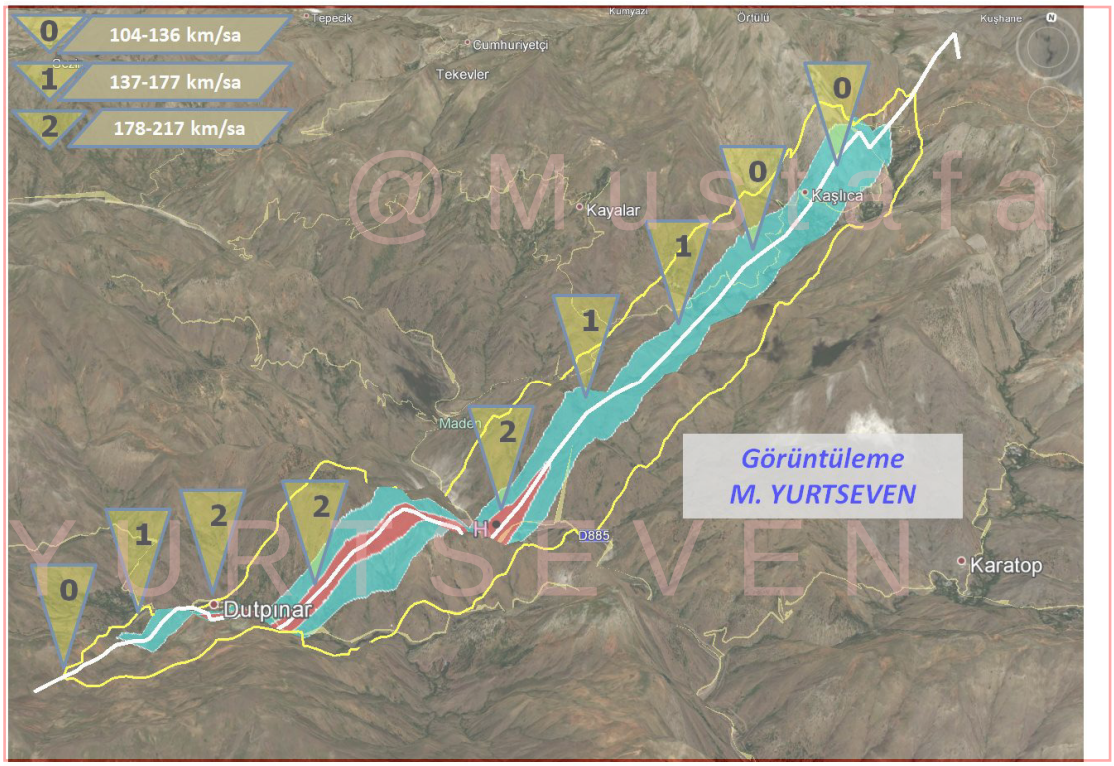
FUJITA HASAR ÖLÇEĞİ	GELİŞTİRİLMİŞ ÖLÇEK
EF Numarası	3 sn'lik hamle (km sa^{-1})
0	104-136
1	137-177
2	178-217
3	218-265
4	266-322
5	323-377

Tablo 4. EF hortum hasar ölçeği

@ Mustafa YURTSEVEN

17.1. Hortumun oluşturduğu hasarlar

Hortum hasar incelemelerinde, yazılı ve görsel medyadan elde edilen görüntüler kullanılmıştır. Hasar fotoğraflarından, hortumun EF-2 ölçeğine yakın şiddette (178-217 km sa^{-1}), güzergahtaki bazı elektrik nakil hattı direklerini devirdiği, yol yapım şantiyesinde, bazı araçları sürükleyerek devirdiği ve bazı araçları (kamyonet türü) kullanılamaz hale getirdiği, bir kaç büyük ağacı kökünden söküp devirdiği, Dutpınar ve Kaşlıca'da evlerin çatısında sökülmelere ve zayıf yapılı duvarlar da kısmı çökmelere sebep olduğu görülmektedir (Şekil 110-126)



