



Dr. Öğr. Üyesi Abdullah Kahraman
Samsun Üniversitesi
Meteoroloji Mühendisliği Bölümü

Astronomik gözlem için meteorolojik koşulların tahmini

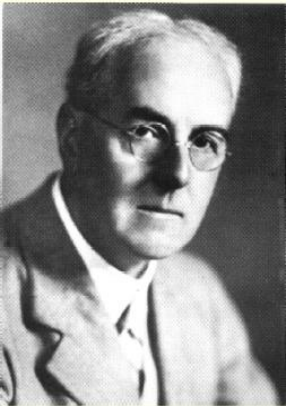
Astronomik gözlem için meteorolojik koşulların tahmini

1. Sayısal hava tahmini
2. Astronomik gözlem için meteorolojik koşullar
3. Tahmin edilebilirlik

Sayısal Hava Tahmini: Kısa Tarihçe



- 1904: Bjerknes, (hemen akabinde Leipzig) iyi analiz edilmiş başlangıç koşullarına hidrodinamik ve termodinamik denklemlerin uygulanması ile hava koşullarının tahmin edilebileceğini ileri sürdü.

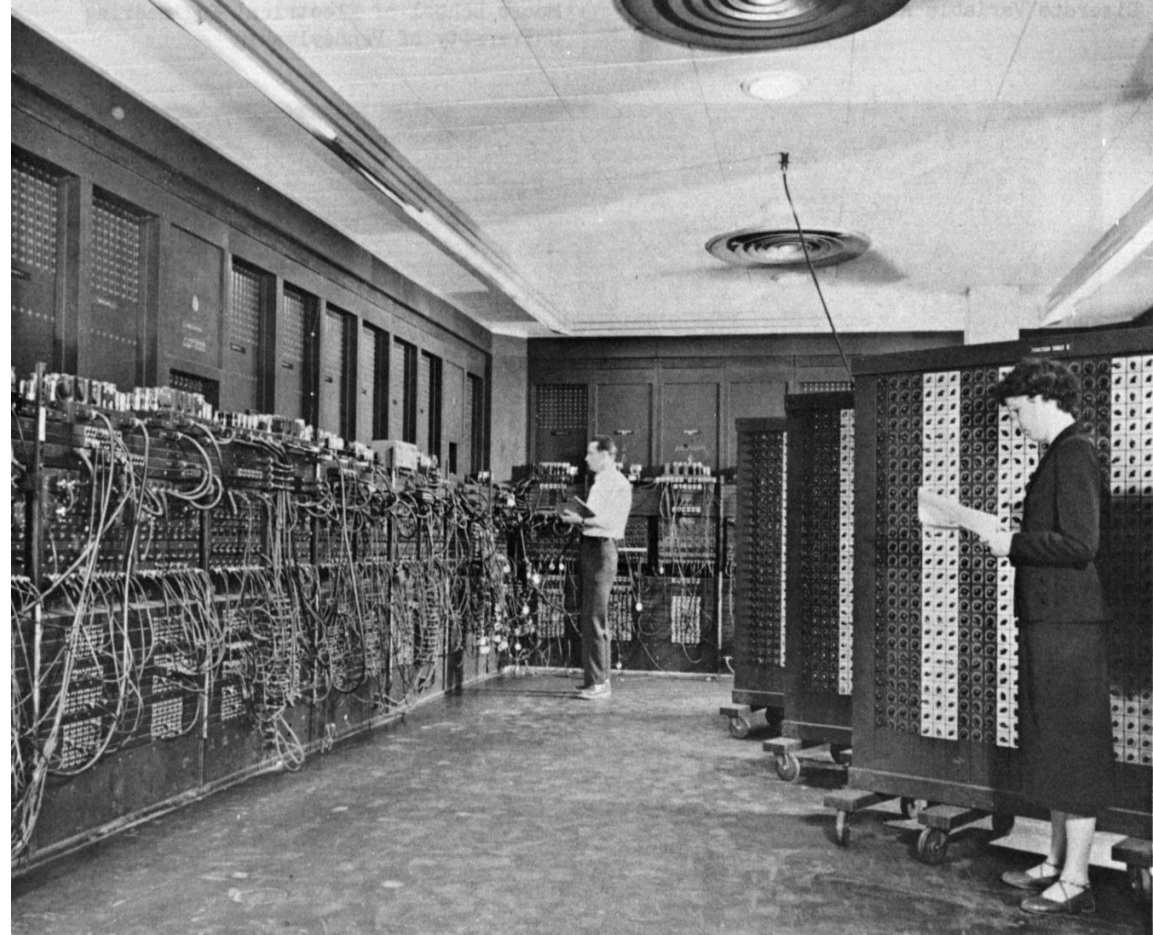


- 1922: Richardson'un elle yaptığı hesaplamalar



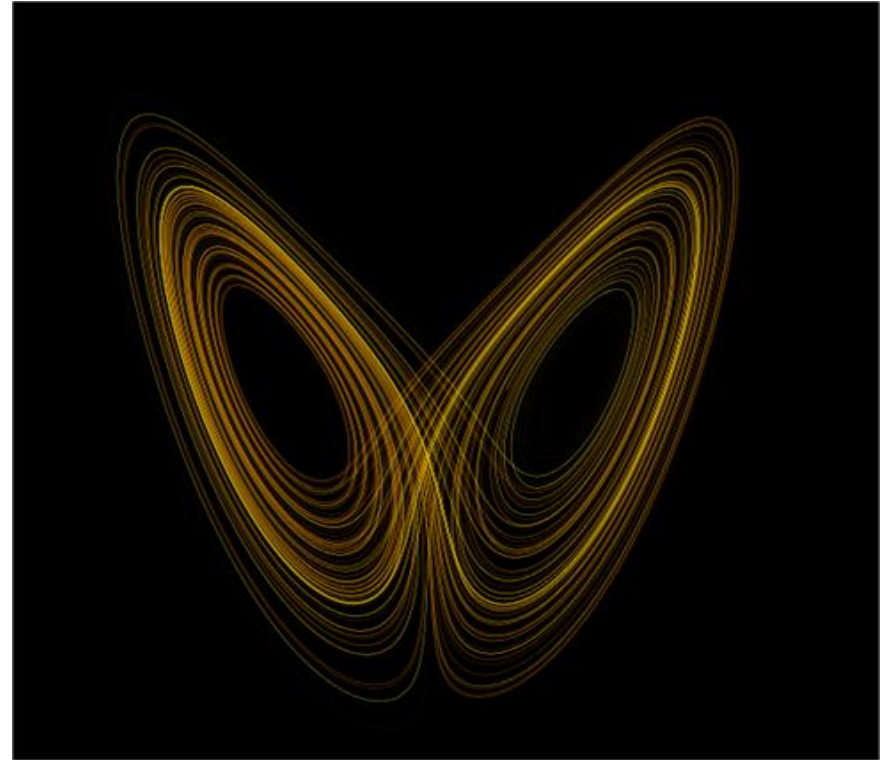
Sayısal Hava Tahmini: Kısa Tarihçe

- 1950'ler: İki teknolojik devrim; yüksek seviye gözlem istasyon ağı ve ilk elektronik bilgisayarlar.
- Sorunun doğasının, düşünöldüğönden daha karmaşık olduğunun anlaşılması.
- Troposferin orta seviyelerinde mutlak vortisitinin korunması prensibine dayalı basit modeller.



Sayısal Hava Tahmini: Kısa Tarihçe

- 1960: Dr. Edward Norton Lorenz
- Kelebek etkisi: Ensemble Model



Sayısal Hava Tahmini: Kısa Tarihçe

- İlk quasi-jeostrofik baroklinik modeller:
 - 1962: ABD
 - 1965: İngiltere
- Temel denklemlere dayalı ilk operasyonel küresel model:
 - 1966: Washington
 - 300 km grid
 - 6 seviyeli düşey çözünürlük
 - Richardson'un 45 yıl önceki modeli ile çok benzer

Sayısal Hava Tahmini: Kısa Tarihçe

- 1973: 19 ülkenin işbirliği ile ECMWF kuruldu.
- 1979: ECMWF operasyonel tahminlere başladı.
- 2019 Şubat itibariyle:
 - O₁₂₈₀ (~9 km) yatay çözünürlük
 - 0.01 hPa seviyesine kadar 137 düşey seviye
 - 10 günlük deterministik tahmin
 - 46 günlük EPS (ilk 15 gün ~18 km, sonra ~36 km)

Küresel Modeller

- ECMWF: [European Centre for Medium-Range Weather Forecasts](#) – Çok az çıktı erişime açık
- GFS [Global Forecast System](#) (AVN): [NOAA](#) – Çıktılar açık
- NOGAPS: ABD Donanması – Çıktılar kısmen erişime açık
- GEM Global Environmental Multiscale: Kanada (MSC)
- UKMET: [Met Office](#) – Çok az çıktı erişime açık
- ICON (GME): Alman Meteoroloji Teşkilatı, DWD, NWP
- ARPEGE: Fransa
- GASP (Global Analysis and Prediction): Avusturalya
- JMA: Japonya

Dinamik Model nedir?

- Atmosferik süreçleri açıklayan akışkanlar mekaniği ve termodinamik denklemler
- Bunların büyük bir bilgisayarda çalıştırılacak programlar biçimine dönüştürülmesi
- Programların çalıştırılması ve atmosferin yazılımsal temsilinin bilgisayarda evrilmesi.

Model Ölçekleri – çalıştırma alanları ve çözünürlük

- **Küresel Modeller** - Gezegenin tamamını kapsar, büyük ölçekli atmosferik süreçleri yansıtır.
- **Sınırlı Alanlı sinoptik ve orta ölçekli modeller** – Kıtalarından büyük şehirlere kadar geniş bir alan ölçeğine sahip olabilirler, daha küçük ölçekli atmosferik süreçleri simüle ederler.
- **Hesaplama akışkan dinamiği (CFD) modelleri** – Binalar, cadde kanyonları, uçaklar etrafındaki akışı vs çözerler.

Süreçlerin/modellerin ölçekleri

Küresel

- Uzun Dalgalar
- El Nino

Sinoptik

- Jet akımları
- Yüksek ve alçak basınç merkezleri
- Oluk ve sırtlar
- Cepheler

Orta

- Gökgürültülü Fırtınalar
- Konvektif Kompleksler
- Tropikal Fırtınalar
- Kara/Deniz meltemleri
- Dağ/Vadi Meltemleri
- Topoğrafyaya bağlı şiddetli rüzgarlar
- Soğuk hava blokajı
- Göl-etkisi ile oluşan kar bantları

Şehir

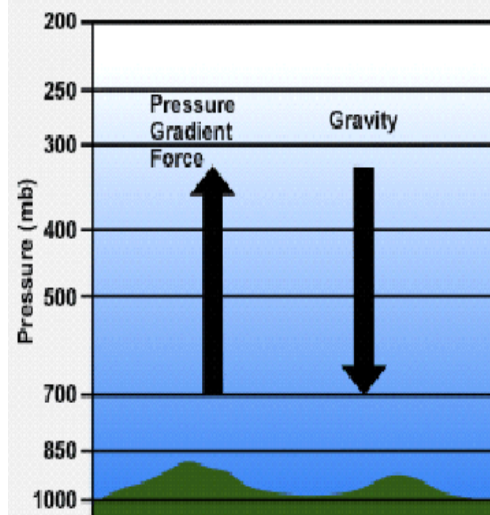
- Cadde-kanyon akışları
- Binalar etrafında oluşan kanallar
- Bina cephelerinde rüzgar ve ısınma nedeniyle düşey taşınım
- Metro tünellerindeki akışlar

Hidrostatik & Nonhidrostatik

Difference in height
between upper & lower
isobaric surfaces

$$\frac{\partial z}{\partial p} = - \frac{RT}{\rho g}$$

|
Mean temperature
within a layer



change in
vertical motion
with respect to time

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \text{advection terms} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p'}{\partial z} + gB - gq$$

P' is the pressure departure from the large-scale hydrostatic balance

ρ_0 is the density of the environment

g is gravity

B is buoyancy

$-gq$ is precipitation drag

= advection terms -
nonhydrostatic vertical
pressure gradient
force in a grid box

+
buoyancy as it
deviates from the
large-scale average

- precipitation drag

Temel Denklemler

- Momentumun korunumu (Newton'un 2. kanunu)
 - 3-boyutlu rüzgarın ivmesi için 3 denklem ($F = Ma$)
- Kütlenin korunumu
 - Havanın korunumu (kütle sürekliliği) için 1 denklem
 - Suyun korunumu için 1 denklem
- Enerjinin Korunumu
 - Termodinamiğin ilk kanunu için 1 denklem
- p , V , ve T arasındaki ilişki
 - 1 hal denklemi (ideal gaz kanunu)

«Denklemleri çözmek»ten kastımız nedir?

- Denklemler atmosferin zamanla nasıl değiştiğini tanımlar.
- Örneğin, bir denklem:

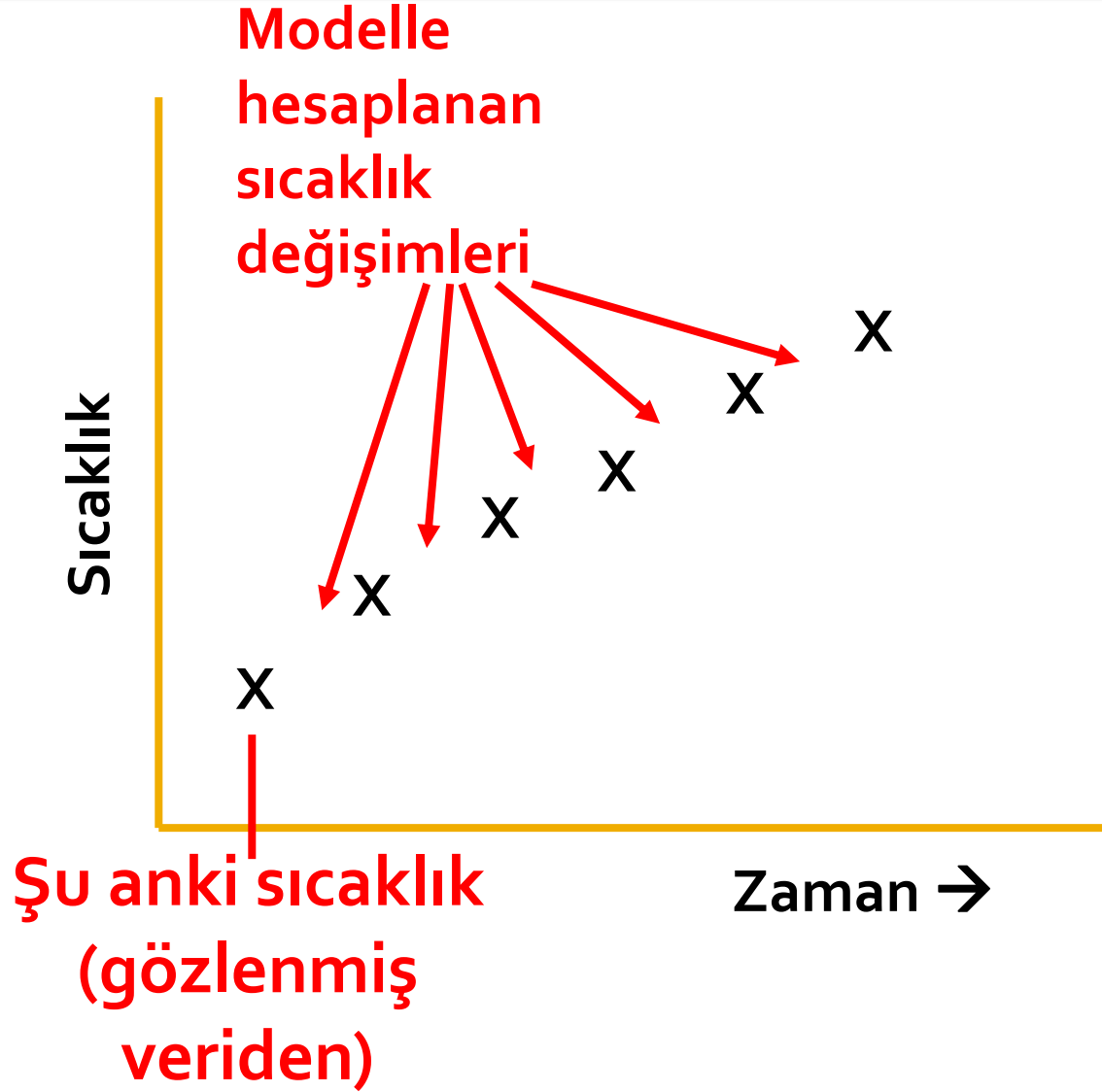
Atmosferdeki tek bir noktada

Sıcaklıktaki değişim =

Zaman

güneş enerjisi ile + IR (kazanılan) +
IR (kaybedilen) + kondüksiyondan
+ konveksiyondan +
buharlaşmadan + yoğuşmadan +
adveksiyon ile

Model nasıl tahmin yapıyor?



