

YAĞIŞ HÜCRESİ TESPİT VE TAKİBİNDE ANVIL VE TITAN UYGULAMALARININ KARŞILAŞTIRILMALI ANALİZİ

Kurtuluş Öztürk¹, Alper Çubuk¹, Esin Oğuz¹

¹Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Tahminler Dairesi Başkanlığı, Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü, 06120 Kalaba, Keçiören, Ankara
kozturk@mgm.gov.tr, acubuk@mgm.gov.tr, esoguz@mgm.gov.tr

Özet

Meteoroloji radarları, atmosfere gönderdikleri belirli bir frekanstaki elektromanyetik dalganın saçıcı nesnelere tarafından saçılmasıyla radara geri dönen sinyali işleyerek reflektivite parametresini elde ederler. Reflektivite parametresi kullanılarak farklı yöntem ve hesaplamalar ile radar yağış ürünleri elde edilir. Bu yağış ürünlerinden biri de VIL (Vertically Integrated Liquid, Dikey Entegre Sıvı) ürünüdür. Bu çalışmada, radarlar tarafından üretilen VIL ürününün altı dakikadan oluşan 10 görüntülük (1 saatlik) tahmini açık kaynaklı bir Phyton kodu ile üretilmiş ve görsel olarak modifiye edilmiştir. ANVIL adı verilen bu kodda adveksiyon alanını belirlemek için Lucas-Kanade yöntemi kullanılmıştır. Bir diğer radar ürünü olan MAX (Maximum Reflectivity) ürününü kullanarak ekstrapolasyon yöntemiyle hücrenin 30 dakika ve 1 saat sonrası için konumu ve büyüklüğü hakkında tahmin yapan TITAN uygulamasının tahminleri ile, ANVIL tahminleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından geliştirilen ALTAR (Airport Lightning and Thunderstorm Alert by Remote Sensing) uygulamasına entegre edilmiştir. TITAN ve ANVIL uygulamaları, farklı yöntem ve farklı ürünler kullanarak, konvektif radar hücrelerinin ilerleme yönü ve büyüklüğü hakkında tahminciye görsel bir fikir sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. ANVIL ve TITAN tahminleri seçilen bazı yağış hadiseleri için karşılaştırılmış, tahmin tutarlılıkları gerçekleşen yağışlar ile analiz edilmiştir. Yapılan analizler neticesinde ANVIL ve TITAN tahminlerinin büyük ölçüde birbirleriyle uyumlu olduğu, alansal ve konumsal olarak tahmin tutarlılıklarının ise genel olarak başarılı olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, yağış hücrelerinin tespiti ve takibinde TITAN ve ANVIL ürünlerinin kullanımının oldukça faydalı olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Meteoroloji Radarı, Reflektivite, MAX, VIL, ANVIL, TITAN

COMPARATIVE INVESTIGATION OF RAIN CELL TRACKING TOOLS: TITAN vs ANVIL

Abstract

Reflectivity is a parameter obtained by processing the signal returned to the weather radar by scattering the electromagnetic wave of a certain frequency. Radar precipitation products are derived using this parameter. One of these precipitation products is the Vertically Integrated Liquid (VIL) product. In this study, a nowcasting tool is produced by modifying an open-source ANVIL Python code. This tool uses the Lucas-Kanade method to determine the advection area. TITAN is another open-source nowcasting tool that identifies the radar cell and predicts the location and size of the cell for 30 minutes and 1 hour later by extrapolation method using MAX (Maximum Reflectivity) radar product. ANVIL and TITAN outputs are integrated into ALTAR (Airport Lightning and Thunderstorm Alert by Remote Sensing) web tool developed by the Turkish State Meteorological Service. TITAN and ANVIL have been developed to give the forecaster a visual idea of the direction and size of the convective radar cell's progress, using different methods and products. ANVIL and TITAN forecasts are compared for some selected precipitation events, and their forecast consistency is analyzed with actual precipitation. As a result of the analysis, it is seen that ANVIL and TITAN forecasts were mostly compatible with each other, and their forecast consistency is generally successful. As a result, it is evaluated that the use of TITAN and ANVIL products is very useful in detecting and monitoring rainfall cells.

Keywords: Weather radar, Reflectivity, MAX, VIL, ANVIL, TITAN

Sorumlu Yazar: Esin Oğuz

Geliş Tarihi: 31 Ekim 2024

Kabul Tarihi: 25 Aralık 2024

Yayın Tarihi: 31 Aralık 2024

Atıf Şekli: Öztürk, K., Çubuk, A., Oğuz, E. (2024). Yağış Hücreleri Tespit ve Takibinde Anvil ve Titan Uygulamalarının Karşılaştırılmalı Analizi, *Atmosfer ve İklim Dergisi*, 2(1), 105-117.

Makale Tipi: Araştırma Makalesi

e-ISSN: 3023-8560

GİRİŞ

Uzaktan Algılama, bir obje, bölge veya olaydan fiziksel temas olmaksızın bilgi alma işlemidir. Meteoroloji bilimi için uzaktan bilgi alınacak olay yağış, kar, dolu, rüzgar gibi meteorolojik hadiseler, obje ise bu hadiselerle sebebiyet veren bulut içerisindeki hidrometeorlardır. Meteorolojik Uzaktan Algılama, uydu, radar, yıldırım tespit sistemi, lidar gibi enstrümanlar ile yapılır. Bu enstrümanlar kullanılarak şiddetli hava koşullarının erken tespit ve takibi mümkündür (Zeybek ve Öztürk, 2022).

Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO), 0-6 saat arasındaki tahmini “çok kısa vadeli tahmin - nowcasting” olarak tanımlamaktadır. Fırtına, kasırga, dolu, şiddetli yağış, şiddetli rüzgar, sis gibi hadiselerin çok kısa vadeli tahmini için hızlı güncellenen, yüksek çözünürlüklü gözlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Gözlem türleri arasında radar, uydu, yıldırım ağları, yer istasyonları, rüzgar profilleyicileri ve radyosondalar bulunur (Schmid vd., 2019). Nowcasting için kullanılan en önemli enstrüman meteoroloji radarlarıdır. Meteoroloji radarları sayesinde meteorolojik hadisenin ilerleme yönü, tipi ve şiddeti hakkında çok detaylı bilgiler elde edilebilmektedir.

Sayısal hava tahmin modellerinin sunduğu nispeten düşük çözünürlüklü orta vadeli tahminlerin yanında meteoroloji radarları ile 0-2 saat arası tahminler yüksek zamansal çözünürlük ile elde edilebilmektedir. Bu tahminler günlük hayatın yanında ulaştırma, turizm, sigorta ve tarım gibi pek çok sektör için hayati öneme sahiptir. Kamuda can ve mal kaybına yol açabilecek kuvvetli konvektif yağışlar, sel ve dolu gibi hadiselerin erken tespiti hayati öneme sahiptir.

Radarlardan elde edilen ürünlerin yanı sıra, radar hücre takibi, interpolasyon, ekstrapolasyon, optik akış, makine öğrenmesi, yapay zekâ gibi farklı yöntemleri kullanan uygulamalar tahmin tutarlılıklarına katkı sağlamaktadır. Bu uygulamalar vasıtasıyla tahminci ve araştırmacılara daha doğru ve anlamlı bilgi sağlamak, zamandan tasarruf ve iş kolaylığı sağlamak amaçlanmıştır (Zeybek ve Öztürk, 2022).

TITAN ve ANVIL uygulamaları, farklı yöntem ve farklı ürünler kullanarak, konvektif radar hücresinin ilerleme yönü ve büyüklüğü hakkında tahminciye görsel bir fikir sağlamak amacıyla geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, radar MAX (Maximum Reflectivity) ürününü kullanarak ekstrapolasyon yöntemiyle hücrenin 30 dakika ve 1 saat sonrası için konumu ve büyüklüğü hakkında tahmin yapan TITAN uygulamasının tahminleri ile, radar VIL (Vertically Integrated Liquid, Dikey Entegre Sıvı) yağış ürünü kullanılarak geliştirilen açık kaynak kodlu ANVIL tahmin uygulaması modifiye edilerek çıktılarını Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından geliştirilen ALTAR uygulamasına entegre edilmiştir. Veri boyutunun çok büyük olması nedeniyle geçmişe dönük herhangi bir arşivleme yapılmamaktadır. TITAN ve ANVIL uygulamalarının nicel bir çıktısı olmayıp, bu uygulamalar tahminci ve araştırmacılara görsel bir bilgi sunar.

Tahmin tutarlılıkları hem gerçekleşen yağışlar hem de başka bir açık kaynak kodlu tahmin uygulaması olan TITAN yazılımının tahminleri ile karşılaştırılmıştır. Her iki uygulamanın 1 saat sonrası için hücrenin konum ve boyutu için yaptıkları tahminler ile tahminden 1 saat sonraki radar görüntülerinin konum ve boyutu görsel olarak karşılaştırılmıştır. Bu çalışma, iki uygulamanın tahminlerinin birbirleriyle tutarlılığı ve bir saat sonrası için yaptıkları tahminlerin gerçekleşme durumlarının sübjektif analizidir. Bu karşılaştırmalar *Bulgu ve Değerlendirmeler* bölümünde sunulmuştur.

YÖNTEM

Meteoroloji radarları, atmosfere gönderdikleri belirli bir frekanstaki elektromanyetik dalganın saçıcı nesnelere tarafından saçılması neticesinde radara geri dönen sinyali işleyerek reflektivite parametresini elde ederler. Denklem 1’de radar denklemi verilmiştir:

$$P_r = \frac{P_t G^2 \theta^2 H \pi^3 K^2 L}{1024 (\ln 2) \lambda^2} * \frac{Z}{R^2} \quad (1)$$

Burada, P_r : Hedeften radara dönen ortalama güç, P_t : Radar tarafından yayılan tepe güç, G : Anten kazancı, θ : Açısal ışın genliği, H : Darbe genişliği, K : Suyun dielektrik sabiti, L : Kayıp faktörü, λ : Gönderilen radyasyonun dalgaboyu, Z : Reflektivite faktörü, R : Hedefin radardan olan uzaklığıdır (sinyalin dönüş zamanından hesaplanır). Bu denklemde Z ve R hariç tüm parametreler anten tasarlanırken belirlenen sabit değerler olduğundan bu parametreler anten sabiti (C) olarak tanımlanır (Denklem 2).

$$C = \frac{1024 (\ln 2) \lambda^2}{P_t G^2 \theta^2 H \pi^3 K^2 L} \quad (2)$$

Buradan reflektivite faktörü Z , Denklem 3'teki gibi bulunur. Reflektivite faktörü çok büyük bir değer olduğundan logaritması alınarak desibel cinsine dönüştürülür. dBZ cinsinden reflektivite (Denklem 4), saçıcı nesnelere saçılarak radara geri dönen sinyalin yoğunluğunu temsil eder.

$$Z = P_r \cdot R^2 \cdot C \quad (3)$$

$$Z(\text{dBZ}) = 10 \log(P_r) + 20 \log(R) + 10 \log(C) \quad (4)$$

Reflektivite parametresi kullanılarak farklı yöntem ve hesaplamalar ile radar yağış ürünleri elde edilir. Bu yağış ürünlerinden biri de kg/m^2 cinsinden hesaplanan VIL (Vertically Integrated Liquid, Dikey Entegre Sıvı) ürünüdür. Meteoroloji radarlarından elde edilen VIL ürünü, reflektivitenin bir fonksiyonudur.