Şekil 109. EF hortum ölçeğine göre hortum hasar güzergahı muhtemel hortum şiddeti

Köylerde binaların zayıf yapılı olmasıyla birlikte, hortumun elektrik iletim hat direklerini yıkması, şantiye civarında bazı araçları sürükleyerek Maden çayına uçurmasından, hortumun ana ekseninde EF-2 kuvvetinde (178-217 km sa^{-1}) devam ettiğini, fakat Raman Mezrası ile Kaşlıca köyündeki bazı çatı hasarları ve zayıf yapılı bina duvarlarını yıkmasından, bu hatta EF-1 kuvvetinde (137-177 km sa^{-1}) devam ettiği, bu eksenin uzak kısımlarında ise EF-0 kuvvetinde (104-136 km sa^{-1}) etkiler oluşturduğunu ifade etmek mümkündür (Şekil 110-126)

Şekil 110. Şantiye alanında oluşan hasarlar (http://www.avrupa-postasi.com)

Şekil 111. Köylerde oluşan hasarlar (sol:www.haberbuketi.com-sağ:www.elazighaberi.com)

Şekil 112. Şantiye alanında otomobilde oluşan hasar (www.elazig.gov.tr)

Şekil 113. Şantiye alanında işçilerin kaldığı alanda oluşan hasar (www.elazig.gov.tr)

Şekil 114. Şantiye alanında işçilerin kaldığı alanda oluşan hasar (www.elazig.gov.tr)

Şekil 115. Şantiye alanında oluşan hasar (www.elazig.gov.tr)

Şekil 116. Şantiye alanında oluşan hasar (www.elazig.gov.tr)

Şekil 117. Şantiye alanında oluşan hasar (www.elazig.gov.tr)

Şekil 118. Şantiye alanında oluşan hasar (www.dha.com.tr)

Şekil 119. Şantiye alanında oluşan hasar (www.dha.com.tr)

Şekil 120. Şantiye alanında oluşan hasar (www.dha.com.tr)

Şekil 121. Şantiye aracının hortum etkisiyle çaya sürüklenmiş fotoğrafı (www.elazig.gov.tr)

Şekil 122. Raman mezrası ile Kaşlıca köylerinde oluşan hasarlar (www.artieksihaber.com)

Şekil 123. Raman mezrasında oluşan hasar (www.elazizliyiz.biz)

Şekil 124. Hortum hattındaki çay civarında ağaçlarda oluşan hasar (www.elazig.gov.tr)

Şekil 125. Raman mezrasında elektrik direği hasarı (www.focushaber.com)

Şekil 126. Raman mezrasında oluşan hasar (www.focushaber.com)

18. SONUÇLAR

Maden hortumu ile elde mevcut tümverilerin analizinde ortaya çıkan sonuçlar yada öneriler , çeşitli başlıklar halinde gruplandırılarak değerlendirilmiştir.

Hortum uyarı mekanizması ve kritik uyarı zamanı bakımından

Hortum ile ilgili uyarılar, gelişmiş ülkelerin yetkili ofislerince, radar verileri üzerinden yapılmaktadır. Bu durum, radar verilerinin, hortum analizine yönelik olarak diğer verilere göre avantajlarından (hız verileri yardımıyla mezosiklon dönüş işareti, eko bindirmesi yapması v.b.) kaynaklanmaktadır. Amerika ve gelişmiş birçok Avrupa radar kapsama alanları, ülkelerinin tamamını içerecek şekilde yoğun bir radar ağına sahip olduğundan, hortum ile ilgili daha net, detaylı ve güvenilirlik oranı yüksek bilgiler içermesinden dolayı, araştırmalar ve operasyonel uyarılar, radar verilerine bağlı olarak yürütülmek durumundadır.