- Bu denklem, yerden atmosfer tepesi yakınlarına kadar atmosferi kapsayan noktalardan (ızgaradan) oluşmuş üç boyutlu bir matriste çözülmektedir.
- Izgaranın iki boyutlu bir kesiti şöyle olabilir...

100 milibar

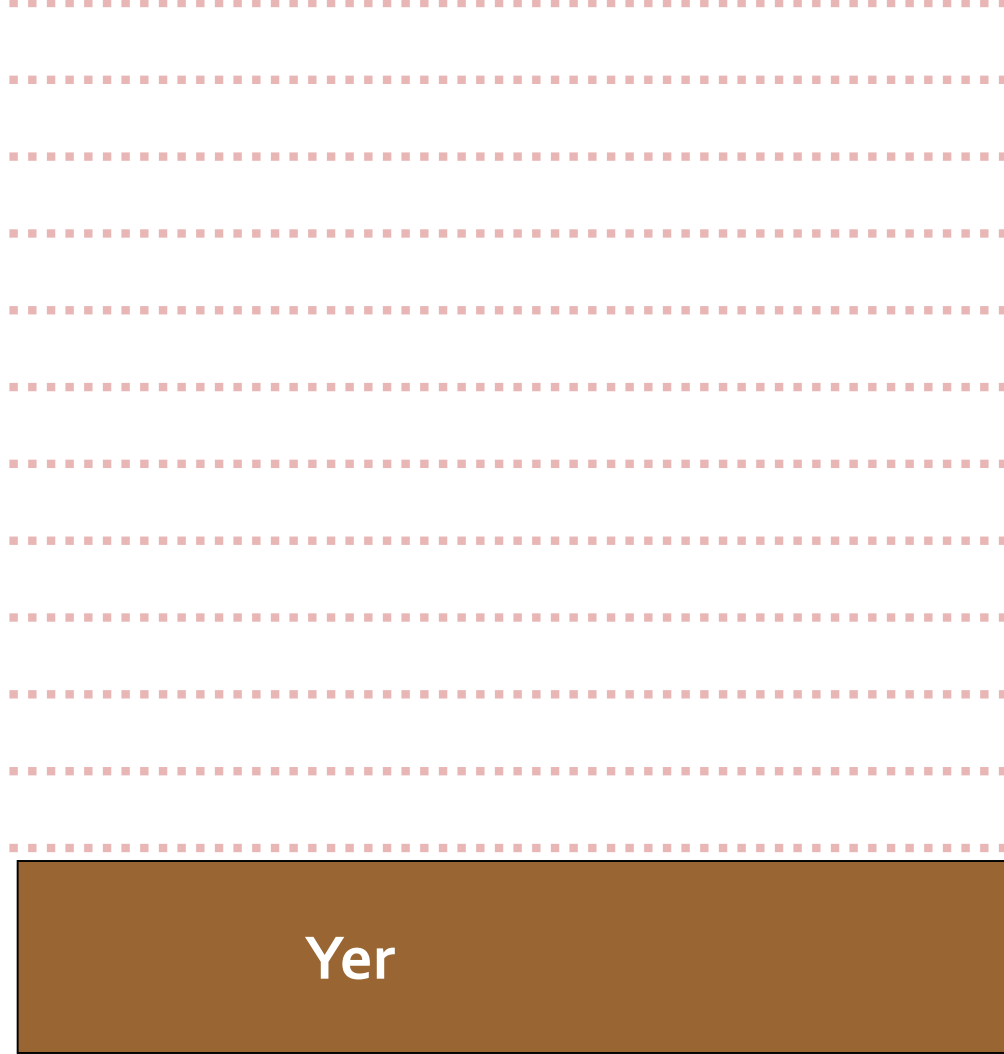
Hesaplama Seviyeleri

Rakım →

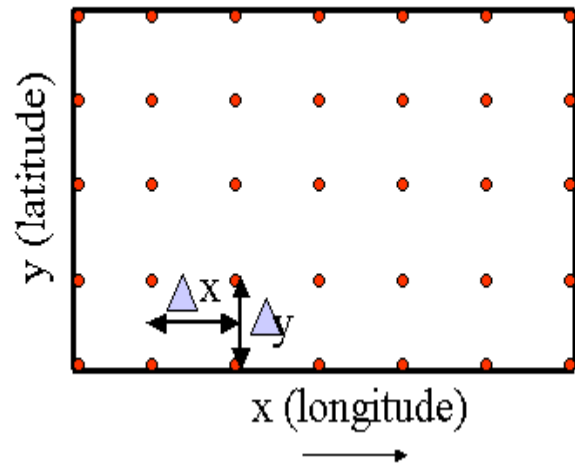
Grid noktaları

Yer

Doğu-batı eksenini →

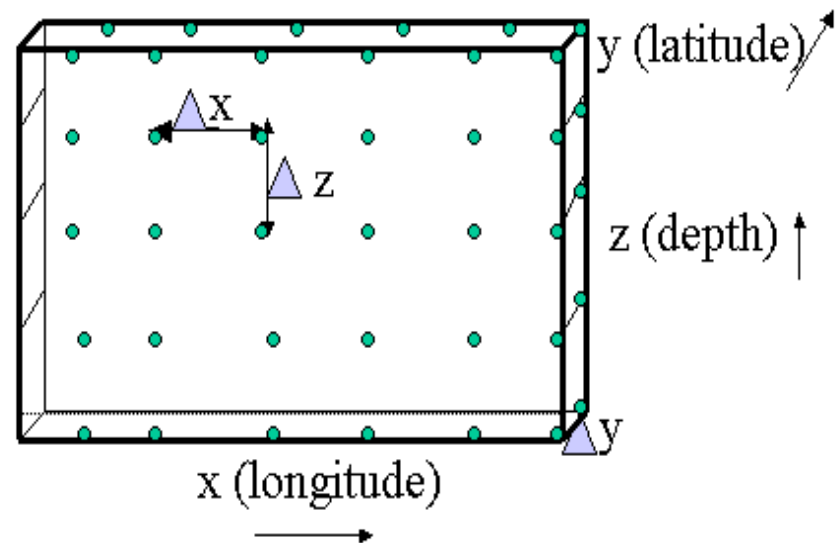


Grid TIPLERİ

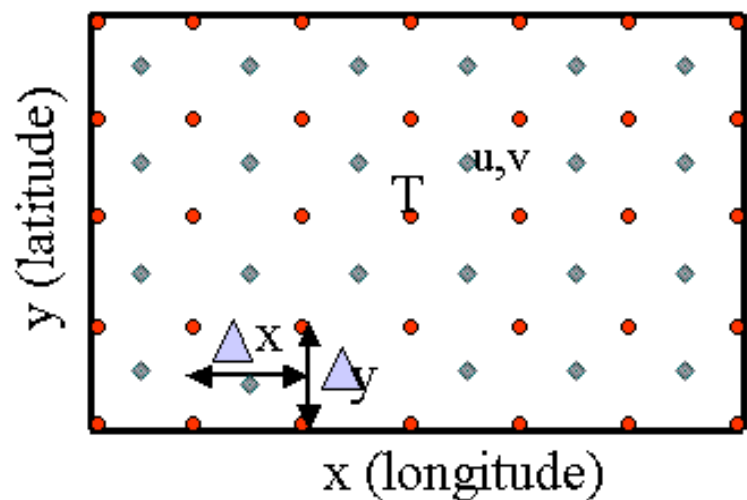


Basit grid sistemi

3 boyutta basit grid sistemi



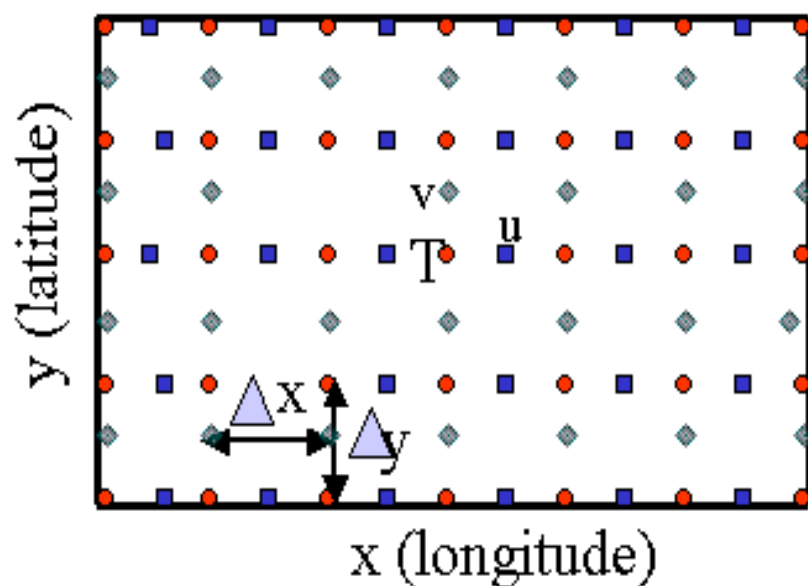
“B” Grid



MM5

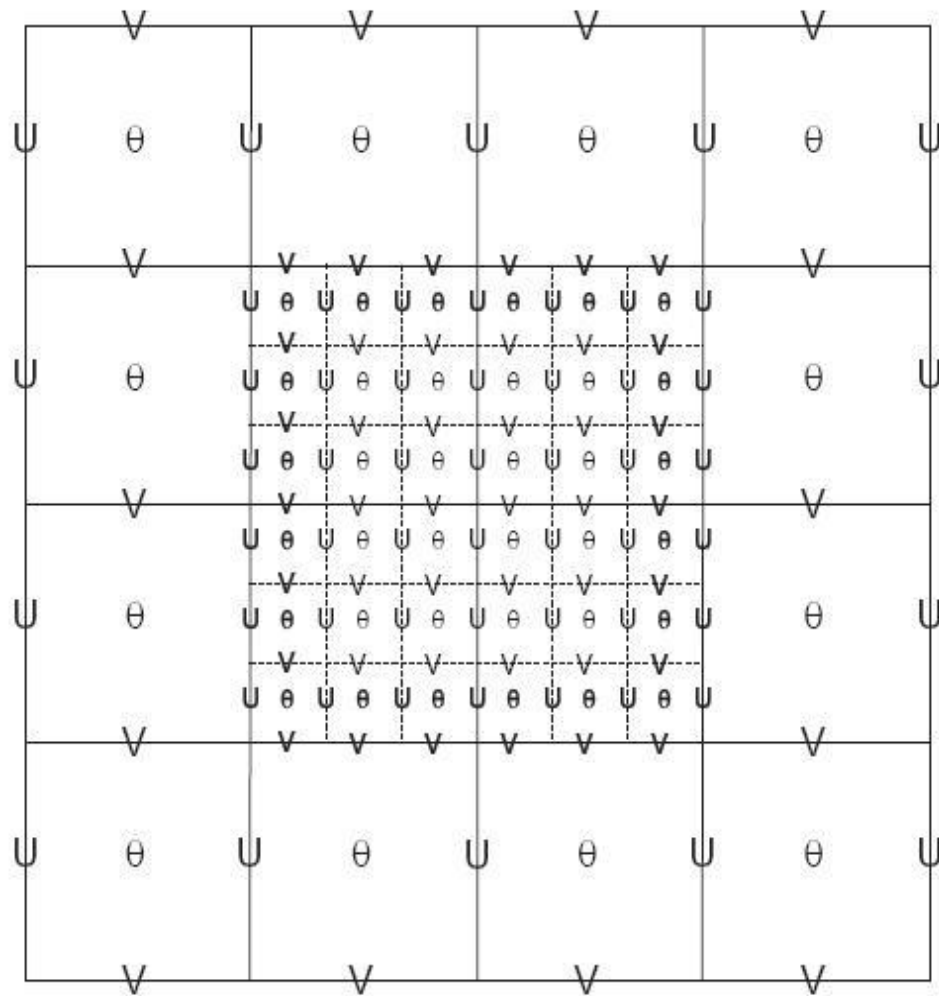
- Temperature locations
- ◆ u and v locations

“C” Grid



WRF (ARW)

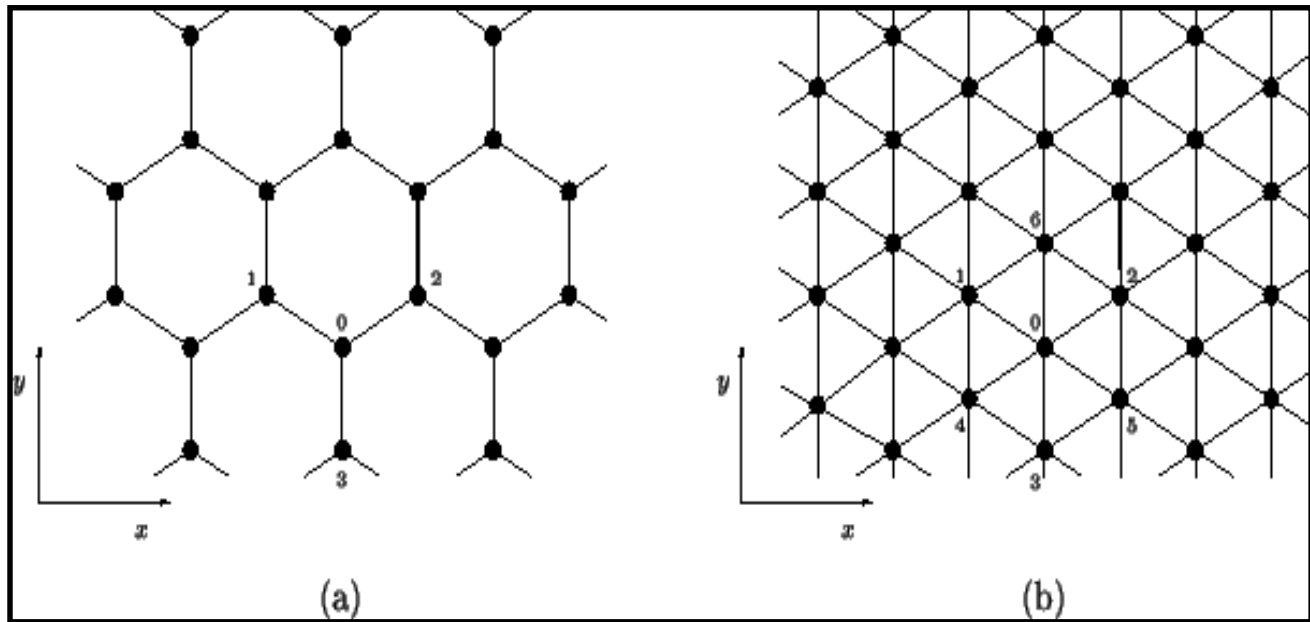
- Temperature locations
- ◆ u locations
- v locations



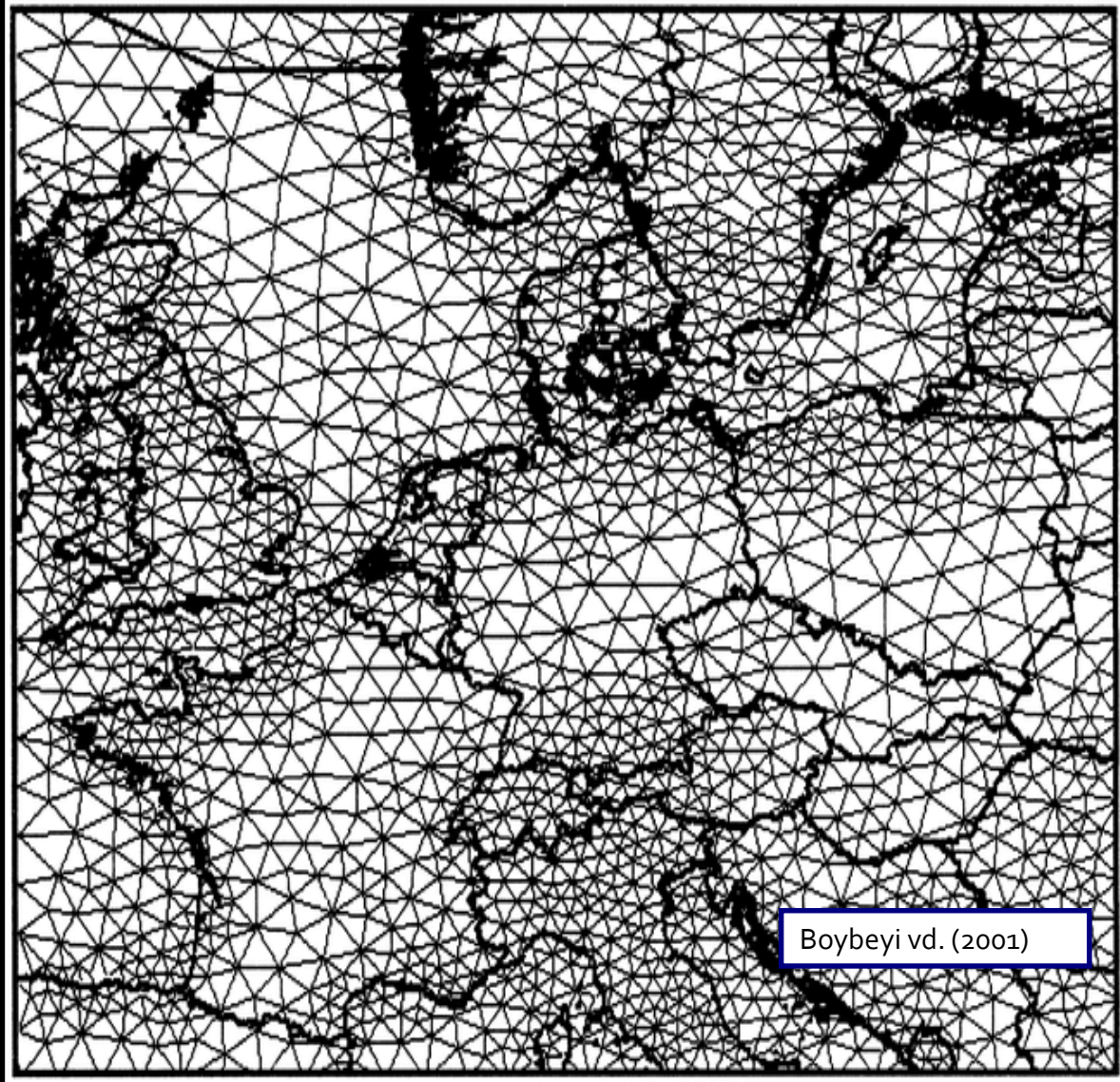
Arakawa-C grid staggering for a portion of a parent domain and an imbedded nest domain with a 3:1 grid size ratio. The solid lines denote coarse grid cell boundaries, and the dashed lines are the boundaries for each fine grid cell. The horizontal components of velocity (“U” and “V”) are defined along the normal cell face, and the thermodynamic variables (“ θ ”) are defined at the center of the grid cell (each square). The bold typeface variables along the interface between the coarse and the fine grid define the locations where the specified lateral boundaries for the nest are in effect.

