

**Meteorolojik Tahminlerde Kullanılan MM5 Programı İçin
Paralel Hesaplama Ortamında Veri Asimilasyon Modellerinin
Uygulanması ve Geliştirilmesi**

Proje No: 107Y105

Prof. Dr. İsmail Hakkı TUNCER
Gökhan AHMET
Sezgi KUMRU

TEMMUZ 2010
ANKARA

ÖNSÖZ

Meteorolojik hava tahmin yazılımlarıyla sayısal hesaplamalar yapılırken, yerel gözlem istasyonlarından alınan verilerin de kullanılması yapılan tahminlerin doğruluğunu artırmaktadır. Gözlem verilerinin sayısal hesaplamalara katılması veri asimilasyon yöntemleriyle mümkün olmaktadır. Bu çalışmada Devlet Meteoroloji İşleri (DMI) tarafından hava tahminlerinde kullanılmakta olan MM5 yazılımına 3DVAR ile gözlem verilerinin asimilasyonu yapılmış, Uyumlu Dik Ayrışım (Proper Orthogonal Decomposition, POD) ile veri asimilasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Açık kaynaklı bir meteorolojik hava tahmin yazılımı olan MM5 yazılımı ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği bölümündeki bilgisayar kümesinde paralel olarak çalıştırılmış ve hesaplama verimlilikleri incelenmiştir. DMI'den temin edilen gözlem verileri kullanılarak 3DVAR temelli WRF-Var ve geliştirilen POD temelli yöntemlerle gerçekleştirilen veri asimilasyon sonuçları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Geliştirilen bölgesel POD yöntemi veri asimilasyonunda başarılı sonuçlar vermiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	2
İÇİNDEKİLER	3
ÖZET	6
ABSTRACT	7
1. GİRİŞ	8
2.1. MM5 Yazılımı	10
2.2. 3DVAR/WRF-Var ile Gözlem Verilerinin Asimilasyonu	11
2.3. Gözlem Verilerinin Temini	12
2.4. Uyumlu Dik Ayrışım (POD) Yöntemi	13
3. GEREÇ VE YÖNTEM	14
3.1. Paralel Hesaplama Ortamı (PC Cluster)	14
3.2. WRF-Var ile Gözlem Verisi Asimilasyonu	14
3.3. Başlangıç ve Sınır Koşullarının, Gözlem Verilerinin Asimilasyonunun Ardından Güncellenmesi	17
3.4. Uyumlu Dik Ayrışım (POD) Yöntemi	18
3.4.1. Türkiye Coğrafyası Genelinde POD ile Veri Asimilasyonu	20
3.4.2. Genişletilmiş Sirovich Yöntemi (Gappy) ile POD Uygulaması	21
3.4.3. Gözlem İstasyonları Çevresinde POD ile Bölgesel Veri Asimilasyonu	23
4.1. MM5 Yazılımının Paralel Olarak Çalıştırılması	25
4.2. İstatistiksel Hata Verisinin (Background Error) Oluşturulması	31
4.3. WRF-Var ile Gözlem Verisi Asimilasyonu	34
4.4. POD ile Gözlem Verisi Asimilasyonu	37
4.4.1. POD Yönteminin Doğrulanması	37
4.4.2. Türkiye Coğrafyası Genelinde POD ile Veri Asimilasyonu	38
4.4.3. Genişletilmiş Sirovich Yöntemi (Gappy-POD) ile Veri Asimilasyonu	43
4.4.4. Gözlem İstasyonu Çevresinde Bölgesel POD ile Veri Asimilasyonu	49
4.4.5. Gözlem İstasyonu Çevresinde Bölgesel POD ve WRF-Var ile Veri Asimilasyonu Sonuçlarının Karşılaştırılması	58
KAYNAKLAR	70