Bu konuda en gelişmiş ülke olan Amerika'da; radara bağlı olarak yapılan uyarıların ortalama süresi 13 dk'dır. Hortum ile ilgili optimum uyarı zamanının ne olması gerekliliği konusunda yapılan bir çalışmada; (Doswell, 1999), 32 dakikadan daha uzun süre önce verilen uyarıların, gerçekçi olamayacağı (insan psikolojisi, uyarıların anlamı, gerekli önlemleri alma süreci, v.b. bakımından) ve bu süreyi aşan uyarıların, yeteri kadar kuvvetli olan acil durumlara hazırlık sürecine hizmet edemeyeceği, optimum uyarı süresinin, okullar için 15 dk, hastaneler için 30 dk olmasını gerçekçi olarak değerlendirmiştir (Rick Ewald ve Jared L. Guyer, 2002).

Atmosfer modelleri bakımından

Gelişmiş ülkelerde radar kapsaması sık olduğundan, hortum ile ilgili çalışmalar; radar verileri üzerinden yapılmaktadır. Türkiye’de doğu bölgelerinde radar olmaması nedeniyle, Elazığ-Maden hortumuyla ilgili bu çalışmada ağırlıklı olarak; uydu, kararsızlık analizi bakımından; WRF ve asimilasyon modeli olan WRF-3DVar ile ECMWF-IFS, MM5 ve Alaro model verileri üzerinden yapılmıştır. Tüm modellerin 500 hPa seviyesi gibi üst seviye parametrelerini doğru tutturmalarına rağmen, CAPE kararsızlık enerjisini, WRF 3DVar asimilasyon modeli ve ECMWF-IFS

modeli dışındaki modellerin doğru olarak tahmin edemediği görülmüştür. Bu durum MM5 ve Alaro gibi modellerin alt sınır tabakadaki sıcaklık-işba sıcaklığı parametrelerini doğru tahmin edemediğini göstermektedir. Ayrıca bu gibi tutarsızlıklar göz önüne alındığında; modelin çok iyi çözünürlüğe sahip olmasından ziyade, asimile edilmesinin daha önemli olduğu görülmektedir.

Gözlem verileri, model içerisinde asimile edilmeden, kaba model çalışma alanı (coarse domain) içerisinde oluşturulan yüksek çözünürlüğe sahip alt-grup çalışma alanında (nest domain) daha doğru ve anlamlı sonuçlar bulmak mümkün değildir. Bu nedenle, meso-γ ölçeğine (2-20 km) inen çözünürlükte çalıştırılan tahmin modellerinin, asimilasyon yapılmadan çalıştırılması doğru ve anlamlı değildir.

Araştırma Dairesi Başkanlığında 2008-2011 yılları arasında 12 km çözünürlüğe sahip kaba model çalışma alanında (coarse domain) ve bu alan içerisinde 4 km çözünürlüğe sahip alt çalışma alanında (nest domain) WRF model sonuçlarında kayda değer farklılıklar görülememiştir. Bunun nedeni, kaba model çalışma alanında (coarse domain) model için gerekli olan ve küresel modelden alınan sınır değerleri ile üretilen başlangıç ve sınır koşullarında herhangi bir iyileştirmenin ancak asimilasyon süreci ile yapılabilmesidir.

Atmosfer Modelleri Şube Müdürlüğünde; WRF 3DVar asimilasyon sistemi çalıştırılmakta olup, istasyonların gözlem verileri referans doğru kabul edildiği için, süreç içerisinde gözlem verilerindeki doğruluk ya da hatalar, aynı oranda asimilasyon model sonuçlarına da yansımaktadır.

Bu nedenle, gözlem verilerinin (sinoptik, ship, radyosonde ve GPS-PW) güvenilirliği ve bayraklanması, model asimilasyon sürecinde kritik öneme sahip bir aşama olarak görülmelidir. Maden hortumu analizinde, 12 UTC yer sinoptik gözlemlerinin, özellikle denize indirilmiş basınç hatalarının, asimilasyon sürecini olumsuz etkilediği görülmüştür.