Altıgen şekilde

Üçgen şekilde

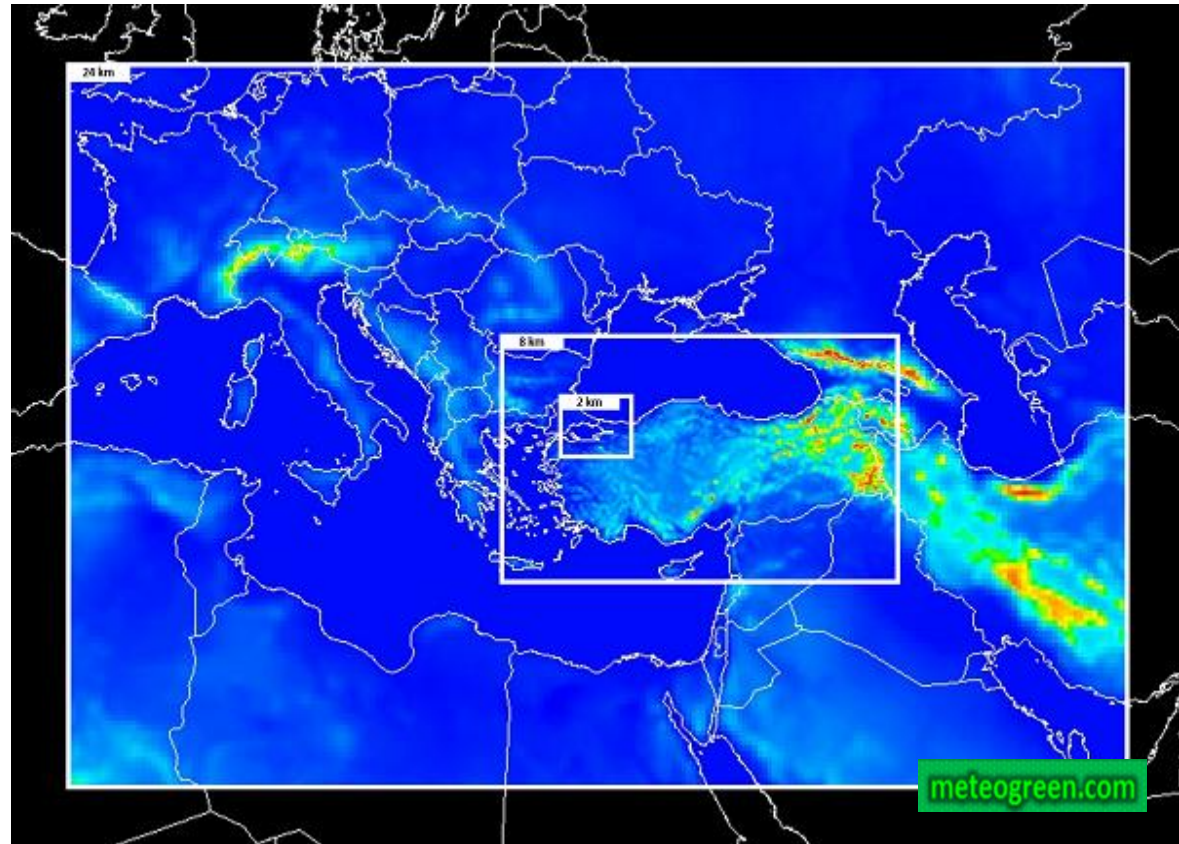
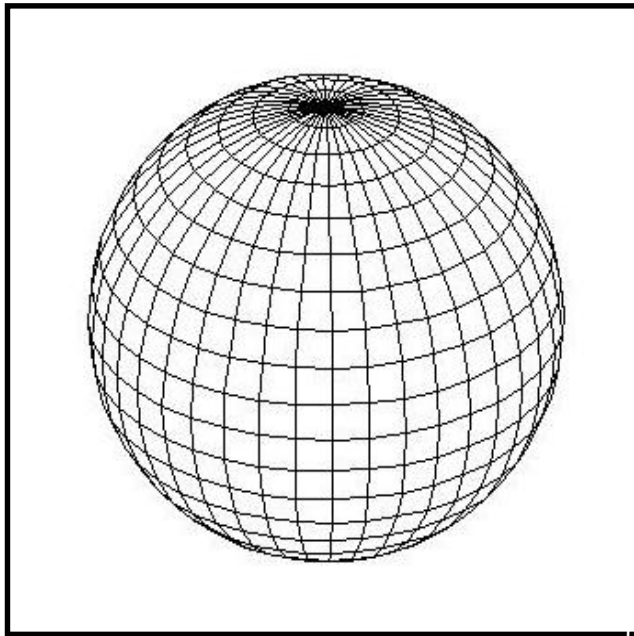


(yapısız) Omega
modeli



Domainler

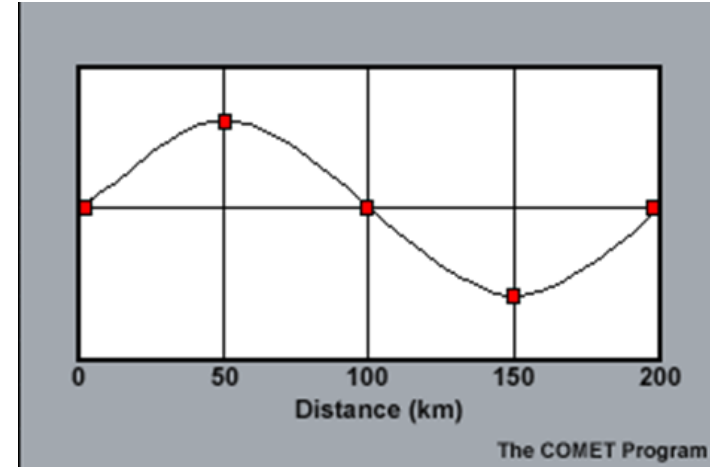
Küresel



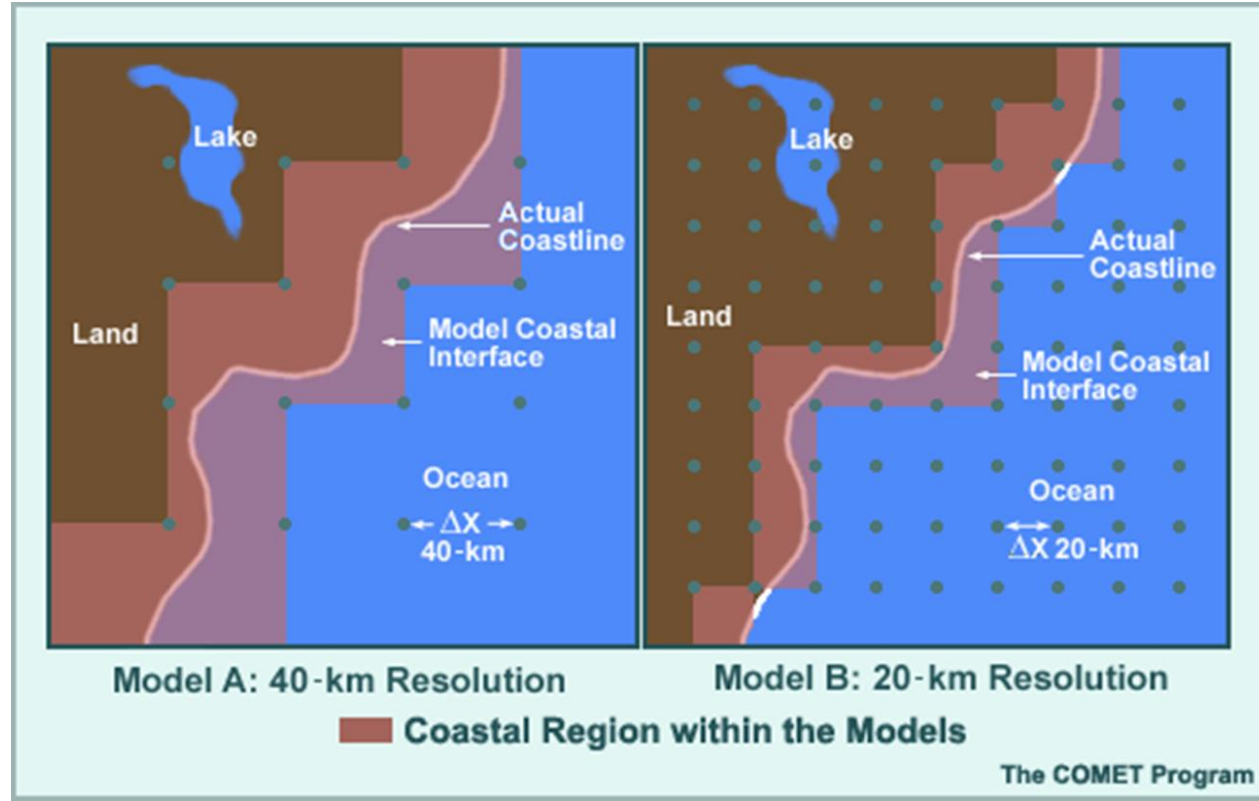
Önemli bir konsept



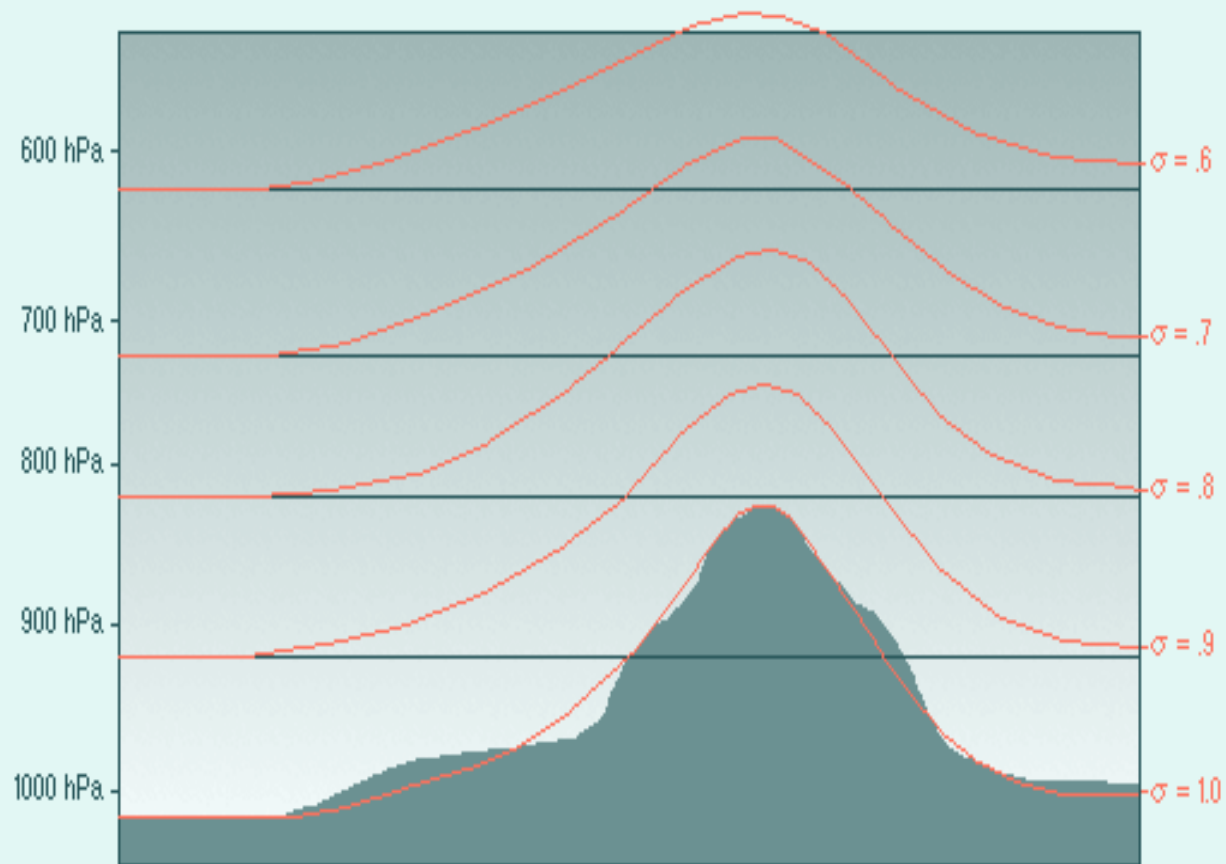
X



Küçük ölçekli süreçler küçük grid aralıklarına ihtiyaç duyar – her bir dalga boyu için 5-10 nokta



Düŕey koordinat örneği



Bir diferansiyel denklem örneği – rüzgarın doğu-batı doğrultulu bileşeninini değişim oranı

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - w \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + fv + F r_x$$

u = doğu-batı doğrultulu rüzgar bileşeni, doğuya doğru pozitif

v = kuzey-güney doğrultulu rüzgar bileşeni, kuzeye doğru pozitif

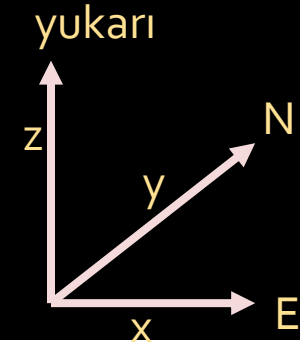
w = düşey rüzgar bileşeni, yukarıya doğru pozitif

P = basınç

ρ = yoğunluk

f = Koriolis parametresi ($2 \times$ dünyanın rotasyonel frekansı \times enlem derecesinin sinüsü)

F = x yönündeki sürtünme kuvveti



Temel denklemler

- Bir momentum denklem örneği:
sadece basınç gradyan kuvveti ile
ivmelenen tek boyutlu rüzgar

$$\frac{Du}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}$$

Bilgisayarlar bu basit denklemi
dahi analitik olarak çözemezler.

- Sorun: bilgisayarlar aritmetik hesap yapabilirler, fakat türev/integral alamazlar.