Reflektivitenin belirli bir katmandaki dikey toplamı kullanılarak, çöken bulutun içindeki toplam su eşdeğeri kütlesi bulunabilir (Denklem 5).

$$VIL = \sum 3.44 \times 10^{-6} [(Z_i + Z_{i+1})/2]^{4/7} dh \quad (\text{kg/m}^2) \quad (5)$$

Bu denklemde, Z_i : Tabakanın en alt seviyesindeki reflektivite değeri, Z_{i+1} : Tabakanın en üst seviyesindeki reflektivite değeri, dh : Tabaka kalınlığıdır (m).

En basit haliyle, ekstrapolasyona dayalı nowcasting tahmini, birkaç saatlik zaman çerçevesi boyunca, radar ekolarının yoğunluğunda değişiklik olmadan sabit bir hareket alanı boyunca hareket ettirilmesiyle yağış gelişiminin yakalanabileceğini varsayar. Literatürde buna Lagrange süreklilik varsayımı adı verilmektedir (Zawadzki vd., 1994).

Adveksiyon, havanın hareketi sonucunda, atmosfer içindeki herhangi bir özelliğin yatay taşınımıdır. Lagrangian süreklilik varsayımı (Denklem 6), kısa vadeli yağış tahmininde uygulanan yöntemlerden biridir. Bu varsayım, her hava parselinin durumunun sabit olduğunu ve tüm değişimin adveksiyondan kaynaklandığını varsayar (Germann ve Zawadzki, 2002).

Bir yağış parseli R ile ve yer değiştirme vektörü $\alpha(\tau)$ olmak üzere Lagrangian süreklilik denklemi şu şekilde yazılır:

$$R(x_0; t+\tau) = R(x_0 - \alpha(\tau); t) \quad (6)$$

Bu denklem diferansiyel denklem olarak Denklem 7'deki gibi yazılabilir:

$$\frac{dR}{dt} = \frac{\partial R}{\partial t} + u \frac{\partial R}{\partial x} + v \frac{\partial R}{\partial y} = 0, \quad u = \frac{dx}{dt}, \quad v = \frac{dy}{dt} \quad (7)$$

Bu denklemde u ve v hareket alanının x ve y bileşenleridir. Belirli bir konum için u ve v , Denklem 7 çözülerek tahmin edilir. Hareket alanı bilindiğinde, radar ekolarının hareketi adveksiyon aracılığıyla tahmin edilir.

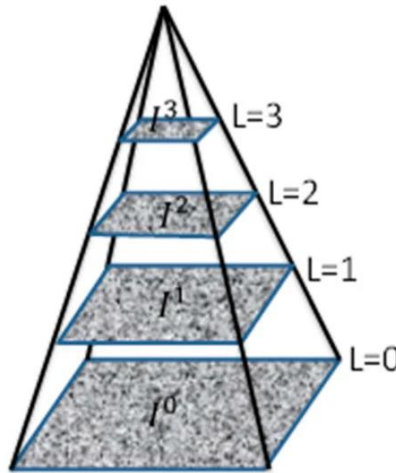
Optik akış (Optical Flow) yöntemi, hareket kestirimi, nesne takibi, görüntü mozaikleme gibi işlemlerde sıklıkla kullanılan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda, piksellerin çerçeveler arasındaki değişimi gözlenip, değişimin yönü ve hızı hesaplanmaktadır (Keçeli ve Kaya, 2018). Optik akış algoritmaları ile radar hücre takibi ve tahmini mümkündür. Bu yöntem ile gözlemlenen hücrelerin doğru bir şekilde takip edebilmesi ve hareket yörüngeleri tahmini oldukça başarılı olduğundan nowcasting için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir.

Optik akış algoritmaları iki aşamaya ayrılabilir:

1. İki veya daha fazla radar görüntüsünden bir adveksiyon alanı tahmin etmek,
2. Tahmin edilen alanı kullanarak gelecekteki gözlemleri tahmin etmek.

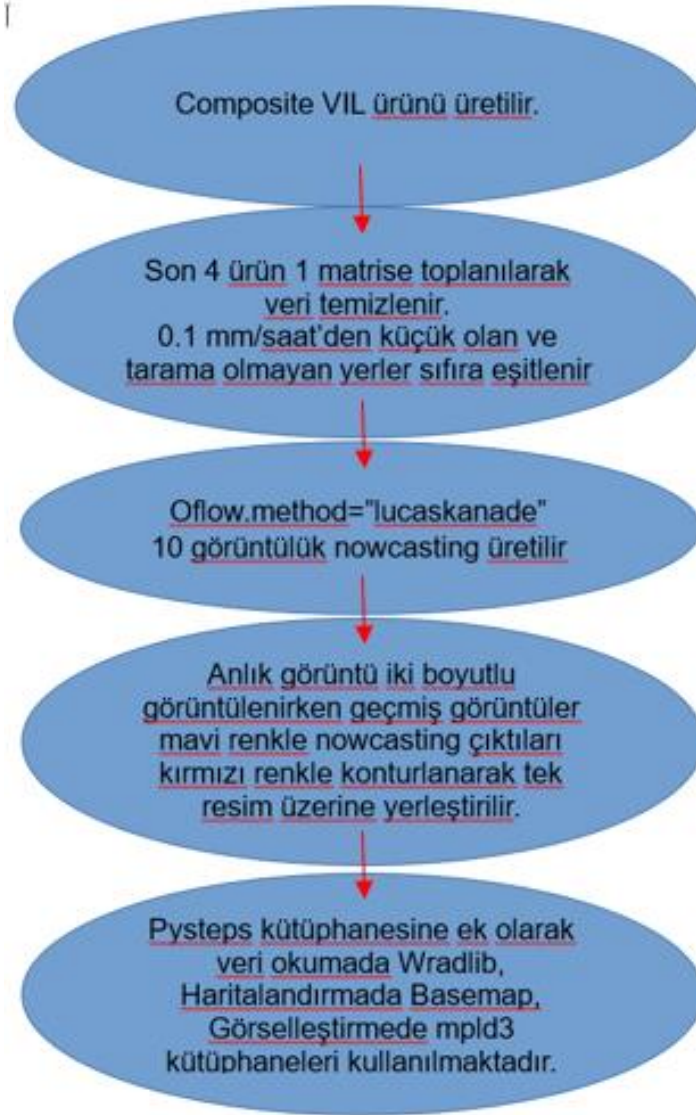
Optik akış varsayımlarına göre bir piksel, komşu pikselleri ile benzer harekete sahiptir. Geleneksel optik akış yöntemleri, hareket alanını piksel düzeyine göre tahmin eder. Ancak, yağış alanlarının yer değiştirmesi genellikle piksellerle çakışmayıp birkaç pikselin ve bir alt pikselin birleşimidir. Yer değiştirme piksel seviyesi olarak ele alınırsa yağış alanlarının hareket takibinde hatalara yol açacaktır.