Yer gözlem verileri ve hatalı veri bayraklanması bakımından

Yapılan sinoptik ortam ve çevre ile ilgili analizlerde, bazı otomatik istasyonların denize indirilmiş basınç değerinin hatalı olduğu, çevre istasyon değerleriyle karşılaştırma yapılarak görülmüştür (Şekil 24). Bu hataların; işba sıcaklığı ya da rüzgar gibi, karşılaştırma yapılarak hatalı olduğu anlaşılamayacak parametrelerde olması durumunda; hortum gibi hadiselerin, civarındaki sinoptik ortam algısında yanlışlıklara sebep olabilecektir.

Ayrıca; otomatik istasyonlara ait bu tür yanlış veriler, model asimilasyon sürecine girdiği takdirde, yanlış ölçüm noktalarında tespit edilen sapmalar, asimilasyon penceresinde tahmin parametresine referans doğru olarak gireceğinden, büyük yanlışlıklara sebep olacaktır. Bu nedenle, otomatik istasyon gözlem değerlerinin, doğru ve hassas olması, yanlış değer üretenlerin, filtreleme işlemleriyle kalite kontrolü yapılarak bayraklanması gerekmektedir.

Uydu verileri bakımından

Eumetsat'ın nowcasting (ani gelişen kuvvetli meteorolojik olayların tahmini) çalışmalarını operasyonel olarak desteklediği, 5 dk aralıklı veri aktaran, Meteosat-8 uydu verileri, ümit edici sonuçlar ortaya koymaktadır. Uydu görüntüsünde kanat hattının görülmesi; hortum oluşma ihtimali olduğunu, bu hattın görülmemesi de hortum oluşmayacağı anlamına gelmemekte olup, kanat hattının varlığı "güven artırıcı işaret" olarak algılanmak durumundadır.

Uydu gözlem verilerinde dikkati çeken özelliklerden birisi, Dutluca-Kaşlıca köyleri arasındaki hortum güzergahının aşırı yükselen bulut tepe sıcaklık pikselleriyle ilişkili olduğudur. Bu özellik "Gelişmiş-V" yapılı oraj hücreleri yardımıyla, hortum yolu tahminlerinde, yöntem olarak kullanılabileceğine dair bir işaret olup, hortum hadiseleriyle ilgili başka örneklerle de araştırılarak desteklenmesi gerekmektedir. "Gelişmiş-V" yapılı hücreleri, tespit edilme olasılığı (Probability of Detection-PoD) düşük olmasına rağmen, yanlış alarm oranı (False Alarm Rate-FAR) düşük olduğundan, kuvvetli konveksiyonların izlenilmesinde, bir araç olarak kullanılabilir.

“Gelişmiş-V” yapısının ilk defa ortaya çıkması, Maden hortumunda 13:55 UTC ila 14:00 UTC arasında olup, bu tür yapıların McCann’in (1983) ortaya koyduğu ortalama 30 dk önce sinyal vermesi bağlamında, Maden’de oluşan hortum, 90 dk öncesinden başlamak üzere; kuvvetli hadiselerin oluşacağına dair önemli belirtiler ortaya koymuştur. “Gelişmiş-V” oraj fırtına modelinin tespitinde, uydu verilerinin sıklığı ve kanalların uygun renk derinleştirme ve kanal sıcaklık farklarıyla ilgili esnek renklendirme opsiyonu önemli olup, hızlı tarama servis uydusu (Meteosat-8) verileri, operasyonel olarak basit renk derinleştirme opsiyonuyla kullanılabilmelidir.

Uydu yazılımları, uydu verilerinde “Gelişmiş-V” yapılı orajların aşırı yükselen bulut tepe sıcaklık piksel konumuyla ilgili olarak, paralaks hata düzeltmeleri ve histogram düzeltmeleri yaparak görüntü kalitesinin artıracak fonksiyonlara ve cb-örs termal sıcaklık çiftini (aşırı yükselen bulut tepe sıcaklık pikseli, yakın sıcak bölge ve uzak sıcak bölge) gösterebilecek özelliklere sahip olmalıdır.