✓ + − × ÷

✗ $\frac{d(f)}{dx}$ $\int (f)dx$

- Çözüm: Sayısal yöntemler

Denklemlerin entegrasyonu

*Nonlineer
adveksiyon*

$$\frac{\partial U}{\partial t} = U \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)$$

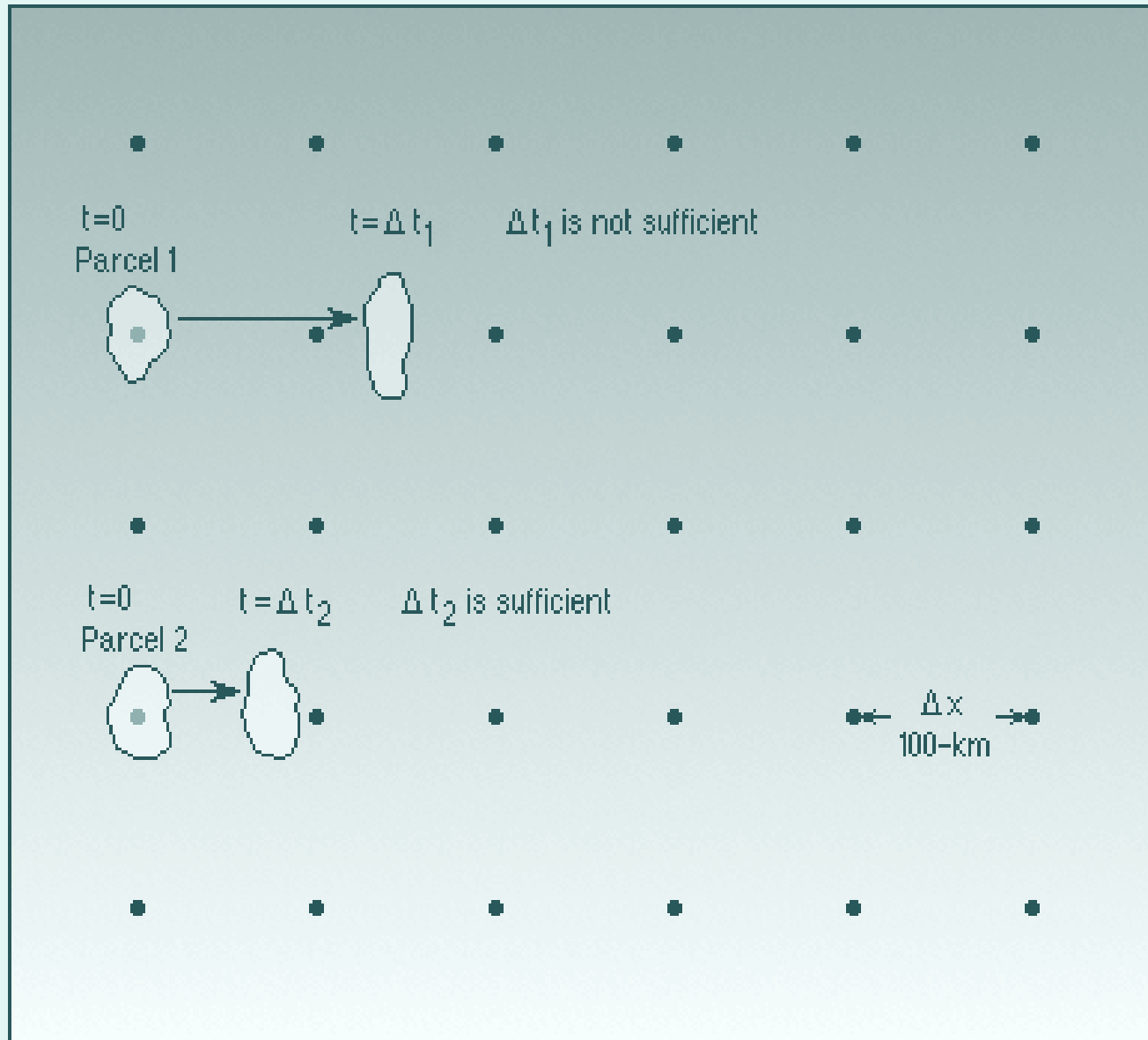
$$\frac{U_i^{k+1} - U_i^k}{\Delta t} = U_i^k \left(\frac{U_{i+1}^k - U_{i-1}^k}{2\Delta x} \right)$$

*Zaman
adımı*

$$\Delta t < \frac{\Delta x}{U_i^k}$$

Zaman adımı, beklenen rüzgar ve grid aralığına göre belirlenmeli.

$$\text{Time Step Criterion } \Delta t < \frac{\Delta x}{c}$$



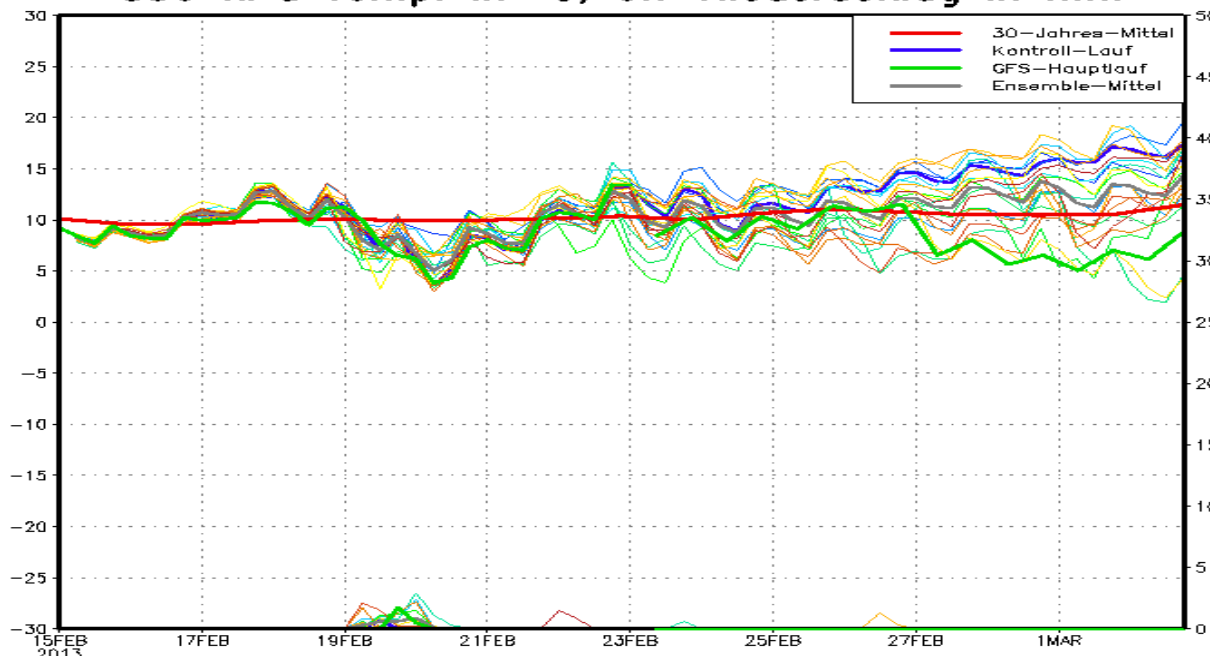
100-km Model Grid

Modellemede hata kaynakları

- Sayısal yöntem uygulanması
- Fizik (radyasyon, türbülans, nem süreçleri)
- Başlangıç koşulları – atmosferin halihazırdaki durumunun belirlen(eme)mesi
- Yanal sınır koşulları – kullanılan alanın sınırlarında atmosferin durumunun belirlenmesi
- Aşağı sınır koşulları – dünya yüzeyindeki koşullar

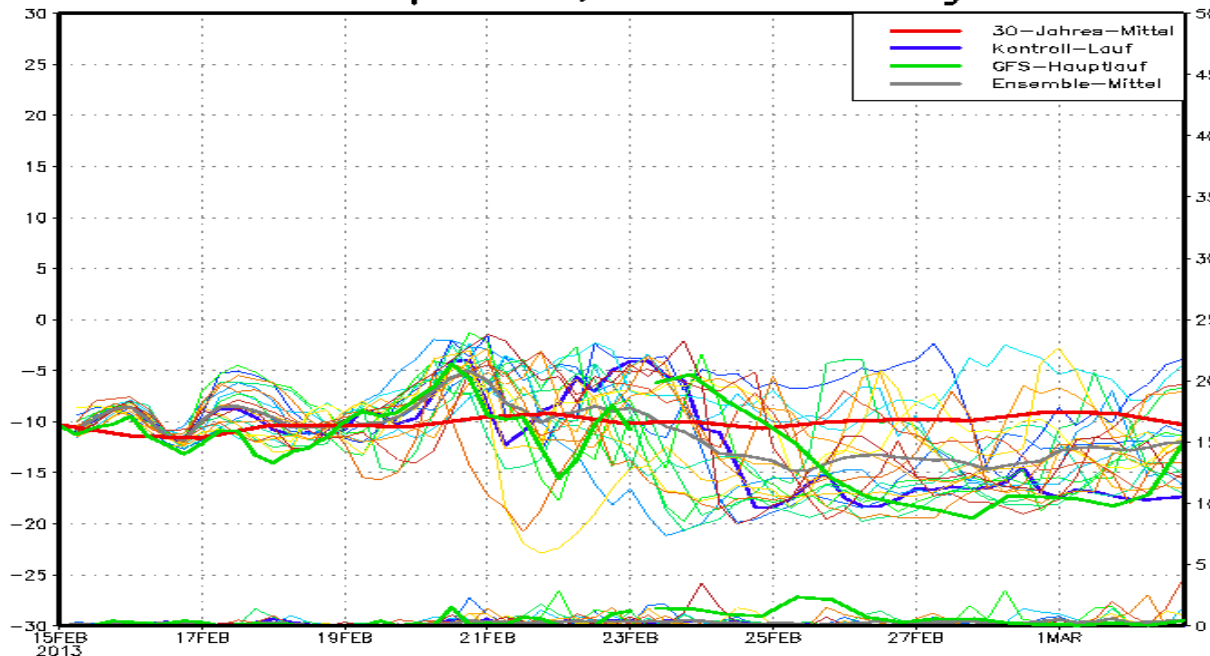
Position Lat: 31 Lon: -4 Fri, 15 FEB 2013 00Z
850 hPa Temp. in °C, 6h-Niederschlag in mm

P0
P1
P2
P3
P4
P5
P6
P7
P8
P9
P10
P11
P12
P13
P14
P15
P16
P17
P18
P19
P20



Daten: Ensembles des GFS von NCEP Wetterzentrale
850 hPa Temp. in °C, 6h-Niederschlag in mm

P0
P1
P2
P3
P4
P5
P6
P7
P8
P9
P10
P11
P12
P13
P14
P15
P16
P17
P18
P19
P20

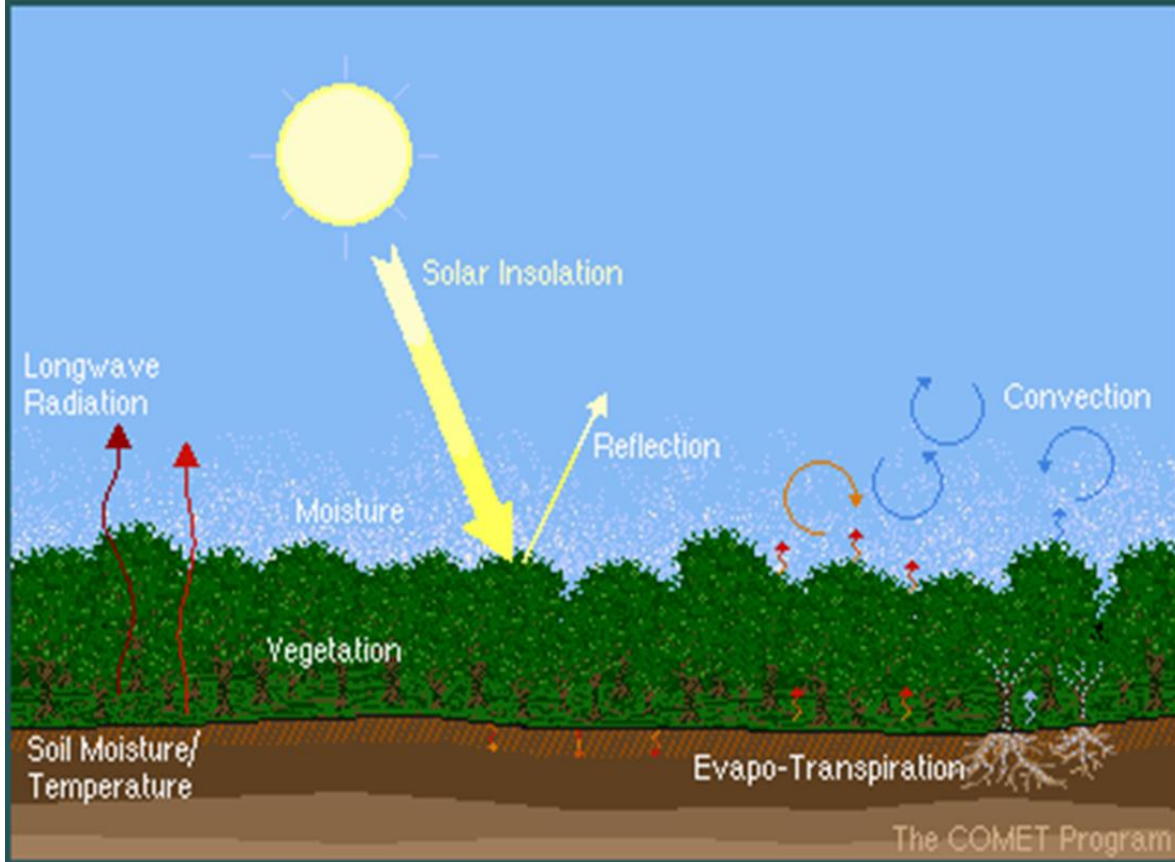


Daten: Ensembles des GFS von NCEP Wetterzentrale

Hata
artışına
örnek

Parametrizasyonlar

- Parametrizasyonlar çok küçük ölçekte, çok karmaşık, ya da çok az anlaşılmış olduğundan doğrudan modelde temsil edilemeyen fiziksel süreçlerin etkilerini modelin içine katarlar.



Parametrizasyonlar

- WRF Modelindeki parametrizasyonlar şunları içerir:
 - Kümülüs konveksiyonu
 - Bulut ve yağış mikrofiziği
 - Uzun ve kısa dalga boylu radyasyon
 - Türbülans ve difüzyon
 - Atmosferik sınır tabaka ve yüzey tabakası
 - Yer yüzeyi ile etkileşim
- WRF modelindeki en büyük gelişmelerin bazıları parametrizasyonlarda olacaktır.

PARAMETRİZASYON BİLEŞENLERİNİN ETKİLEŞİMİ



Astronomik gözlem için meteorolojik koşullar

- Bulutluluk (bulut cinsi, taban yüksekliği, kapalılığı, kalınlığı, fazı)
- Türbülanslı tabakalar
- Jet rüzgarları
- Aşağı seviye nem ve aerosol koşulları

Bulutluluk

- Modeller bulutları simüle etmez. Bulut parametrize edilen bir yapıdır.
- Model çıktısında bulut doğrudan yer almaz.
- Mikrofizik parametrizasyonu çıktılarından her bir grid noktasında yoğunlaşmış su damlacıkları ve buz kristalleri vb parametreler değerlendirilerek belli bir yerdeki bulut taban yüksekliği, kapalılığı, bulut cinsi ve fazı için bir yaklaşım geliştirilebilir.

Türbülanslı tabakalar

- Düşey sıcaklık ve nem profili, atmosferdeki kararlılığı/kararsızlığı/koşullu kararsızlığı belirler.
- Türbülanslı tabakalar özellikle statik kararsızlık ve koşullu kararsızlık durumunda oluşur.
- Dağ dalgaları, farklı topografik etkiler (kanal etkisi vb) türbülans yaratan farklı etkenlerdir.
- Model çıktılarından T , T_d , u , v , w kullanılarak çeşitli yaklaşımlarla türbülanslı tabakalar belirlenebilir.

Statik Kararlılık

Yukarı ya da aşağı pertürbe edilen parsel hareketine devam eder mi?