Algoritmada akışın başta sabit olduğu düşünülmektedir ve önce yerel komşulara bakılmaktadır. Daha sonra temel optik akış denklemleri ile bütün piksellerdeki komşular için algoritma işletilmektedir. Optik akışı tahmin etmek için kullanılan Lucas-Kanade yöntemine göre yerel piksel ve görüntüdeki her bir komşu piksel için Denklem 7'de verilen diferansiyel denklem çözülerek en küçük kareler yaklaşımıyla optik akış bulunur. Lucas-Kanade yöntemine göre belirlenen nokta ve komşu pikseller aynı harekete sahip olmaktadır (Lucas ve Kanade, 1981). Küçük hareketler bu yöntemle çözülebilirken büyük hareketlerde ise piramitler kullanılmaktadır. Piramit yönteminde büyük hareketler küçük hareketlere dönüşür. Böylece, Lucas-Kanade çerçevelere uygulanarak, optik akış elde edilir. Bu yöntemde Piramitsel Lucas-Kanade Optik Akış Yöntemi (PLKOF) denir (Li vd., 2018).

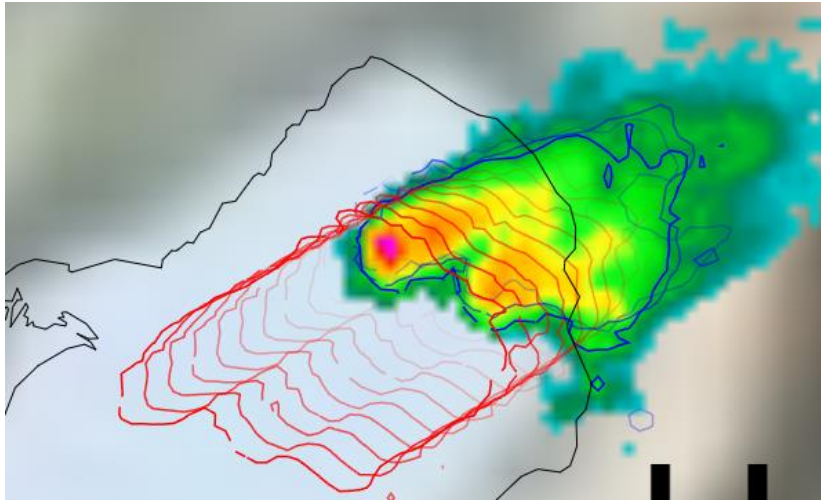


Şekil 1. Yüksek çözünürlüklü ($L = 0$) bir görüntünün düşük çözünürlüklü görüntülere ($L = 1, 2, 3$) örneklendiği Gauss piramidinin yapıları (Li vd., 2018)

Pysteps, kısa vadeli topluluk tahminleri için kullanımı kolay, modüler, ücretsiz ve açık kaynaklı bir Python çerçevesi geliştirmek ve sürdürmek için oluşturulmuş topluluk odaklı bir girişimdir. Odak noktası, radar yağış alanlarının olasılıksal kısa vadeli tahminidir. Ancak Pysteps daha geniş bir kullanıma izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Pysteps, GitHub'da aktif olarak geliştirilmektedir. Klasik optik akış yöntemleri yalnızca iki girdi