Hasar rapor tekniği bakımından

Hortum hadiseleri, özellikle bilinçli vatandaşların mal kayıplarını azaltmak için sigorta yaptırmaları nedeniyle, sigorta şirketleri tarafından rapor istekleri bir tarafa, kuvvetli rüzgar hasarlarının, hortum kaynaklı, ani rüzgar boşalımı (downburst) ya da derin siklonların hamleli rüzgarlarından mı kaynaklandığının MGM tarafından da araştırılarak sınıflandırılması gerekmektedir. Dolayısıyla; hortum hasarı kaynaklı haberlerin doğruluğu, iddia edilen bölgeye en yakın MGM personeli tarafından, oluşan hasarların fotoğraflanması, raporlarda hasar oluşturan hadisenin GPS ile ölçülmüş her hasar noktasının fotoğraf ve hasar açıklamaları, olayın şahitlerinin verdiği zaman bilgilerini de içerecek şekilde, netleştirerek resmi rapor halinde, ilgili Bölge Müdürlükleri üzerinden MGM’nin ilgili birimlerine gönderilmesi sonucunda araştırılmalıdır.

Bu bilgilerin konunun uzmanlarınca, uydu ve varsa radar bilgileriyle senkronize bir şekilde değerlendirilerek nihai rapor haline getirilmesi gerekmektedir. Hasar raporları; süper hücreli oraj fırtına araştırmaları bağlamında, MGM

bünyesinde verilecek eğitim çerçevesinde, Meteoroloji Bölge ve İl Müdürlükleri koordinesinde hazırlanmalıdır. Bu sayede medyada ki görüntü ve iddialar üzerinden çalışma yapılmayıp, daha bilimsel çalışmaların önü açılacaktır.

Bu sayede; hazırlanan raporlar; MGM bünyesinde hem hortum ya da ani rüzgar boşalımları (downburst) türü hadiselerin oluşum mekanizma ve dinamiğinin araştırılması anlamında hem de bu araştırmalar sonucunda ortaya çıkacak sonuçların değerlendirilerek, uyarı mekanizma sürecinin içerisine konulması anlamında da yeni ufuklar açacaktır. Diğer taraftan sigorta şirketleri ya da mahkeme süreçlerinde; resmi, detaylı ve kamuoyunu tatminkar edicilik anlamında da kullanılabilecektir. Urfa'dan Elazığ'a giden otobüsün hortum nedeniyle camlarının kırıldığı iddiaları mevcut olup, hasar rapor tekniği bağlamında bu tür olaylarla ilgili farklı kurum ve kuruluşlarca düzenlenen (il valilik, tarım, meteoroloji ve sigorta şirket yetkilileri) raporların bir kopyası valilik üzerinden alınabilmelidir.

Maden'de gerçekleşen hortumun, aynı şantiyenin başka bir bölümündeki işçiler tarafından cep telefonu yoluyla video kameraya çekildiği görülmüştür. Hortum, büyük çaplı dolu ve hasar veren kuvvetli rüzgar hadiseleri, sorumlu vatandaşlık çerçevesinde, MGM bünyesinde internet gönüllü gözlem formu yoluyla, telefon, sms, elektronik posta v.b. gibi yöntemlerle seri bir şekilde operasyonel tahmin yapan birimlerin önüne harita formatında görüntülenebilmesi gerekir.

Çünkü bir yerde vatandaşlar tarafından şahit olunan bir hadise, bir süre sonra bir başka yer için de benzeri yıkımlara sebep olacağından, en yakın meteoroloji birimlerine acilen bilgi verilmesi gerekmektedir. Bu bilgilendirme başka vatandaşlar için hayat kurtaran bir işlev görebilir. Bu tür sorumlu vatandaşlık bilinci geliştirmek üzere uygun iletişim ortamları oluşturulmalı ve radyo ile tv ortamlarında "kuvvetli havalarla ilgili vatandaşlardan gelen bilgilerin hayat kurtaracağına dair" kamu spotu oluşturulmalıdır.