• «Lapse rate»e göre değişir:

γ = gözlenmiş lapse rate ($-\partial T_{env}/\partial z$)

Γ_d = kuru adyabatik l.r. ($9.8 \text{ }^\circ\text{K/km}$)

Γ_m = yaş adyabatik l.r. (değişken)



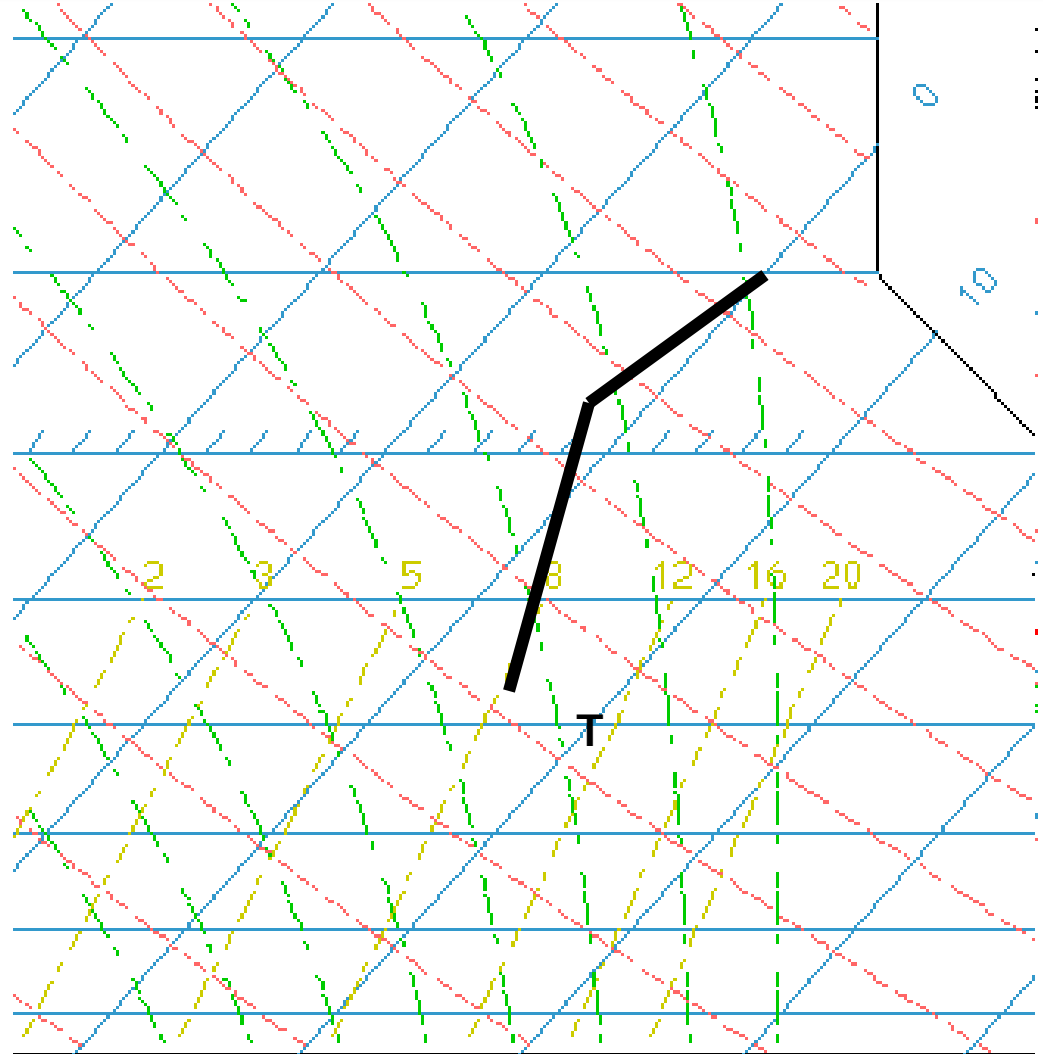
Referans lapse rate

Mutlak kararlı

$$\gamma < \Gamma_m$$

θ_e^* yükseklikle artar

- Yer değiştirmiş parseller orijinal konumlarına geri dönerler.
- Örnekler:
 - Tropopoz
 - Gece enverziyonu
 - Yukarı seviye enverziyonu

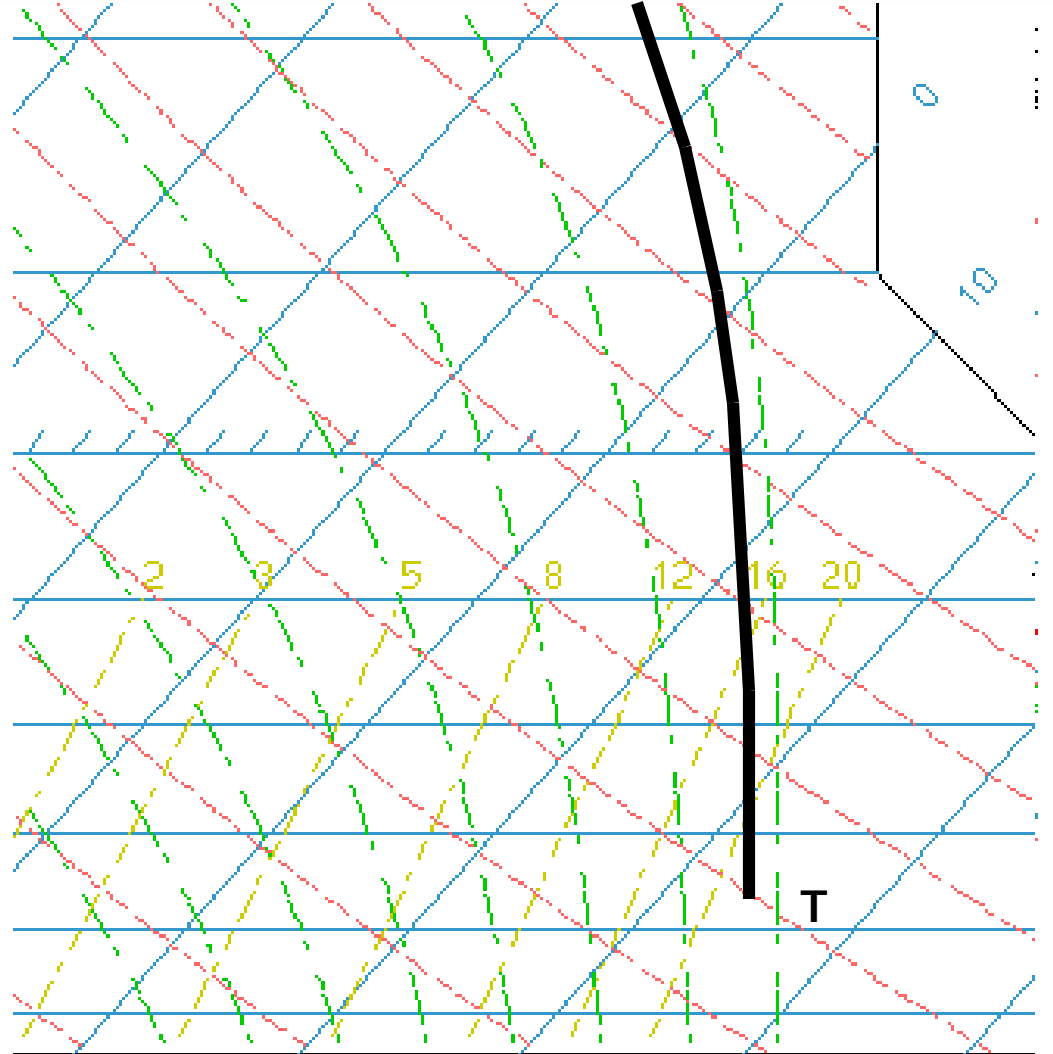


Doymuş nötr

$$\gamma = \Gamma_m$$

θ_e^* sabit

- Yer değiştiren doymuş parseller ivmesizdir (nötr).
- Yer değiştiren doymamış parseller orijinal konumuna geri döner (kararlı)
- Örnekler:
 - Konveksiyon sonrası çevre koşulları

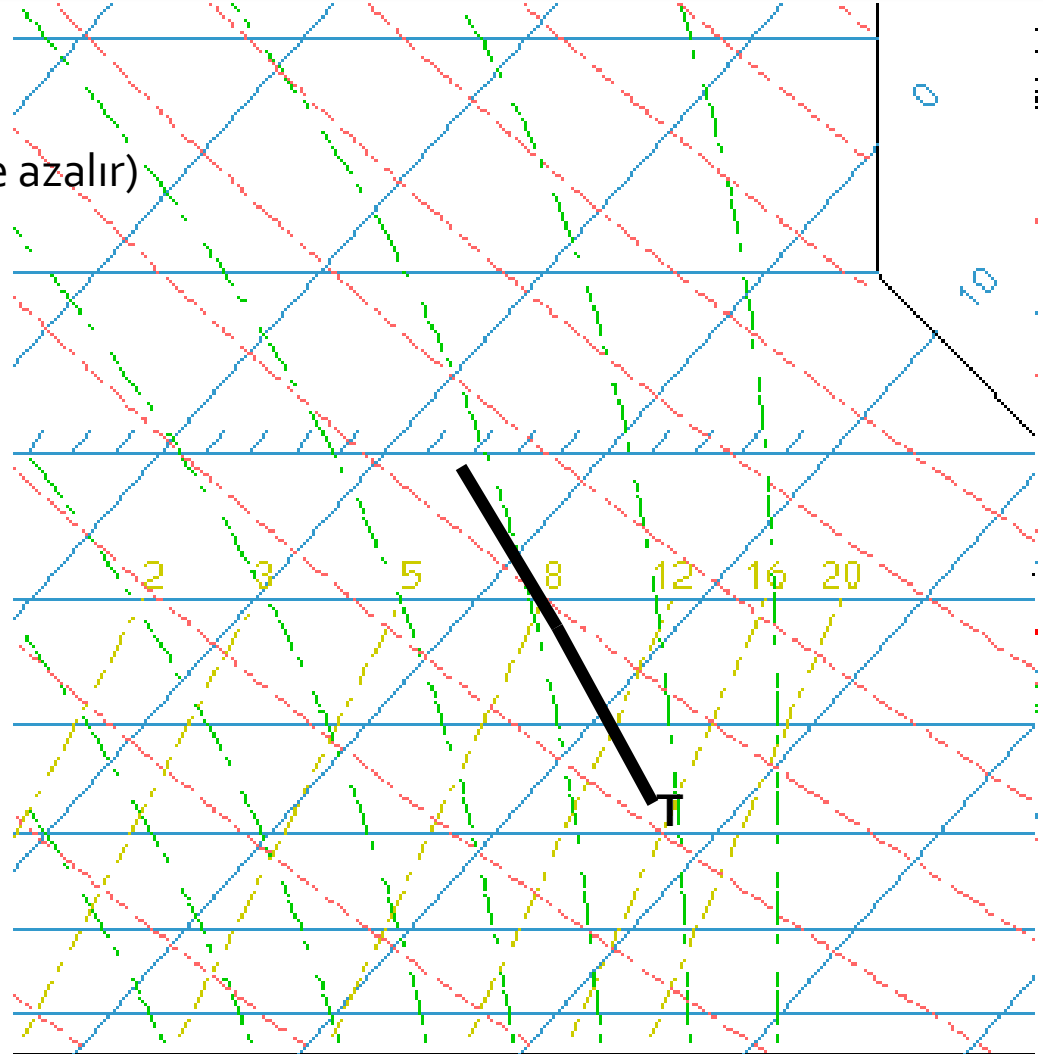


Koşullu kararsız

$$\Gamma_d > \gamma > \Gamma_m$$

(θ yükseklikle artar; θ_e^* yükseklikle azalır)

- Yer değiştiren doymuş parseller kararsızdır.
- Yer değiştiren doymamış parseller kararlıdır.
- “Koşul” = Sondajda bir noktadan bir parsel LFC'ye erişebilirse (i.e., ve doymuş olursa)
- Örnek:
 - Cb oluşumu öncesi, vb

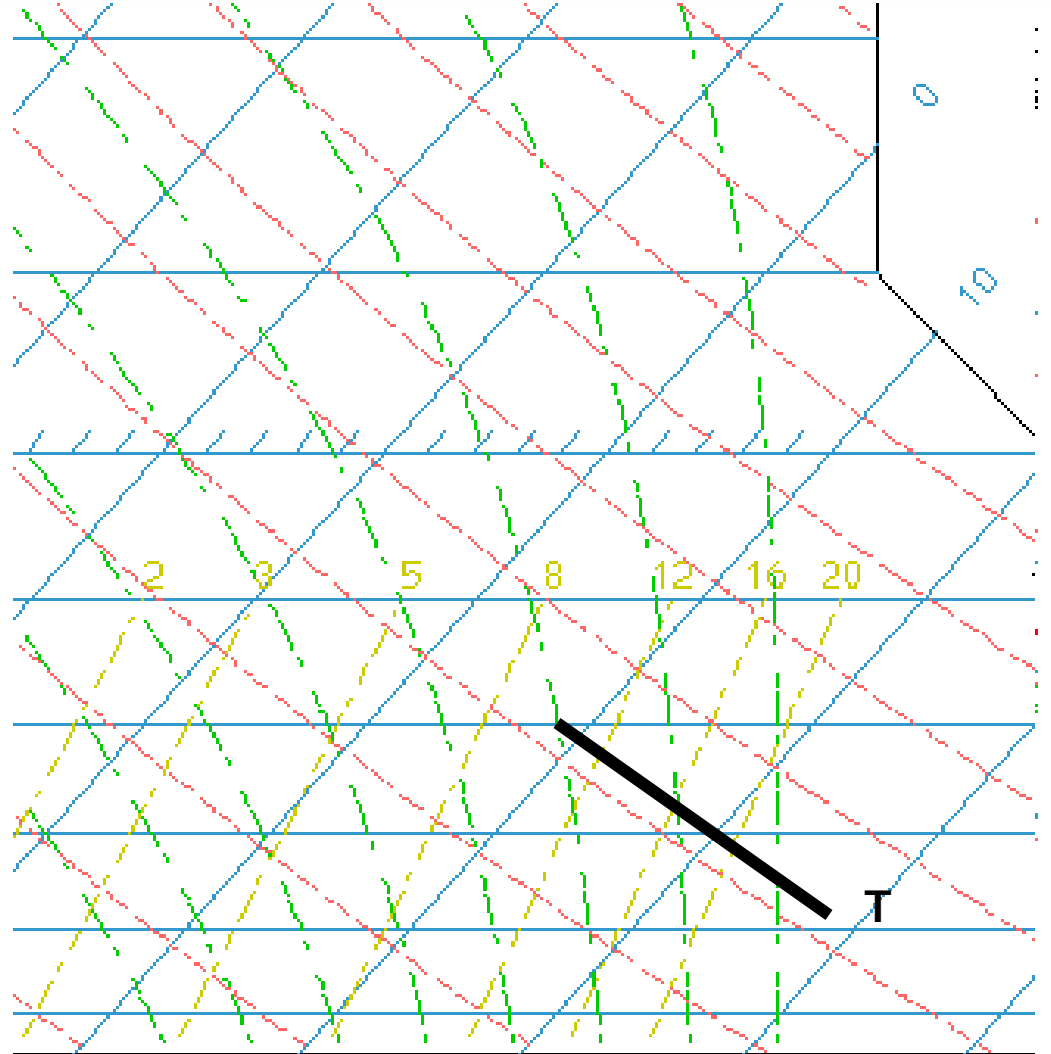


Kuru nötr

$$\gamma = \Gamma_d$$

θ Yükseklikle sabit

- Yer değiştiren doymamış parseller ivmesizdir.
- Yer değiştiren doymuş parseller kararsızdır.
- Örnekler:
 - Karışım tabakaları (sınır tabaka, yükselmiş karışım tabakaları)

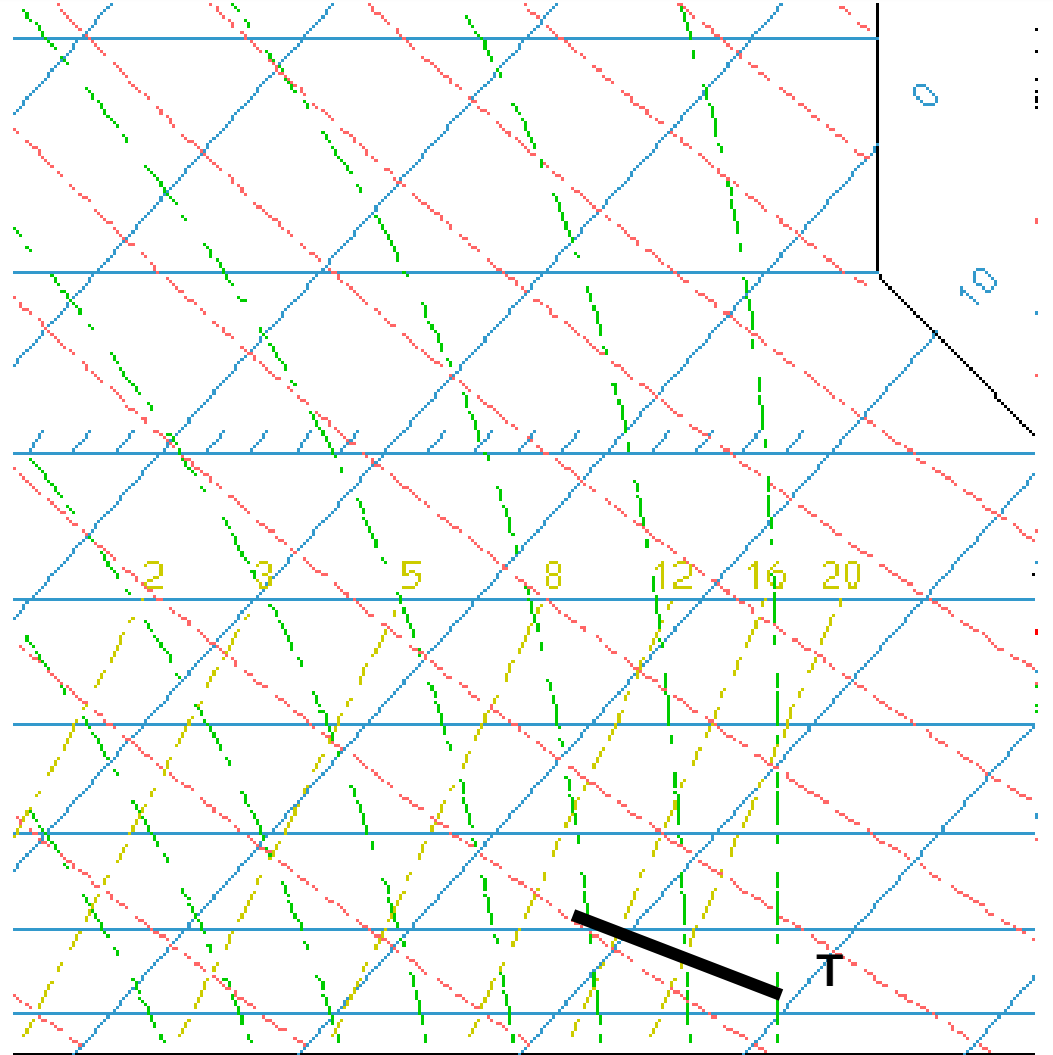


Mutlak kararsız

$$\gamma > \Gamma_d$$

θ Yükseklikle azalır

- Yer değiştiren doymuş/doymamış parseller orijinal konumundan uzağa yönlendirir.
- Örnekler:
 - "Süperadyabatik tabaka" güneşli bir günde yer üzerinde.