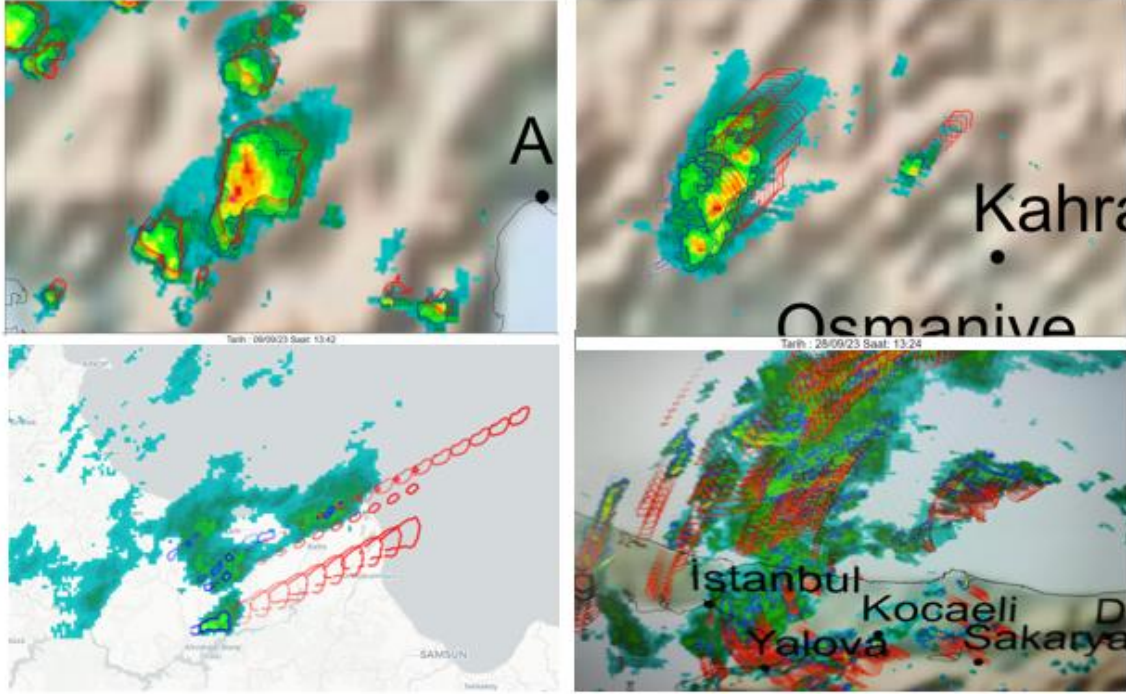


Şekil 3. Meteoroloji Genel Müdürlüğü ANVIL algoritması



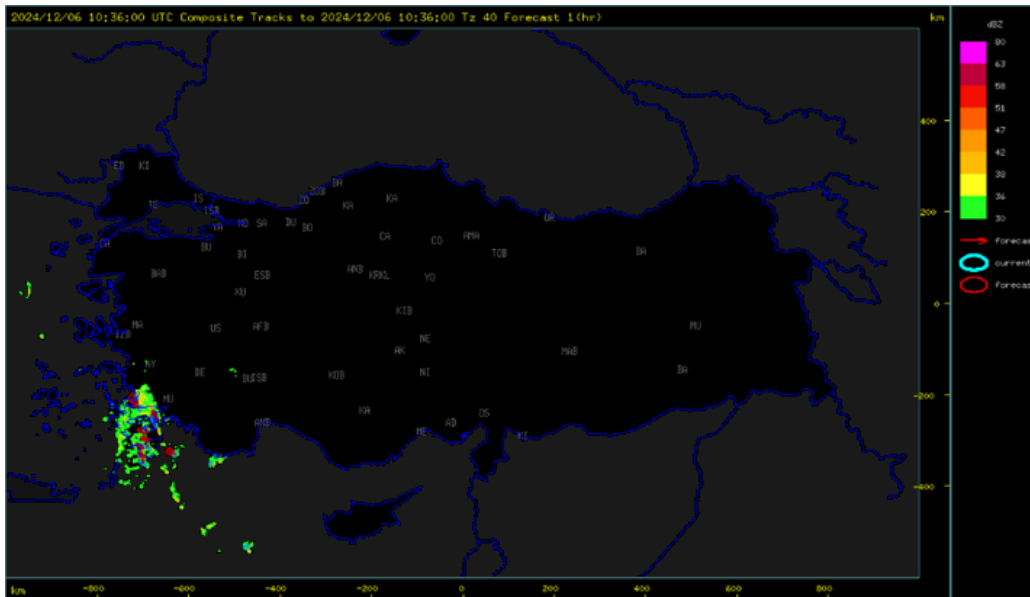
Şekil 4. Mavi renkli poligonlar geçmiş 4 görüntüyü, kırmızı renkli poligonlar ise 6 dakikalık 10 görüntüyü göstermektedir.

Şekil 5'te verilen bazı ANVIL görüntülerinde optik akış yönü ve hızına göre tahminlerin nasıl şekillendiği gösterilmektedir.



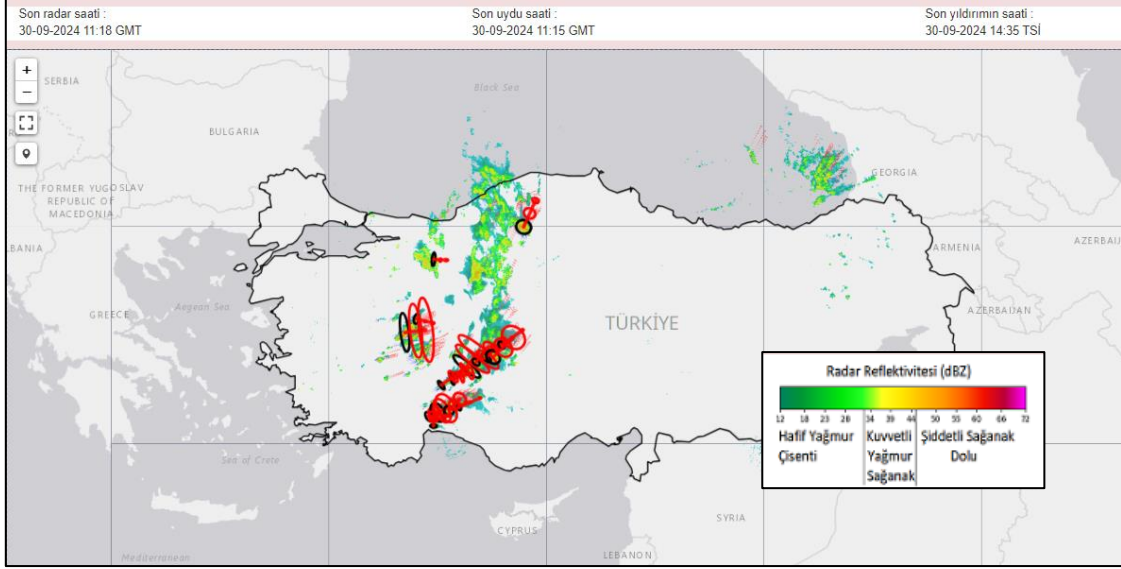
Şekil 5. Örnek ANVIL görüntüleri

TITAN (Thunderstorm Identification Tracking Analysis and Nowcasting), NCAR (National Center for Atmospheric Research) tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu bir yazılımdır. TITAN, meteoroloji radarı ile tespit edilen gök gürültülü fırtınaları tespit ve takip etmek için tasarlanmıştır. TITAN, tespit edilen konvektif hücreyi sonraki hücrelerle eşleştirmek için kombinasyonel bir optimizasyon yöntemi kullanarak, hücrelerin birleşme ve bölünmelerini geometrik bir yaklaşımla tespit eder. Hem konumun hem de boyutun kısa vadeli tahmini, geçmiş verilerle ağırlıklı doğrusal uyum esas alınarak yapılır (UCAR, t.y.). TITAN Türkiye arayüzü Şekil 6'da gösterilmiştir.