Şekil Listesi

Şekil 1. Türkiye genelinde gözlem yapılan istasyonların konumları	12
Şekil 2. Proje kapsamında alınan çift işlemcili dört çekirdekli bilgisayarlar.....	14
Şekil 3. WRF-Var veri asimilasyon program girdileri.....	15
Şekil 4. Akış alanı çözüm verilerinin üretilmesi süreci.....	16
Şekil 5. Veri asimilasyonu uygulama süreci.....	17
Şekil 6. POD ile asimilasyon süreci	21
Şekil 7. Genişletilmiş Sirovich-Uyumlu Dik Ayrışım metodunun akış şeması	22
Şekil 8. Ortalama hesabında kullanılan katsayılar	24
Şekil 9. Test problem için performans analizi karşılaştırması	26
Şekil 10. Test problem için paralel hesaplama verimi ve hızlanması	27
Şekil 11. Türkiye hava tahmini için paralel hesaplama verimi ve hızlanması	27
Şekil 12. Türkiye üzerindeki 3 boyutlu eş sıcaklık çizgileri	28
Şekil 13. Türkiye üzerindeki eş sıcaklık çizgileri	28
Şekil 14. Türkiye üzerindeki eş hız çizgileri ve hız vektörleri.....	29
Şekil 15. Ankara üzerindeki 3 boyutlu eş sıcaklık çizgileri	29
Şekil 16. Ankara üzerindeki 3 boyutlu eş hız çizgileri ve hız vektörleri.....	30
Şekil 17. Ankara üzerindeki eş sıcaklık çizgileri.....	30
Şekil 18. Ankara üzerindeki eş hız çizgileri ve hız vektörleri	31
Şekil 19. Dengelenmiş Yüzey Basınç (P_{sb}) kovaryansının, Yüzey Basıncı (P_s) varyansına oranı.....	32
Şekil 20. Dengelenmiş Sıcaklık (T_b) ve Hız Potansiyeli (χ_b) kovaryanslarının, Sıcaklık(T) ve Hız Potansiyeli(χ) varyanslarına oranı.....	33
Şekil 21. Dengelenmiş Sıcaklık (T_b) kovaryansının, Sıcaklık (T) varyansına oran eş çizgileri	33
Şekil 22. Dengelenmiş Hız Potansiyeli (χ_b) kovaryansının, Hız Potansiyeli (χ) varyansına oran eş çizgileri	34
Şekil 23. WRF-Var ile gözlem verisi asimilasyonu sonrası akış değişkenlerinin dağılımı	35
Şekil 24. WRF-Var ile Asimilasyon sonrası istasyonlarda gözlem değerlerinden farklar	36
Şekil 25. En küçük kareler metodunda hesaba katılan verilerin konumları (Kırmızı).....	37
Şekil 26. 782 nokta verisi ile yeniden oluşturulan sıcaklık (T) alanının ilk dağılımından farkı.....	38
Şekil 27. Gözlem istasyonlarında, gözlem verileri kullanılarak oluşturulan sıcaklık (T) alanının ilk dağılımından farkı.....	39
Şekil 28. En küçük kareler metodu adımıda katsayı hesabında kullanılan bölgeler (Kırmızı)	39
Şekil 29. POD ile gözlem verisi asimilasyonu sonrası sıcaklık farkının dağılımı.....	40
Şekil 30. En küçük kareler metodu adımıda katsayı hesabında kullanılan bölgeler (Kırmızı)	40
Şekil 31. POD ile gözlem verisi asimilasyonu sonrası sıcaklık (T) değişimi	41
Şekil 32. En küçük kareler metodu adımıda katsayı hesabında kullanılan bölgeler (Kırmızı)	41
Şekil 33. POD ile gözlem verisi asimilasyonu sonrası değişkenlerin farkının dağılımı.....	42
Şekil 34. Farklı Sayılardaki modlarla veri asimilasyonu	43
Şekil 35. Gerçek gözlem verileri ile yapılan asimilasyonun akış alanına olan farkı	44
Şekil 36. Gappy-POD ve WRF-Var ile asimilasyon sonrası sıcaklık tahminleri	46
Şekil 37. Gappy-POD ve WRF-Var ile asimilasyon sonrası U hızı tahminleri.....	47
Şekil 38. Gappy-POD ve WRF-Var ile asimilasyon sonrası V hızı tahminleri.....	48
Şekil 39. Asimilasyon sonrası değişkenlerin gözlemden farkları	50
Şekil 40. Asimilasyon sonrası değişkenlerin gözlemden farkları	52