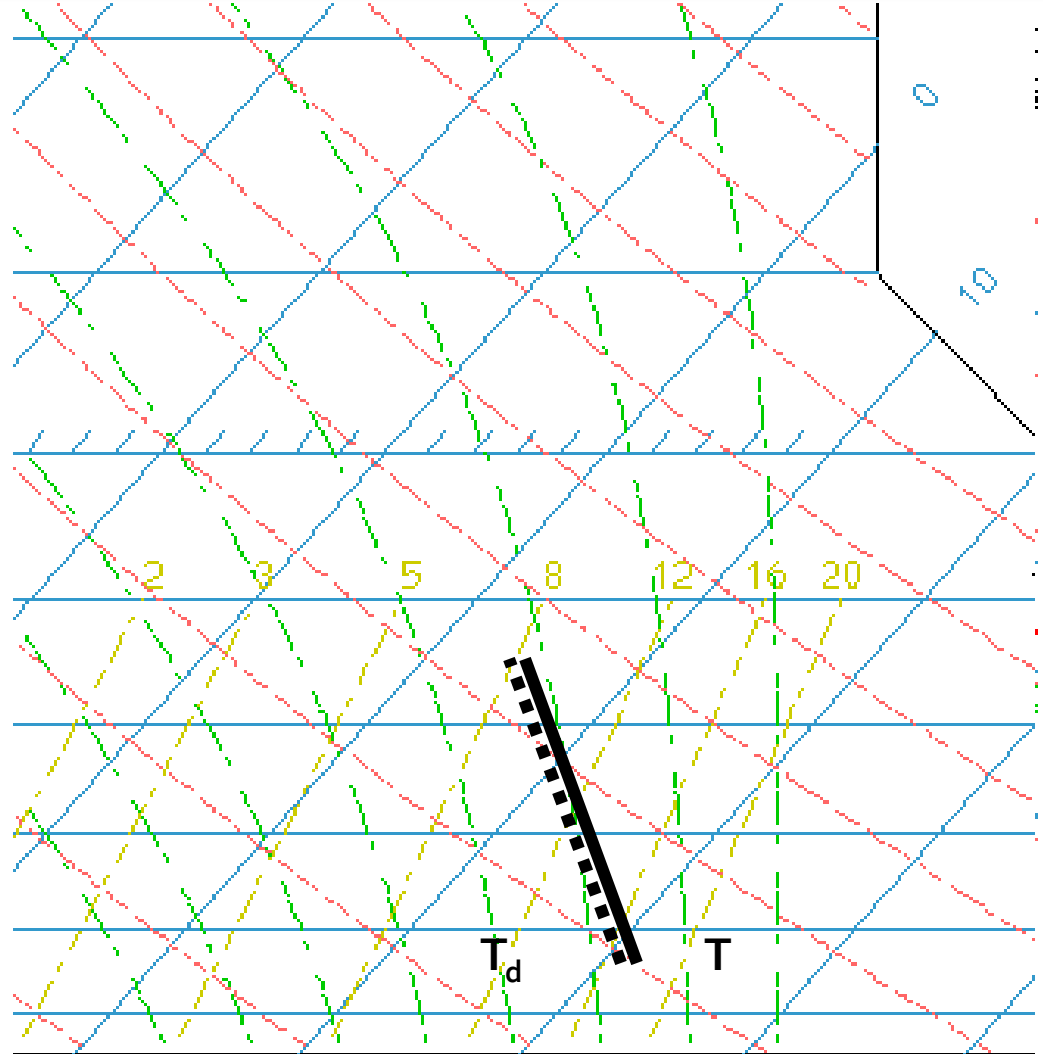


Doymuş mutlak kararsız

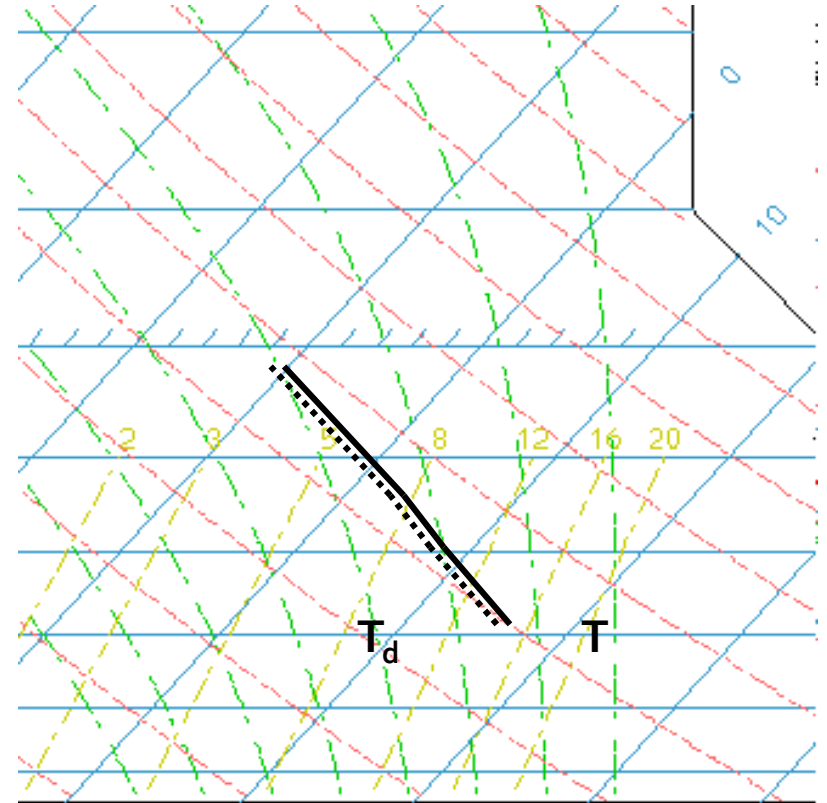
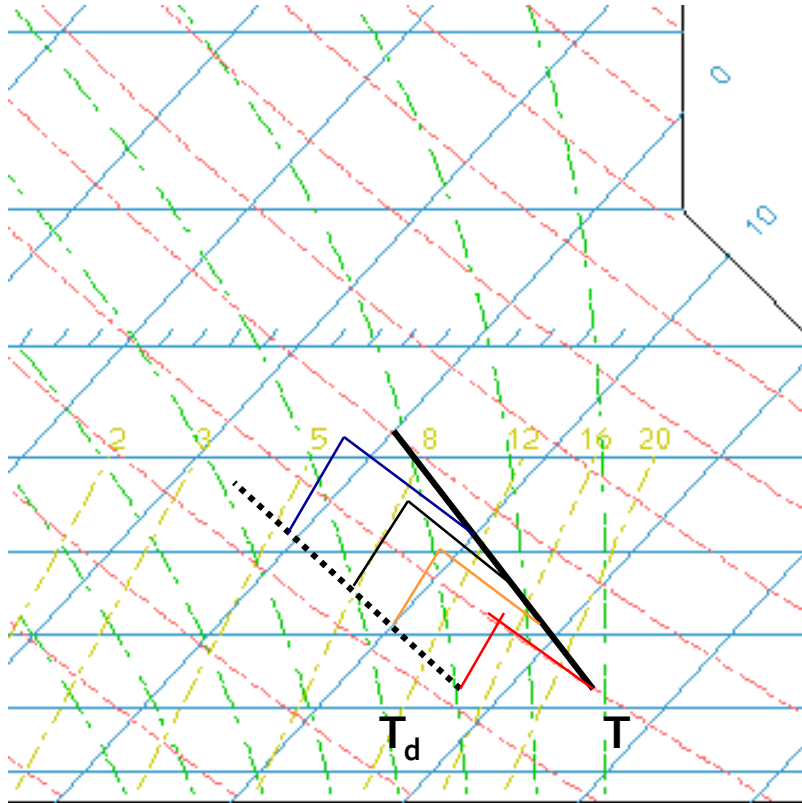
$$\gamma_m > \Gamma_m$$

(θ_e^* yükseklikle azalır)

- Koşullu kararsızlık, ancak koşul çoktan sağlanmış durumda.
- Örnekler:
MAUL

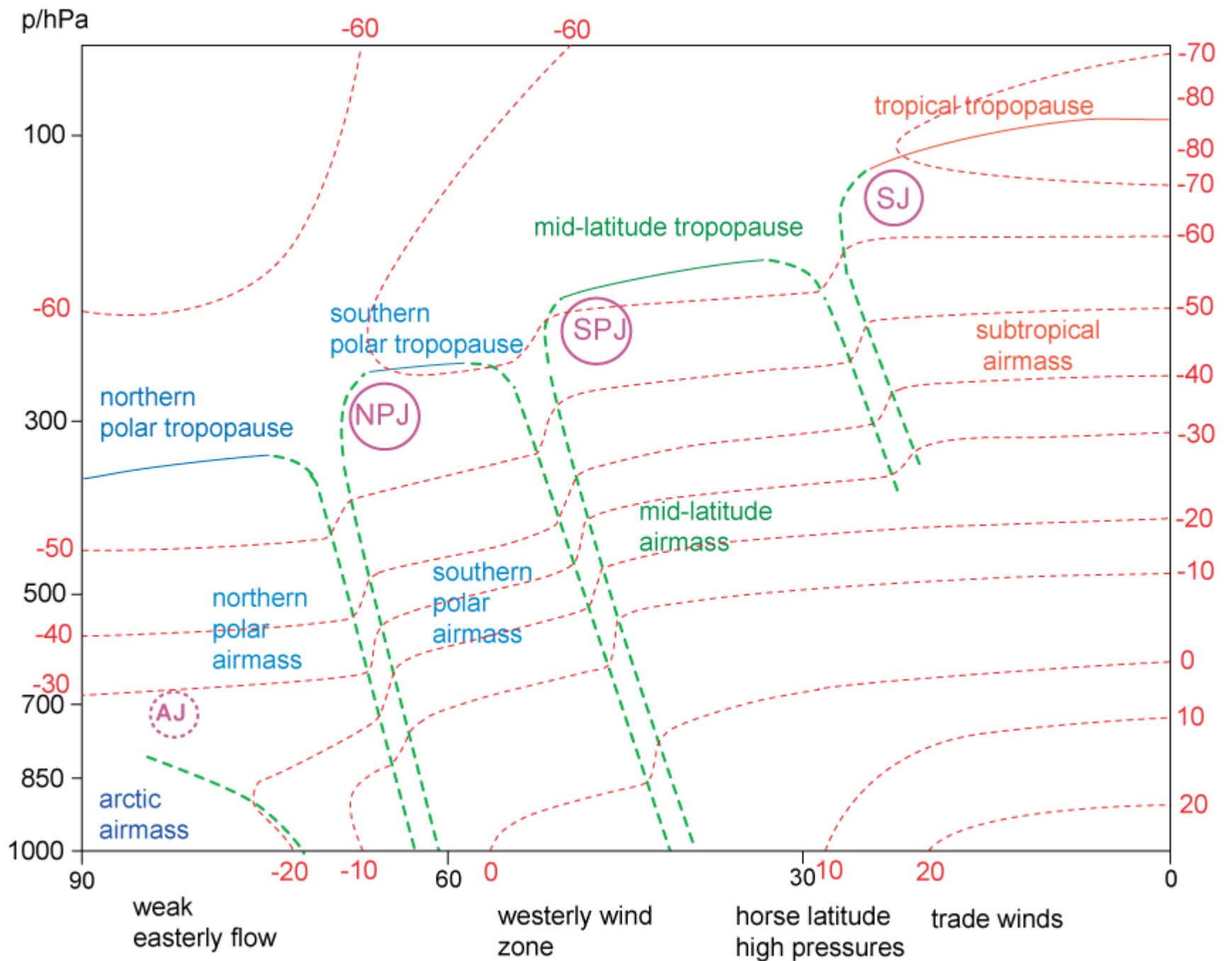


Potansiyel kararsızlık



Jet rüzgarları

- Troposferin yukarı seviyelerindeki polar ve subtropikal jet çevrelerinde yatay rüzgar kayması nedeniyle astronomik gözlem negatif etkilenir.
- Jetler model çıktılarında doğrudan u ve v ile belirlenebilir.



Aşağı seviye nem ve aerosol koşulları

- Su buharı ve aerosoller astronomik görüşü negatif etkiler, ve en çok yere en yakın tabakada (atmosferik sınır tabaka, PBL) görülürler.
- Enverziyon (sıcaklığın yükseklikle artışı), izotermal atmosfer gibi kararlı atmosfer koşullarında su buharı, aerosoller, ve diğer kirleticiler PBL'de hapsolür, görüş düşer.

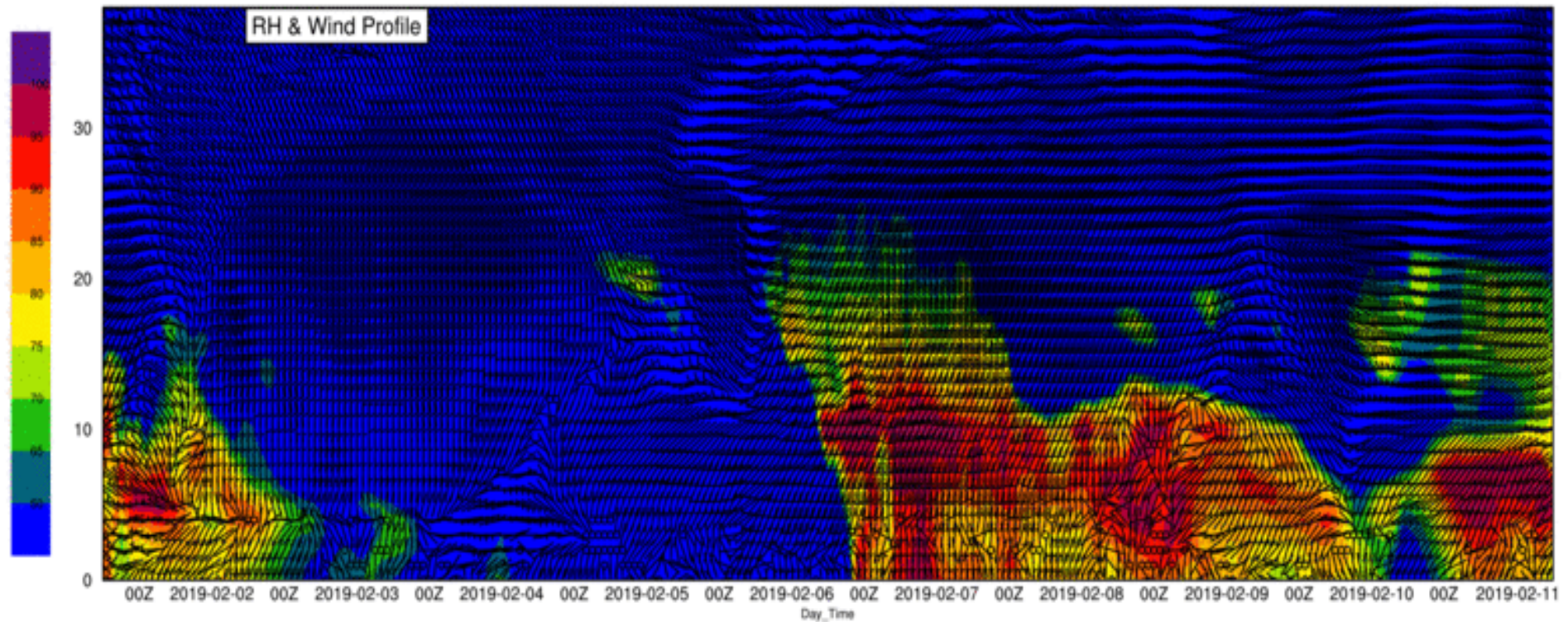
Tahmin edilebilirlik

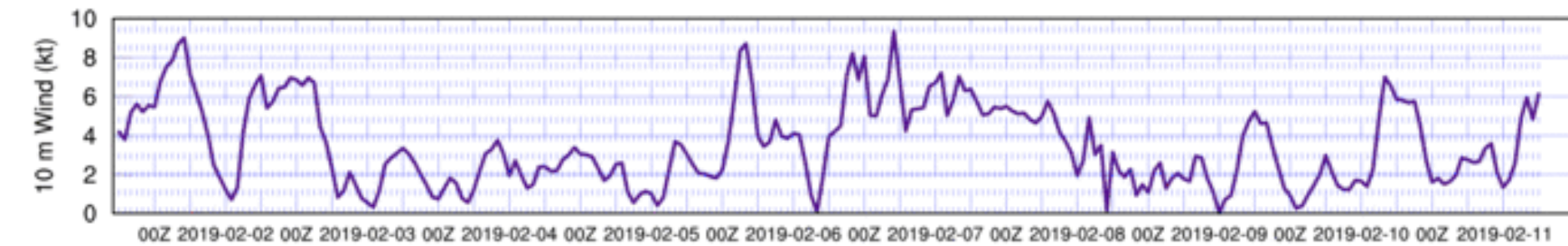
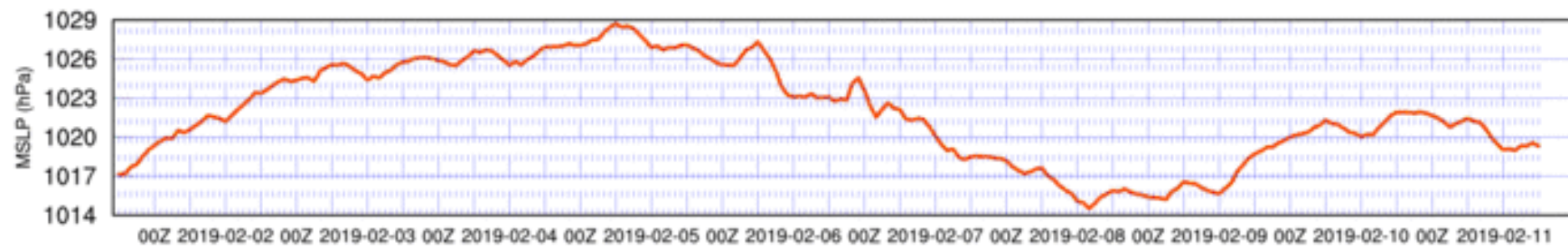
- Jetler 3-5 gün için yüksek doğrulukla tahmin edilebilir.
- Yukarı seviyelerdeki türbülanslı tabakalar görece daha güç olmakla birlikte tahmin edilebilir.
- Bulutluluğun tahmin edilebilirliği daha düşüktür. Özellikle alçak bulutlarda, stratus/sis tahmininde modeller başarılı olmayabilirler.
- Aşağı seviye sıcaklık/nem profilinde de başarımlar düşük olabilir (özellikle bulutluluk iyi tahmin edilememişse).