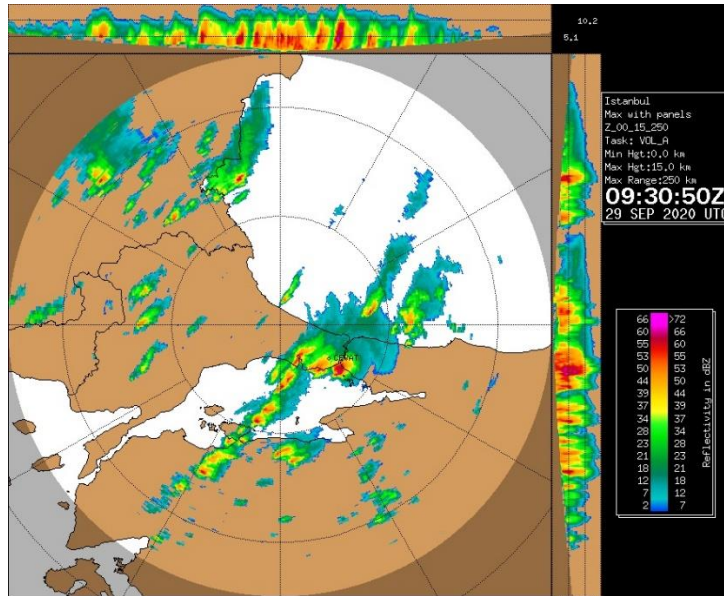
Şekil 6: TITAN uygulaması görseli

ALTAR uygulaması, Türkiye'deki sivil ve askeri havaalanları için meteorolojik uzaktan algılama verilerini kullanmak suretiyle otomatik olarak konvektif fırtına ve sis uyarısı veren, Meteoroloji Genel Müdürlüğü personeli tarafından geliştirilmiş web tabanlı interaktif bir uygulamadır (Zeybek ve Öztürk, 2022). TITAN tahmin çıktıları Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından geliştirilen ALTAR (Airport Lightning and Thunderstorm Alert by Remote Sensing) uygulamasına entegre edilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7: ALTAR uygulamasına entegre edilmiş TITAN ürünü görseli

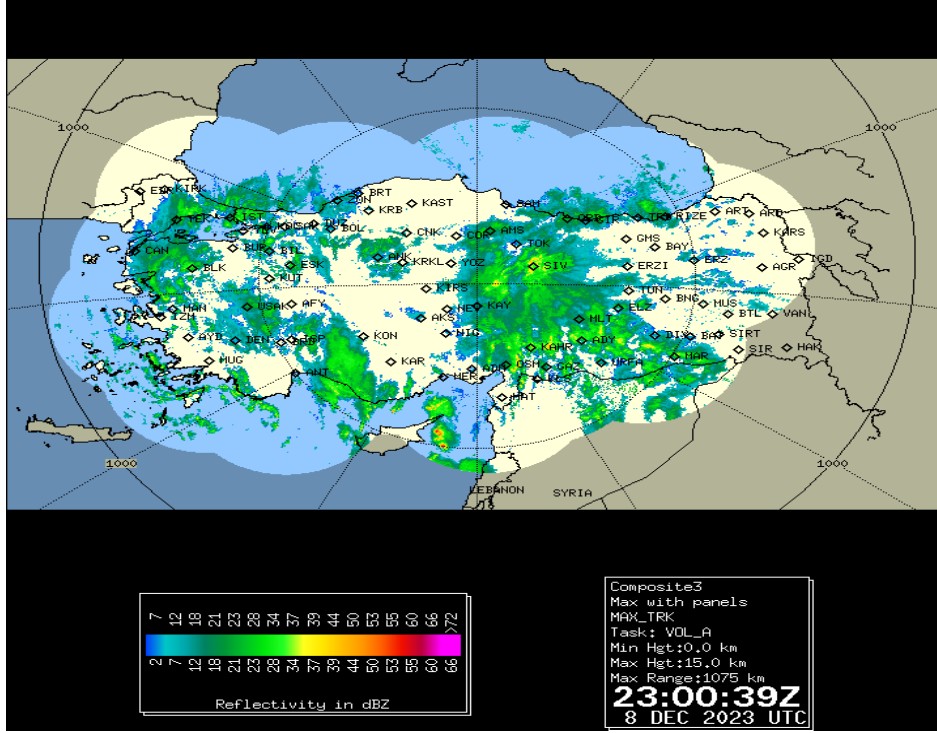
Radar MAX (Maximum Reflectivity) ürünü, radar verisine ait her bir pikselin dikey kesitindeki maksimum ekoları gösterir. Birimi dBZ'dir. dBZ Özellikle şiddetli hava sahalarının görülmesinde faydalı bir üründür (Şekil 8).