Şekil 41. Gözlem istasyonlarından geçen enlem boyunca akış değişkenlerinin değişimi.....	54
Şekil 42. 3. Saat tahminlerinin gözlem değerlerinden farkı.....	55
Şekil 43. 6. Saat tahminlerinin gözlem değerlerinden farkı.....	56
Şekil 44. 12. Saat tahminlerinin gözlem değerlerinden farkı.....	56
Şekil 45. 24. Saat tahminlerinin gözlem değerlerinden farkı.....	57
Şekil 46. 48. Saat tahminlerinin gözlem değerlerinden farkı.....	57
Şekil 47. Bölgesel POD ve WRF-Var ile asimilasyon sonrası sıcaklık tahminleri.....	60
Şekil 48. Bölgesel POD ve WRF-Var ile asimilasyon sonrası U Hızı tahminleri.....	62
Şekil 49. Bölgesel POD ve WRF-Var ile asimilasyon sonrası V Hızı tahminleri.....	64
Şekil 50. Asimilasyon sonrası başlangıçta akış değişkenlerinin gözlem değerlerinden farkı.....	65
Şekil 51. 3. Saatte hesaplanan akış değişkenlerinin gözlem değerlerinden farkı.....	66
Şekil 52. 6. Saatte hesaplanan akış değişkenlerinin gözlem değerlerinden farkı.....	66
Şekil 53. 12. Saatte hesaplanan akış değişkenlerinin gözlem değerlerinden farkı.....	67
Şekil 54. 24. Saatte hesaplanan akış değişkenlerinin gözlem değerlerinden farkı.....	67
Şekil 55. 48. Saatte hesaplanan akış değişkenlerinin gözlem değerlerinden farkı.....	68

ÖZET

Türkiye’de Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ), sayısal hava tahminleri yapmak için açık kaynaklı MM5 yazılımını kullanmaktadır. DMİ atmosferik gözlem istasyonlarından elde edilen yerel verilerin MM5 programı ile birlikte kullanılmasında karşılaşılan sorunların giderilmesi, yeni veri asimilasyon yöntemlerinin geliştirilmesi için yapılan çalışmaları desteklemektedir. Veri asimilasyonu olarak bilinen gözlem verilerinin sayısal hesaplamalar için kullanılması işlemi güncel bir araştırma konusudur. MM5 ile birlikte veri asimilasyonunda kullanılan açık kaynaklı yazılımlar (3DVAR, 4DVAR, Nudging, vb...) mevcuttur. Bu çalışmada 3DVAR temelli WRF-Var veri asimilasyon yazılımının MM5 programına paralel hesaplama ortamında entegrasyonu sağlanmıştır. Türkiye’deki gözlem istasyonlarından alınan yerel atmosferik veriler ile 3DVAR programlarından elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Ardından Uyumlu Dik Ayrışım (Proper Orthogonal Decomposition, POD), kullanılarak yeni veri asimilasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan yeni yöntemlerden elde edilen veri asimilasyon sonuçları ve hava tahminleri WRF-Var yazılımından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve performansları değerlendirilmiştir. Veri asimilasyon sürecinin uzun hesaplama süreleri gerektirmesi nedeniyle MM5 ve asimilasyon programlarının uygulanması paralel hesaplama ortamında sağlanmıştır. Paralel hesaplama ortamı için düşük maliyetli bilgisayar kümeleri kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler

Sayısal hava tahmini, MM5, veri asimilasyonu, uyumlu dik ayrışım, paralel hesaplama, bilgisayar kümeleri

ABSTRACT

In Turkey, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMI), uses the open-source MM5 software to make numerical weather predictions. However, DMI has problems in using the local data obtained from the atmospheric observation stations with the MM5 program. Integration of observation data into numerical solutions, which is known as data assimilation, is an important research topic. Open-source data assimilation softwares such as, 3DVAR, 4DVAR, and Nudging, are currently available to be used with MM5. In this project, 3DVAR based WRF-Var data assimilation software is integrated to the MM5 program in a parallel computing environment. The results obtained from the 3DVAR program using the atmospheric data received from the observation stations in Turkey are evaluated. In the next step, new data assimilation techniques based on Proper Orthogonal Decomposition (POD) are developed. Performance analysis of the newly developed data assimilation methods and weather predictions are made in comparison to the WRF-Var software. Since data assimilation process is computationally demanding, the MM5 and assimilation programs are run in a parallel computing environment. Low-cost multi-processor PC clusters are used as a parallel computing environment.