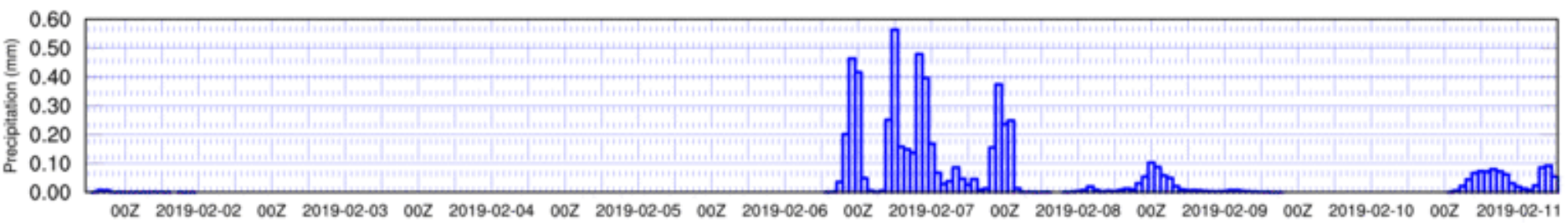
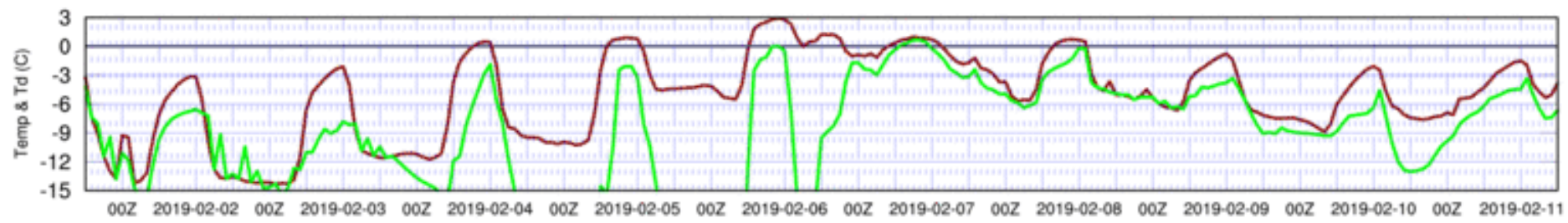
WRF/8 1726.97 m

Meteogram Erzurum Meydan 1758 m

meteogreen.com



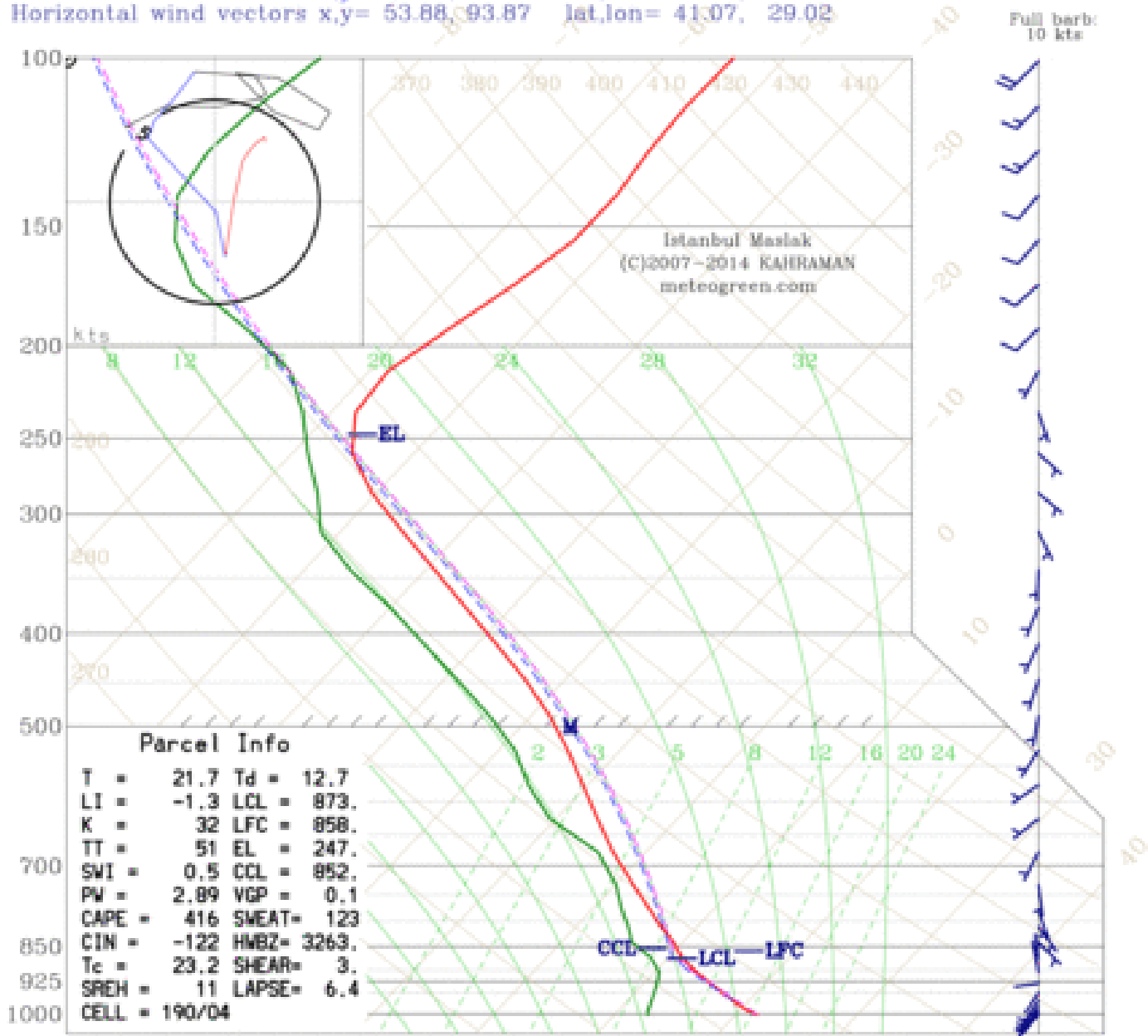




Pest: 27 h

Valid: 09 UTC Fri 26 May 17 (12 LDT Fri 26 May 17)

Temperature x,y= 53.88, 93.87 lat,lon= 41.07, 29.02
Dewpoint temperature x,y= 53.88, 93.87 lat,lon= 41.07, 29.02
Lifted T from k= 39 x,y= 53.88, 93.87 lat,lon= 41.07, 29.02
Lifted T from k= 36 x,y= 53.88, 93.87 lat,lon= 41.07, 29.02
Horizontal wind vectors x,y= 53.88, 93.87 lat,lon= 41.07, 29.02



Fest: 75 h

Valid: 03 UTC Fri 09 Jun 17 (06 LST Fri 09 Jun 17)

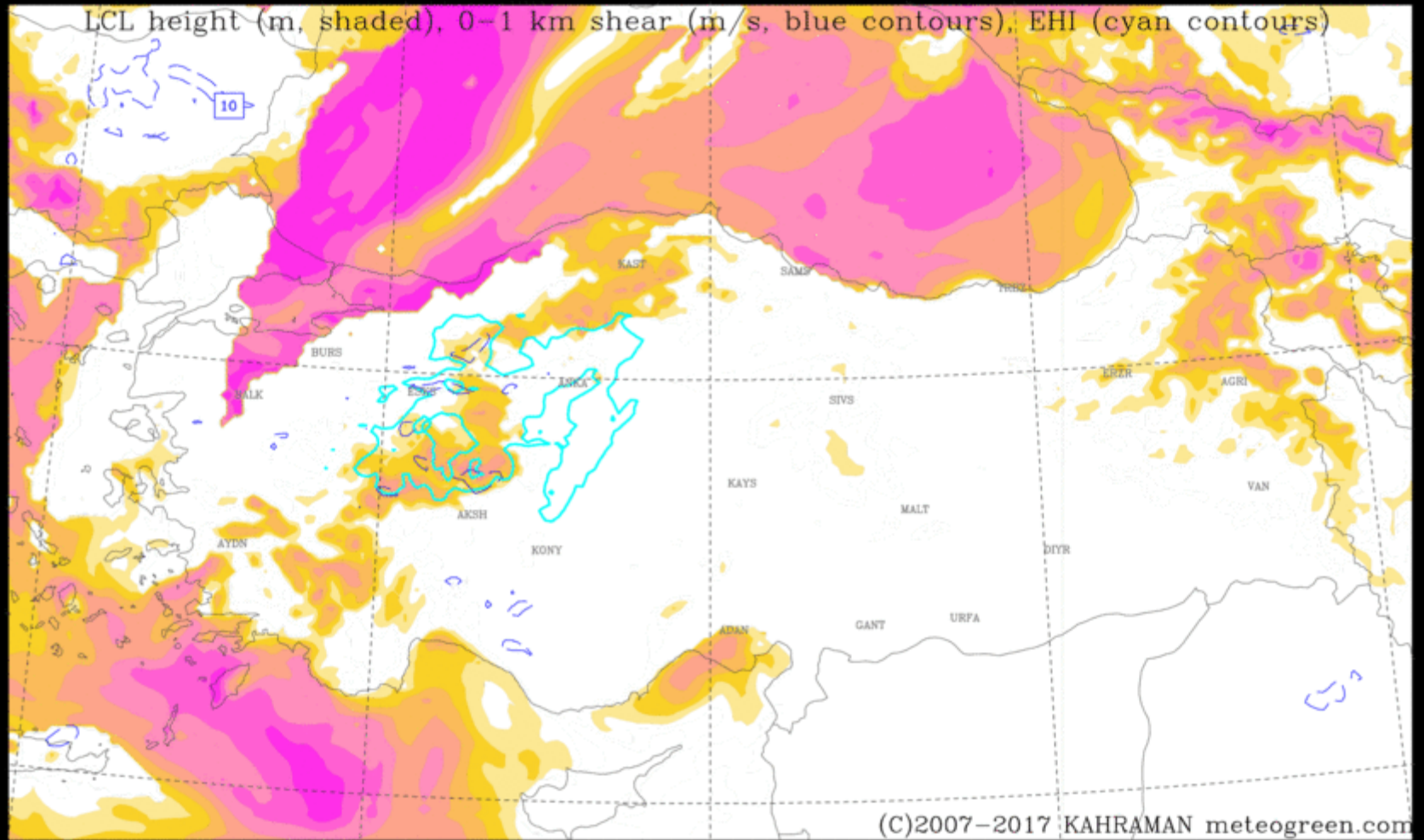
25 E

30 E

35 E

40 E

45 E



40 N

35 N

(C)2007-2017 KAHRAMAN meteogreen.com

200

400

600

800

1000

1200

1400

1600

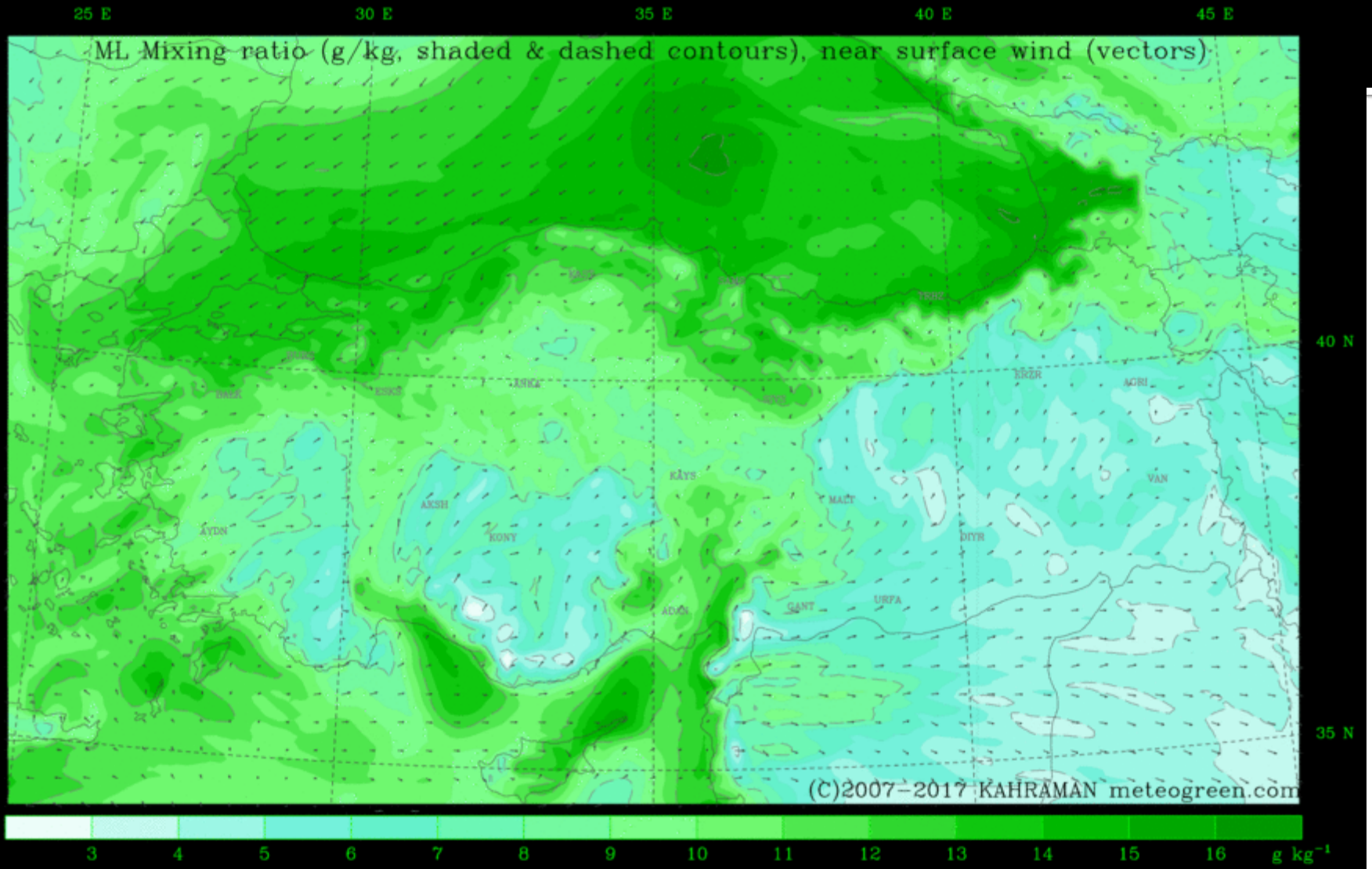
1800

2000

m (AGL)