Şekil 8: 29 Eylül 2020 tarihine ait İstanbul Radar MAX ürünü

ALTAR uygulamasında Birleştirilmiş Radar MAX (Composite Maximum Reflectivity) ürünü kullanılmaktadır. Birleştirilmiş Radar MAX ürünü, mevcut meteoroloji radarlarının MAX ürünlerinin birleştirilerek tek bir ürün haline getirilmesiyle elde edilen bir radar ürünüdür. Türkiye Birleştirilmiş Radar MAX ürünü, Meteoroloji

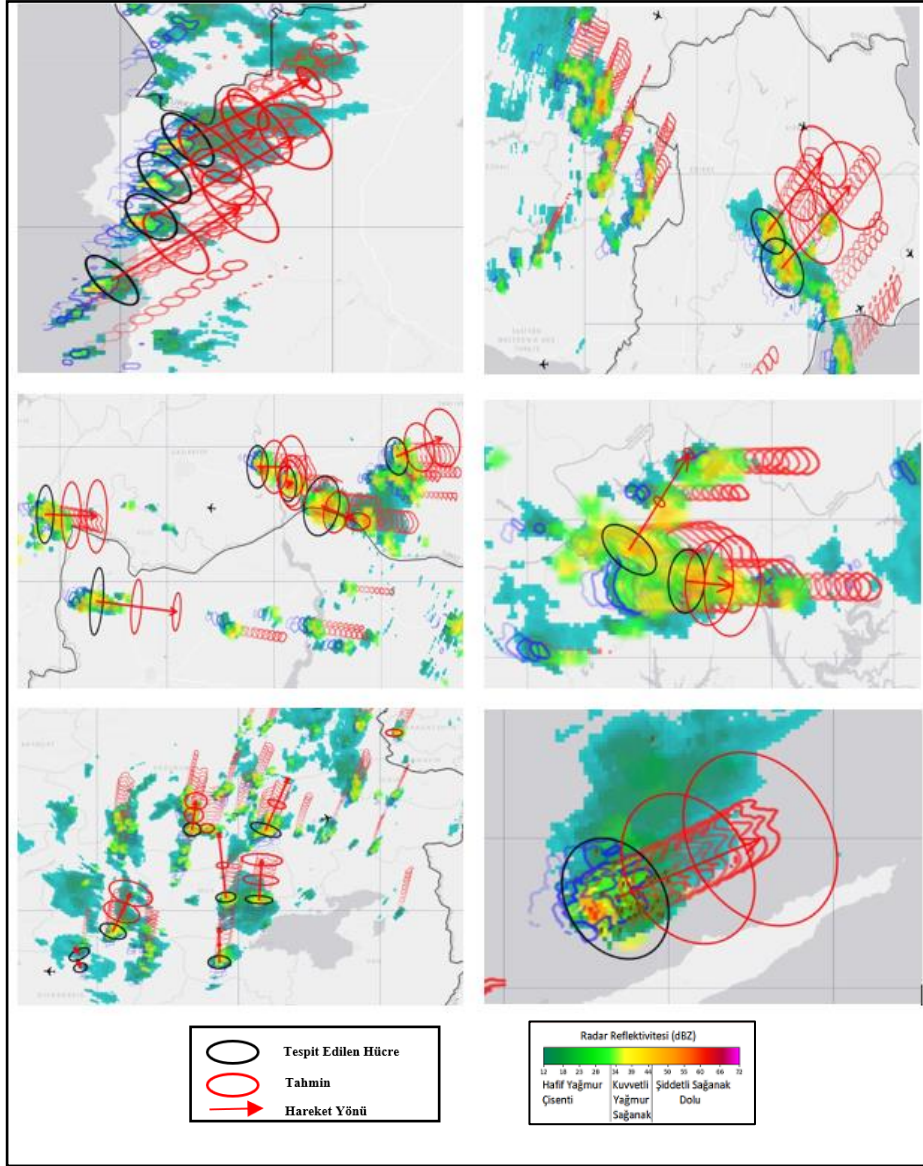
Genel Müdürlüğü tarafından işletilen 17 adet meteoroloji radarından alınan MAX verilerini içermektedir (Şekil 9).



Şekil 9: Örnek Birleştirilmiş Radar MAX ürünü

Tespit edilen konvektif hücrenin mevcut konumu (40 dBZ ve üzeri) ile tahmin edilen konum ve boyutu ALTAR üzerinde gösterilir. Tespit edilen konvektif hücre siyah daire, tahminler ise kırmızı daireler ile gösterilmiştir. ALTAR uygulamasında hem TITAN hem de ANVIL tahminleri birlikte gösterilebilmektedir.

TITAN, ekstrapolasyon tekniğini kullanarak fırtınanın düz bir çizgide ilerlediğini öngörmekte, büyüme ve küçülmeyi tahmin etmektedir. ANVIL ise optik akış ve ekstrapolasyon tekniklerini kullanarak hücre hareketini adveksiyona göre belirlemekte, büyüme ve küçülmeyi tahmin etmektedir (Pysteps User Guide, t.y.). TITAN girdi verisi olarak radar reflektivite verisini (MAX), ANVIL ise yağış verisini (VIL) kullanmaktadır. Örnek bazı yağış hadiseleri incelendiğinde TITAN ve ANVIL tahminlerinin büyük oranda uyumlu olduğu, ender durumlarda farklı tahminlerde buldukları gözlemlenmiştir. Şekil 10'da ALTAR uygulamasında gösterilen bazı yağış hadiselerinde TITAN ve ANVIL tahminleri birlikte verilmiştir.



Şekil 10. Bazı yağış hadiselerinde TITAN ve ANVIL görüntülerinin karşılaştırılması

Bu çalışmada rastgele seçilmiş bazı yağış hadiseleri için TITAN ve ANVIL tahminlerinin yön ve konum olarak tutarlılıkları incelenmiştir. 23.05.2024 tarihinde saat 10:00 GMT'de tespit edilen yağış hücrelerine ait TITAN ve ANVIL tahminleri incelenmiş, tahminler saat 11:00 GMT'de elde edilen radar ürünleriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 11).