Yıldırım verileri bakımından

GTS iletişim kanalıyla, İngiltere Meteoroloji Ofisinden 5 dk aralıklarla alınan yıldırım verileri, hortum oluşum bölgesi civarındaki bulutlardan yere doğru olan boşalımları gösterdiğinden, bu verilerin şimşek gözlemlerinin zamanı ve çözünürlüğü bağlamında yeterli olduğu görülmüştür. Fakat bu veriler üyelik olmadan alındığında 15-20 dk gecikme olduğundan, sisteme üye olunması faydalı olacaktır.

İletişim Mekanizması bakımından

Kuvvetli meteorolojik hadiselerle ilgili erken uyarı kapsamında en problemli alan, yapılacak uyarıların, olaydan etkilenen bölgede yaşayan insanlara ulaştırılması sürecidir. Esenboğa havaalanının 5 km kuzeyindeki Sünlü Köyü hortumu, açık bir arazide ve yaşlı bir bayan ve iki torunuyla açık arazide bulunan üç kişinin, kamyonete sığındıkları sırada, Elazığ-Maden hortumu ise, bir şantiyede altı kişinin yağmur ve fırtınadan korunmak amacıyla, konteynıra sığındıkları sırada meydana gelmiştir. Olayda ölen kişilerin cep telefonları yanlarında bulunsa bile, hangi iletişim mekanizmasıyla bu tür uyarılar hedef kitleye ulaştırılabileceği düşünülmelidir.

Hortum oluşma sıklığı en yüksek ülkelerden olan Amerika hortum uyarılarının halka ulaştırılması konusunda iki yöntem uygulamaktadır. Bunlardan birincisi klasik uyarı aracı olan sirenlerin çalması, topluluktan uzak yerlerde bulunanlar için, uyarı yayınlandığında kendiliğinden açılarak yayına başlayarak meteorolojik uyarıları bildiren NOAA radyo uygulamasıdır. Türkiye'de can kaybına sebep olan, son iki hortum hadisesi; uyarı sürecindeki, uyarıların halka ulaşım kanallarının yeniden gözden geçirilmesini zorunlu kılmaktadır.

SİMGELER VE KISALTMALAR

3DVar: Three-Dimensional Variational Assimilation (Üç Boyutlu Değişim Asimilasyonu)

ATC: Anvil Thermal Couplet (Örs Termal Çifti)

AVHRR: Advanced Very High Resolution Radiometer (Gelişmiş Çok Yüksek Çözünürlüklü Radyometre)

BRN: Bulk Richardson Number (Bulk Richardson Sayısı)

CAPE: Convective Available Potential Energy (Konvektifleşmeye Müsait Potansiyel Enerji)

Cb: Cumulonimbus (Cumulonimbus-Bulut)

CIN: Convective Inhibition (Konvektifleşme Engelleyici)

CWA: Close Warm Area (Yakın Sıcak bölge)

ECMWF: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (Avrupa Orta Vade Hava Tahmin Merkezi)

ECSS: European Severe Storms Laboratory (Avrupa Kuvvetli Hava Laboratuarı)

EF Scale: Enhanced Fujita Scale (Geliştirilmiş Fujita Ölçeği)

EL: Equilibrium Level (Denge Seviyesi)

Eumetsat: European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (Avrupa Meteorolojik Uydu İşletme Teşkilatı)

FAR: False Alarm Rate (Yanlış Alarm Oranı)

Geosatsignal: Uydu veri görüntüleme yazılımı

GOES: Geostationary Operational Environmental Satellites (Amerika'da Sabit Yörüngeli Operasyonel Çevre Uyduları Programı)

GPS: Global Positioning System (Küresel Konumlama Servisi)

GTS: Global Telecommunication System (Küresel Telekomünikasyon Sistemi)

hPa:hektopascal (Basınç birimi)

HRV: High Resolution Visible (Yüksek çözünürlüklü görünür-uydu kanalı)

IFS: Integrated Forecast System (Bütünleşik Tahmin Sistemi)

IR: Infrared (Kızılötesi-uydu kanalı)

kt:knot (Rüzgar hız birimi)

LCL: Lifting Condansation Level (Yükselmeyle Yoğunlaşma Seviyesi)