Keywords:

Numerical weather prediction, MM5, data assimilation, proper orthogonal decomposition, parallel computation, PC clusters

1. GİRİŞ

Kısa adı MM5 olan Pennsylvania State University / National Center for Atmospheric Research (NCAR) Mesoscale Model, mezo-ölçekli atmosfer hareketlerini incelemek ve hava tahmini yapmak için tasarlanmış, hidrostatik olmayan (nonhydrostatic), arazi-takipli (terrain-following) ve sigma-koordinat temelli bir sınırlı alan modelidir. (*PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide*, 2005). MM5, zamana bağlı Navier-Stokes akış denklemlerini sonlu farklar yöntemi kullanarak çözer. Çözüm, değişik ölçeklere sahip iç içe geçmiş ağlar (nested grids) üzerinde elde edilebilir. Modelin çözüm yetenekleri geniş bir çözünürlük aralığını (2-200 km), mezo-beta ve mezo-gama ölçeklerini kapsamaktadır. Fortran programlama dili ile geliştirilmiş olan MM5 yazılımı açık kaynaklıdır. Dünya genelinde yaygın bir şekilde kullanılmakta olan MM5, kullanıcılardan gelen katkılar ile iyileştirilmiştir. Ülkemizde, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ), MM5 programını 9 km çözünürlükte kullanarak Türkiye geneli, 2 km çözünürlüklü iç içe geçmiş ağ kullanarak ise İstanbul şehri için sayısal hava tahmini yapmaktadır.

Sayısal hava tahmini (SHT) bir başlangıç/sınır değer problemidir. Hava tahmin modelleri, verilen öngörölmüş bir atmosfer durumundan (başlangıç koşulları) başlayarak uygun yüzey ve yatay sınır koşulları altında zaman içerisindeki atmosferik hava hareketlerini hesaplar ve hava tahmini gerçekleştirilir. Başlangıç ve sınır koşulları sadece büyük ölçekli bir sayısal model çözümünden elde edilebileceği gibi yerel gözlem istasyonlarından gelen veriler ile de zenginleştirilebilir. Başlangıç koşulları ne kadar gerçeğe yakınsa, yapılan tahminin doğruluğu da o ölçüde yüksek olacaktır. Günümüzde SHT merkezleri, büyük ölçekli sayısal hava tahmin sonuçlarını ve gözlem istasyonlarından elde edilen verileri uygun bir matematiksel/istatistiksel kombinasyonla birleştirerek başlangıç koşulları oluşturmakta ve küçük ölçekli modellerle daha güvenilir hava tahminlerinde bulunabilmektedirler.

Atmosferik gözlem verilerinin sayısal hesaplamalara katılarak hava tahminlerinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar veri asimilasyonu olarak bilinmekte ve bu konu günümüzün önemli bir araştırma konusudur. Son 50 yıl içerisinde, yerel gözlem verilerinin asimilasyonu konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Successive Corrections Method (SCM), Optimal Interpolation (OI), Nudging, 3-Dimensional

Variational Approach (3DVAR), 4-Dimensional Variational Approach (4DVAR) ve Kalman Filtering (KF) yöntemleri yaygın olarak kullanılan veri asimilasyon teknikleridir (Kalnay,2005).

DMI, MM5 programının başlangıç koşulları için gereken yüksek ölçekli veriyi Avrupa'da hava tahmin merkezinden, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)'den bir ortaklık anlaşması ile temin etmektedir. Yurtdışından sağlanan bu veri, ECMWF tarafından global olarak elde edilen sayısal atmosfer hesaplamalarının Türkiye üzerindeki 20 km çözünürlüklü çözümüdür.

Bu çalışmada veri asimilasyonu için kullanılan 3DVAR temelli WRF-Var yazılımının MM5'a entegrasyonu sağlanmış ve Türkiye'deki gözlem istasyonlarından alınan atmosferik veriler ile çalıştırılmıştır. Ayrıca, Uyumlu Dik Ayrışım (Proper Orthogonal Decomposition - POD) yöntemi ile yeni veri asimilasyon yöntemleri geliştirilmiştir.

MM5 programı ve geliştirilen veri asimilasyonu yöntemleri sıradan işlemcilerden oluşan bir bilgisayar kümesinde paralel olarak çalıştırılmış, performans değerlendirmesi yapılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

Meteorolojik hesaplamalarda atmosfer hareketlerini incelemek ve hava tahmini yapmak için kullanılan açık kaynak kodlu MM5 programı, proje kapsamında alınan çok çekirdekli işlemcilerden oluşan bir bilgisayar kümesinde (PC Cluster) kurulmuş, seri ve paralel olarak çalıştırılmış ve performans değerlendirmesi yapılmıştır.