Genel olarak ANVIL ve TITAN tahminleri büyük uyumluluk göstermektedir. Ancak bu iki uygulamanın hücrelerin farklı yönlere hareket edeceğini tahmin ettiği durumlar da olmaktadır (Şekil 8). Bunun sebeplerinden biri ANVIL uygulamasının girdi ürününün bir yağış ürünü olan VIL ürünü olması, TITAN uygulamasının girdi ürününün ise bir reflektivite ürünü olan MAX ürünü olmasıdır. İki uygulamanın hücre tespitinde kullandıkları eşik değerleri de (0,1 mm ve 40 dBZ) farklıdır. TITAN tahminlerinde ekstrapolasyon yöntemini kullanırken, ANVIL ekstrapolasyon ve optik akış yöntemlerini kullanmaktadır.

Stratifom tipi yağışlar, yağış getiren alçak seviye bulutlar olan stratüs tipi bulutların düşey yönde gelişmesiyle oluşan ve kararlı atmosferik şartlarda meydana gelen yağış formlarıdır. Bu tip yağışlar genellikle sıcak cephe geçişli yağışlardır, yağış süreleri uzundur ve geniş alanlarda etkili olurlar. Konvektif yağışlar ise genellikle kararsız atmosferik şartlarında, ısınan havanın yükselmesi ile dikey gelişim gösteren Kümülönimbus (Cumulonimbus-CB) bulut tipinin oluşumuna neden olur. CB bulutları gök gürültülü sağanak yağış, dolu, kuvvetli yağış, şimşek ve hatta hortum gibi ani gelişen şiddetli meteorolojik hadiselerle sebep olabilirler. Bu tip bulutlar yer yüzeyinde oluşan ısı farklılıkları, orografik şartlar, cephesel sistemlerdeki dinamik yükseltici hareketler sonucu meydana gelirler. Ülkemizde genelde yaz, ilkbahar ve son bahar mevsiminde görülen konvektif yağışlar kısa sürelerde, daha dar alanlarda gerçekleşirler. Konvektif yağış türleri kısa süreli, aniden gelişen yağış türleri olduğundan tespit ve takipleri stratifom tipi yağışlara göre daha zordur.

SONUÇLAR

TITAN ve ANVIL nowcasting uygulamalarının yağış hücresini tespit ederek, 1 saat sonrası için hücrenin konum ve boyutu için yaptıkları tahminler ile tahminden 1 saat sonraki radar görüntülerinin konum ve boyutu karşılaştırıldığında, tahminlerin konum ve boyut olarak büyük ölçüde tutarlı olduğu görülmektedir. Yağışın alansal olarak artacağı öngörülen tahminlerde yağışın alansal ve şiddet olarak arttığı, azalacağı öngörülen örneklerde ise yağışın azaldığı veya yok olduğu gözlemlenmiştir. Dağlık bir bölge için incelenen örnekte ise TITAN tahminin gerçekleşmediği görülmüştür. ANVIL ve TITAN uygulamalarının tahminlerinde sayısal hava tahmin modellerinin aksine topografya ile ilgili herhangi bir girdi olmayıp bu uygulamalar optik akış ve ekstrapolasyon yöntemlerini kullanmaktadır. Bu sebeple deniz üzerindeki ANVIL ve TITAN tahminlerin dağlık bölgelere oranla daha iyi performans göstermesi beklenen bir sonuçtur. ALTAR uygulamasını operasyonel olarak kullanan tahmin birimleri, kurumlar ve uygulama geliştiricileri tarafından TITAN ve ANVIL tahminleri aktif olarak takip edilmekte olup subjektif verifikasyonlar ve geri beslemeler sağlanmaktadır. Bu bilgiler ve çalışmada sunulan örnekler göz önüne alındığında, yağış hücrelerinin çok kısa vadeli tespit ve takibinde TITAN ve ANVIL ürünlerinin kullanımının oldukça faydalı olduğu değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- Germann, U., Zawadzki, I. (2002). Scale-Dependence of the predictability of precipitation from continental radar images, Part I: Description of the methodology, *Mon. Weather Rev.*, 130, 2859-2873.
- Keçeli, A., Kaya, A. (2018). Optik akış görüntüsü ve Bi-Lstm ile şiddet içeren hareketlerin sınıflandırılması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 14, 204-208.
- Li, L., He, Z., Chen, S., Mai, X., Zhang, A., Hu, B., Li, Z., Tong, X. (2018). Subpixel-based precipitation nowcasting with the pyramid lucas-kanade optical flow technique. *Atmosphere*, 9, 260. <https://doi.org/10.3390/atmos9070260>
- Lucas, B.D., Kanade, T. (1981). An iterative image registration technique with an application to stereo vision. *Proceedings of Imaging Understanding Workshop*, pages 121-130. <https://graphics.stanford.edu/courses/cs448a-00-fall/lucaskanade81.pdf>
- Pulkkinen, S., Nerini, D., Pérez Hortal, A.A., Velasco-Forero, C., Seed, A., Germann, U., Foresti, L. (2019). Pysteps: an open-source Python library for probabilistic precipitation nowcasting (v1.0), *Geoscientific Model Development*, 12(10), 4185-4219. <https://gmd.copernicus.org/articles/12/4185/2019/gmd-12-4185-2019.pdf>
- Pysteps User Guide (t.y.). Remarks. https://pysteps.readthedocs.io/en/v1.4/auto_examples/anvil_nowcast.html
- UCAR. (t.y.). Thunderstorm identification, tracking, analysis, and nowcasting (TITAN). <https://ral.ucar.edu/solutions/products/thunderstorm-identification-tracking-analysis-and-nowcasting-titan>
- Zawadzki, I., Morneau, J., Laprise, R. (1994). Predictability of precipitation patterns: An operational approach, *J. Appl. Meteor.*, 33, 1562-1571.
- Zeybek, M., Öztürk, K. (2022). Çevre ve Meteoroloji, *Sonçağ Akademi*, Ankara, 283-302.