LFC: Level of Free Convection (Serbest Konveksiyon Seviyesi)

Meso-Γ: Meso-gamma (2–20 km arasında mesafe ölçeği)

MM5: Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (Beşinci Nesil Penn State/NCAR Orta ölçekli Hava Tahmin Modeli)

MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometresi)

MSG: Meteosat Second Generation (Meteosat İkinci Nesil)

MSGView: Meteosat Second Generation View (Meteosat İkinci Nesil Uydu verisi görüntüleme-program)

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index (Normalleştirilmiş Fark Bitki örtüsü İndeksi)

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration (Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi)

PoD: Probability of Detection (Tespit İhtimali)

PV: Potential Vorticity (Potansiyel Vortisiti)

PVU: Potential Vorticity Unit (Potansiyel Vortisiti Birimi)

PW: Precipitable Water (Yağışabilir Su Miktarı)

RGB: Red Green Blue (Kırmızı Yeşil Mavi-Uydu. Uydu kanallarının görüntülenmesinde kullanılan renklendirme yöntemi)

RSS: Rapid Scan Service (Hızlı Tarama Servisi)

SEVIRI: Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (Dönen Gelişmiş Görünür ve Kızılötesi Görüntüleyici)

Ship: Deniz gözlemlerine verilen ad

SPC: Storm Prediction Center (Fırtına Tahmin Merkezi)

SREH: Storm Relative Helicity (Oraj Nisbi Sarmalı)

Terra: Latincede "dünya" kelimesinin karşılığı (Meteorolojik amaçlı Polar Yörüngeli Amerikan Araştırma Uydusu)

Uk-Met. Office: United Kingdom Meteorology Office (Birlelik Krallık Meteoroloji Ofisi)

UTC: Coordinated Universal Time (Uyumlu Uluslararası Zaman)

Wrf-NMM: Weather Research Forecast Non-hydrostatic Mesoscale Model (Hidrostatik olmayan Orta ölçekli Hava Araştırma Model)

KAYNAKLAR

Kitaplar

Beatriz M. Funatsu and Darryn W. Waugh, March 2008, Connections between Potential Vorticity Intrusions and Convection in the Eastern Tropical Pacific, American Meteorological Society, Page 987-988)

Bedka Kristopher, Brunner Jason C., Feltz Wayne F., and Dworak Richard 2011, Overshooting Top and Enhanced-V Thermal Couplet Signature Detection, European Conference on Severe Storms, Palma de Mallorca, Balearic

Brunner Jason C., Ackerman Steven A., Bachmeier Scott A., Rabin Robert M., 2006, A Quantitative Analysis of the Enhanced-V Signature in Relation to Severe Weather, Symposium on the Challenges of Severe Convective Storms

Doswell C.A., 17 August 1999: Are Warning Lead Times the Most Important Issue in Tornado Events? Weatherzine

Esterheld John M. and Giuliano Donald J., 2008, Discriminating between Tornadic and Non-Tornadic Supercells: A New Hodograph Technique, Norman, OK E-Journal of Severe Storms Meteorology, Vol 3, No 2

Ewald Rick & Guyer Jared L., 2002, The Ideal Lead Time For Tornado Warnings A Look From The Customer's Perspective, National Weather Service, Hastings, Nebraska, University of Nebraska-Lincoln, Digital Commons

Mikus Petra, Bedka Kristopher, Mahović Nataša S., 2011, Satellite-Based Overshootıng Tops Detection Methods, 6. European Conference on Severe Storms, ECSS

Steven A. Ackerman and John A. Knox, M Meteorology: Understanding the Atmosphere

Yurtseven Mustafa, 2008, Süper Hücreli Oraj fırtına Sistematiğinde Sünlü Mezosiklonu, MGM

Web siteleri

http://speedy.aos.wisc.edu/Hobbs_etal.1990.pdf

http://cimss.ssec.wisc.edu/snaap/enhanced-v/

http://cimss.ssec.wisc.edu/goes/visit/enhanced_v_enhancements.html

http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2007JAS2248.1