WRF-Var veri asimilasyon yazılımının MM5/WRF yazılımları ile uyumlu bir şekilde kullanılması sağlanmış, bu süreçte gereken Türkiye coğrafyası için istatistiksel hata verisi (background error) elde edilmiştir. .

Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) Genel Müdürlüğü'nden yerel gözlem istasyonlarına ait atmosferik veriler temin edilmiş, Bu verilerin WRF-Var yazılımında girdi olarak kullanılabilmesi için FORTRAN dilinde arayüz programları yazılmıştır.

DMİ'den temin edilen Türkiye genelindeki gözlem verileri, belirli bir döneme ait hava tahmin çözümlerinin işlenmesi ile elde edilen istatistiksel hata verisi (Background Error) ve Orta Ölçekli Hava Tahminleri Avrupa Merkezinden (ECMWF - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) alınıp işlenen başlangıç ve sınır koşulları, WRF-Var yazılımı ile birlikte kullanılarak gözlem verilerinin başlangıç ve sınır koşullarına asimilasyonu sağlanmıştır.

Bu projenin ana hedefi POD temelli yeni veri asimilasyon yöntemlerinin geliştirilmesidir. Bu amaçla POD temelli 3 yeni veri asimilasyonu algoritması geliştirilmiş, elde edilen sonuçlar WRF-Var veri asimilasyonu yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

2.1. MM5 Yazılımı

Fortran programlama dili ile geliştirilmiş olan MM5 yazılımı açık kaynaklıdır. MM5 temelde akış denklemlerini Sonlu Farklar (Finite Difference) yöntemi ile kartezyen çözüm ağlarında çözen bir yazılımdır. Dünya genelinde yaygın bir şekilde kullanılmakta olan MM5, kullanıcılardan gelen katkılarla NCAR tarafından sürekli yenilenmektedir. 2009 yılında bu yenilikler yeni bir yazılımda toplanarak WRF

yazılımı yayımlanmıştır. Ülkemizde, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 2003 yılında 16 işlemcili IBM P690 bilgisayarlarına dayalı yüksek performanslı bir bilgisayar merkezi kurarak MM5 programını operasyonel olarak çalıştırmaya başlamıştır. DMİ, MM5 programını 9 km çözünürlük ile Türkiye genelinde hava tahminleri için kullanmaktadır. İstanbul ve Antalya illeri için ise 2 km çözünürlüklü daha hassas çözümler elde etmektedir. Türkiye çözümünde kullanılan kartezyen çözüm ağı yapısı, $155 \times 94 \times 32 = 466240$ düğüm noktasından oluşurken, İstanbul çözümü için $52 \times 52 \times 32 = 86528$ düğüm noktalı bir ağı kullanılmaktadır.

2.2. 3DVAR/WRF-Var ile Gözlem Verilerinin Asimilasyonu

Gözlem istasyonlarından elde edilen yerel verilerin sayısal meteorolojik çözümlerle birlikte çözümlerin hassasiyetini artırmak amacıyla kullanılmasına veri asimilasyonu denir. 3DVAR MM5'in daha önceki sürümleri ile uyumlu veri asimilasyonu için kullanılan bir yazılımdır. Günümüzde MM5 yazılımı yerini yeni bir sürüm olan WRF yazılımına bırakmaktadır. Veri asimilasyonu için ise 3DVAR'ın yerini alan WRF-Var kullanılmaktadır. WRF-Var, WRF yazılımı ile uyumlu bir yazılımdır.

Bu çalışmada WRF-Var yazılımının MM5 programının girdi ve çıktıları ile çalışması için açık kaynak kodunda gerekli değişikliklerin yapılmasıyla WRF-Var'ın MM5 ile uyumlu halde çalıştırılması sağlanmıştır. WRF-Var yazılımı çalışma kapsamında kurulan güncel işlemcilerden oluşan Linux temelli bir paralel bilgisayar kümesinde kurularak ve ardından derlenerek çalıştırılmıştır. Yazılımların Linux işletim sisteminde derlenebilmesi için gerekli düzenleme ve değişiklikler kaynak kodunda başarıyla yapılmıştır.