Fcst: 45 h

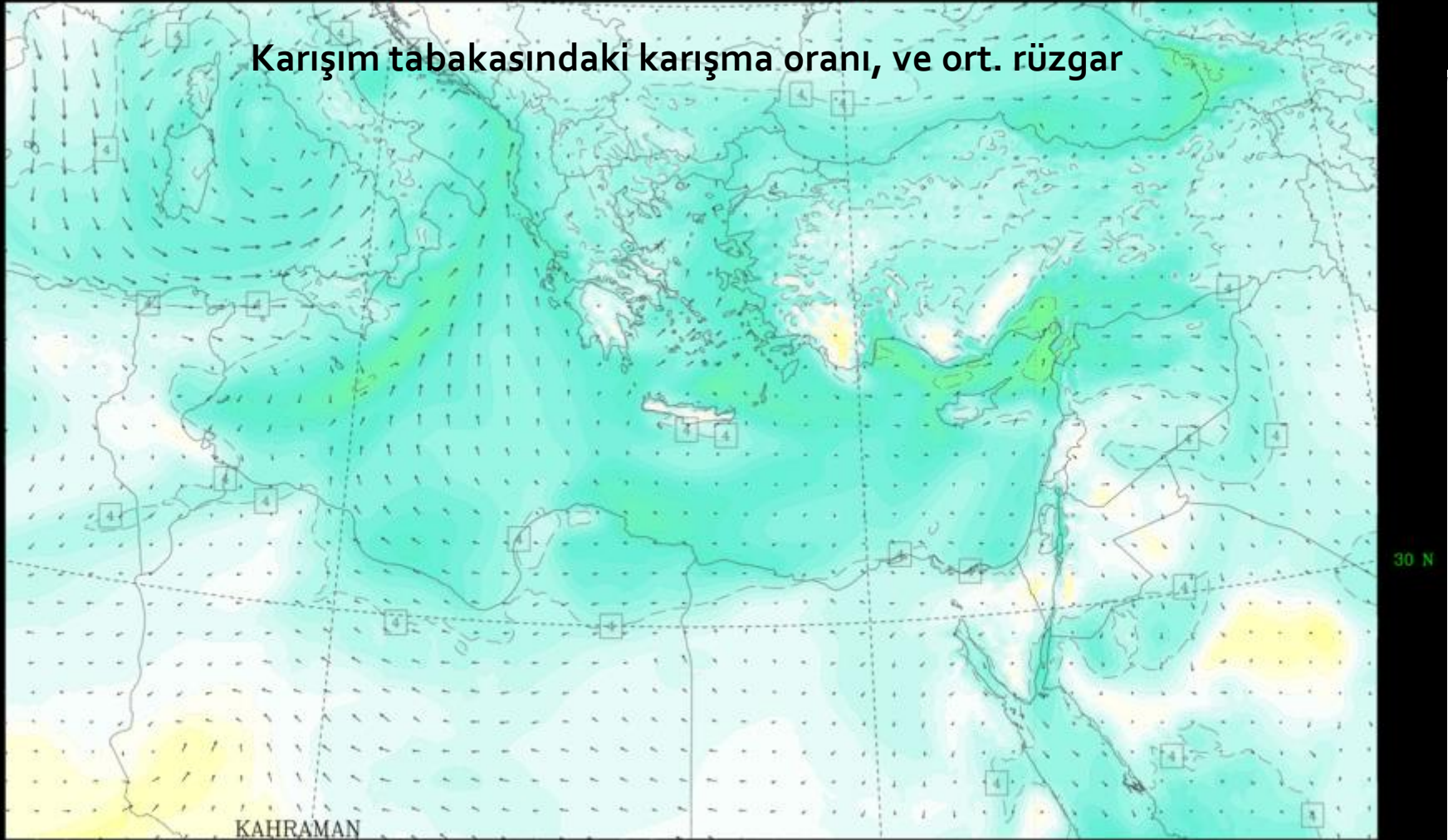
Valid: 15 UTC Tue 26 Jun 18 (18 LST Tue 26 Jun 18)



Fcst: 0 h

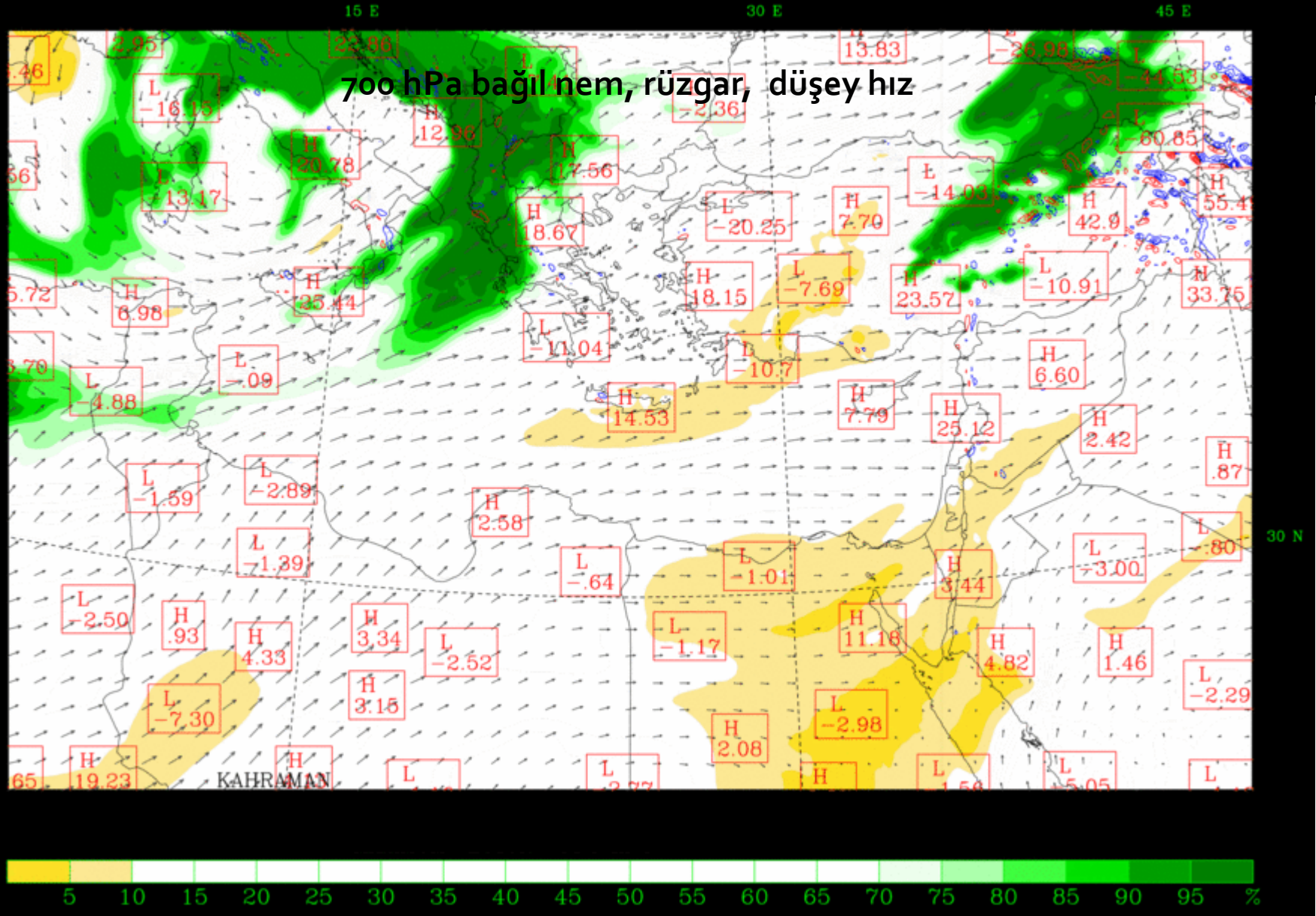
Valid: 00 UTC Wed 21 Mar 18 (03 LST Wed 21 Mar 18)

Karışım tabakasındaki karışma oranı, ve ort. rüzgar



Fcst: 0 h

Valid: 00 UTC Wed 21 Mar 18 (03 LST Wed 21 Mar 18)

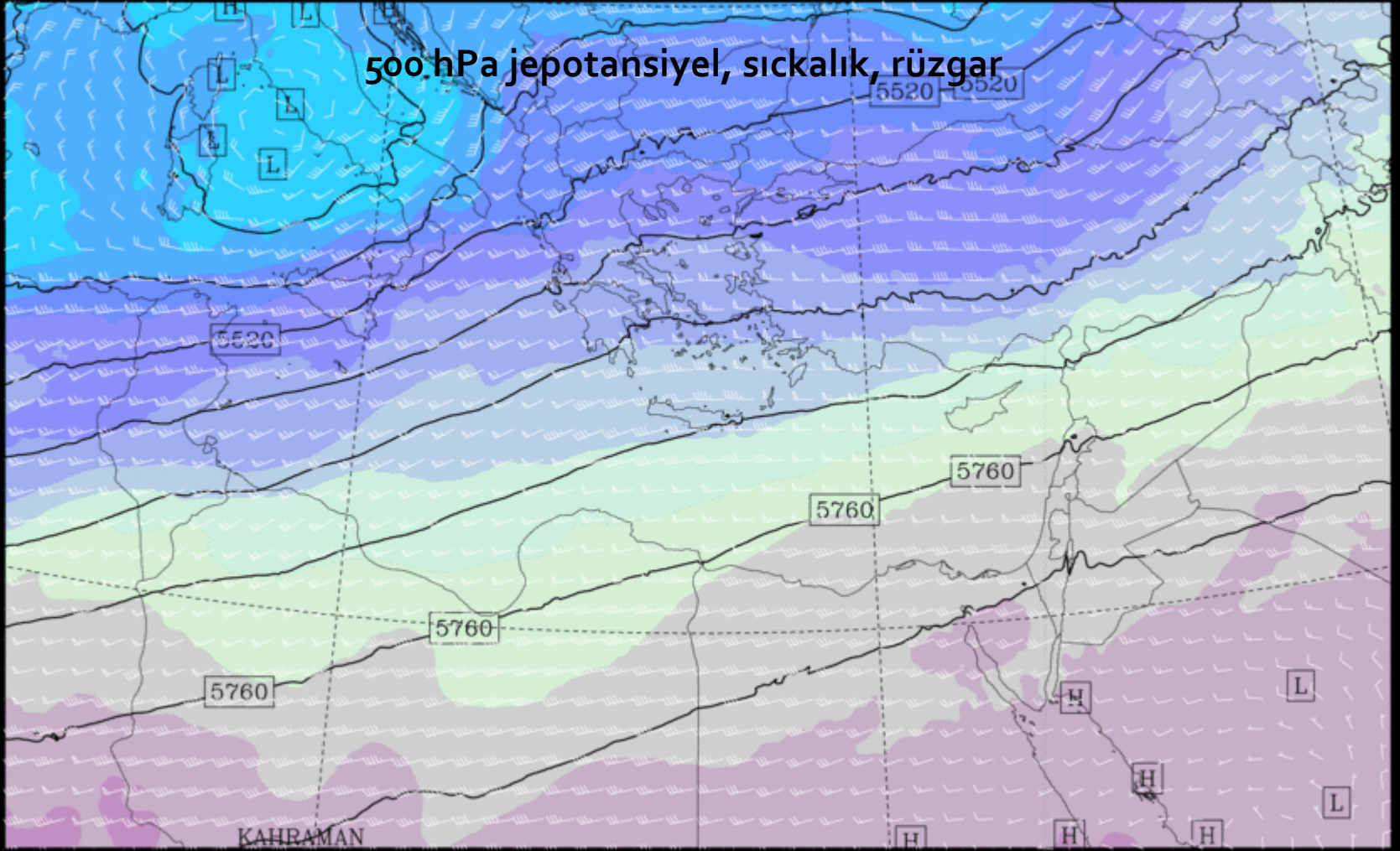


Fcst: 0 h

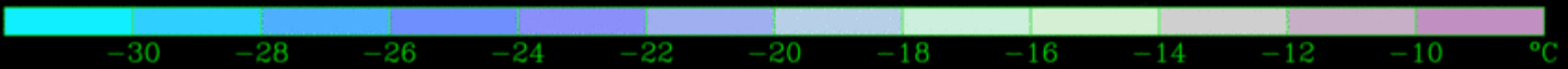
Valid: 00 UTC Wed 21 Mar 18 (03 LST Wed 21 Mar 18)

15 E 30 E 45 E

500 hPa jeopotansiyel, sıcaklık, rüzgar

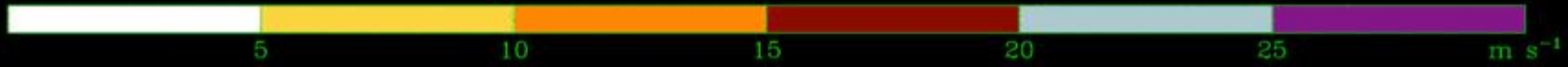
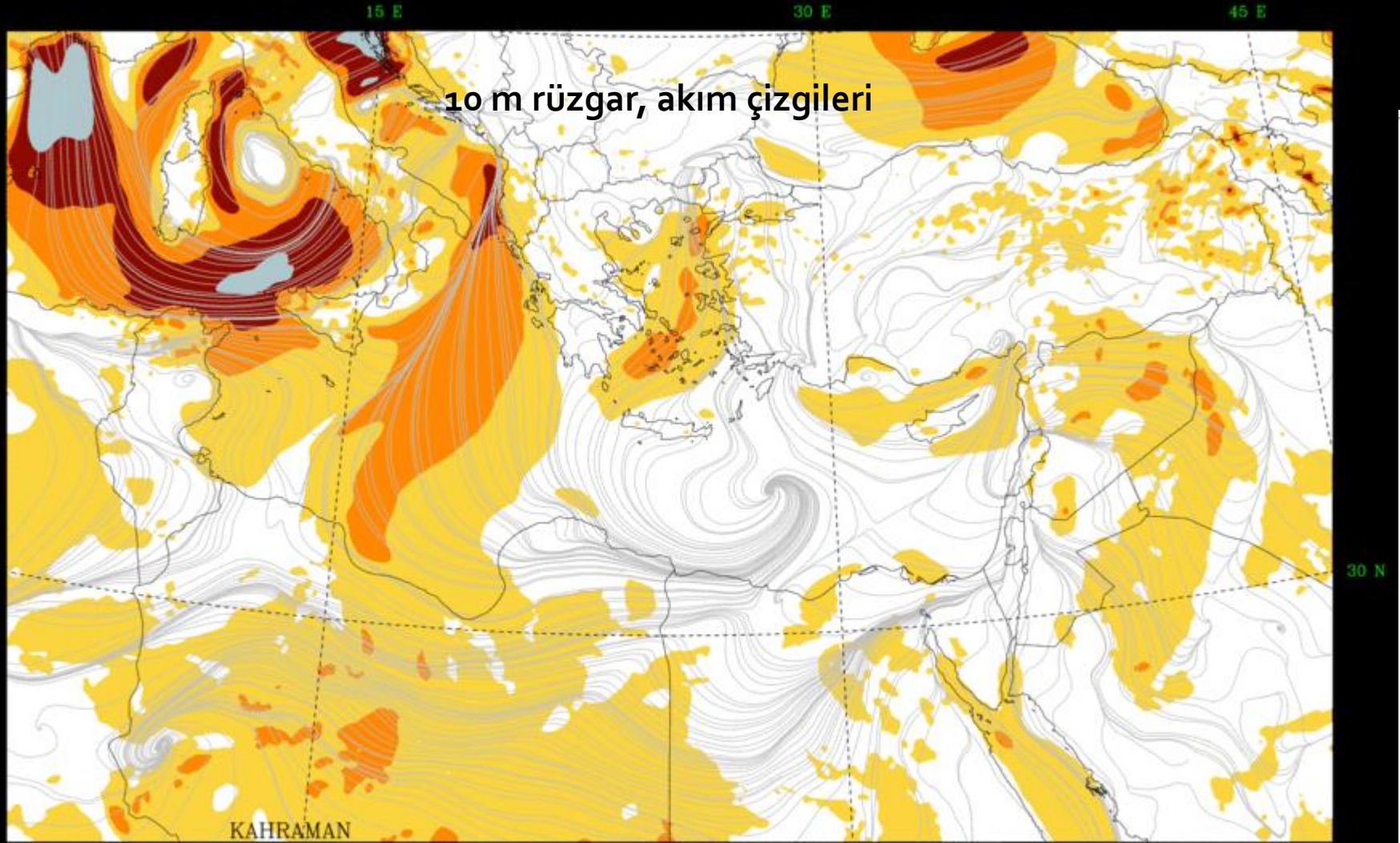


30 N



Fcst: 0 h

Valid: 00 UTC Wed 21 Mar 18 (03 LST Wed 21 Mar 18)



Ne yapılabilir?

- Astronomik gözlemden önemli olan her bir meteorolojik koşul için ayrı indeksler geliştirilebilir.
- Tüm bileşenleri içeren özel kompozit parametreler geliştirilebilir (son kullanıcı için basit bir çözüm olsa da bazı dezavantajları olabilir).
- Birden fazla model çıktısına uygulanması, olasılıksal bir çıktı sağlar.

- Astronomik gözlem için meteorolojik tahmin ihtiyacı iyi tanımlanmalı.
- Çözüm meteorolojistlerle birlikte geliştirilmeli.

- Teşekkürler!