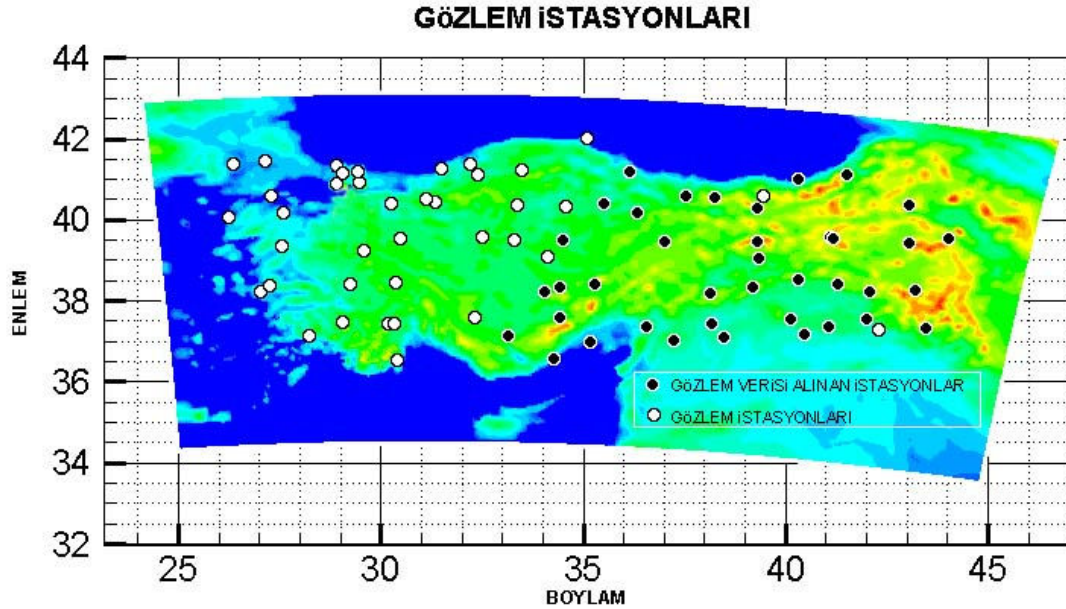
WRF-Var yazılımı veri asimilasyonunu doğru bir şekilde uygulayabilmesi için İstatistiksel hata verisine (Background Error) gereksinim duyar. Hava tahmini çözümlerindeki hatayı ölçen istatistiksel hata verisi Parrish'in (1992) öncü uygulamasına benzer bir şekilde 24 saatlik ve 48 saatlik bir yıl içerisinde dağılmış hava tahminlerinin kıyaslanması temeline dayanan bir algoritmayla, Türkiye coğrafyası için özel olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada çözüm hatası bilgisi daha sonraki çalışmalarda da önerildiği gibi ardışık 30 günün 24 ve 48 saatlik hava tahmin verilerinin kullanılmasıyla elde edilmiştir. Bu amaçla Türkiye coğrafyası için Orta

Ölçekli Hava Tahminleri Avrupa Merkezinden (ECMWF - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) alınıp işlenen veriler kullanılarak peşpeşe 30 güne ait 48 saatlik hava tahmin verileri üretilmiştir.

2.3. Gözlem Verilerinin Temini

Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) Genel Müdürlüğüne ait gözlem istasyonlarının konumları ve DMİ ile yapılan ayrı bir protokol kapsamında temin edilen gözlem verilerinin ait olduğu gözlem istasyonları Şekil 1. de verilmektedir. Görüldüğü gibi bu çalışmada kullanılan gözlem verileri Orta ve Doğu Anadolu'yu kapsamaktadır.

Genelde sıcaklık ve rüzgârın hızı ve yönünü içeren 2006–2007 yıllarına ait günlük gözlem verileri DMİ'den ASCII formatında temin edilmiştir. Veri asimilasyonu için kullanılan açık kaynaklı MM5 kodu ile uyumlu hale getirilmiş WRF-Var programı, bu gözlem verilerini özel bir formatta (LITTLE_R) girdi olarak almaktadır. Gözlem verilerinin istenilen bu formata dönüştürülmesi amacıyla bir FORTRAN dilinde ara programlar yazılmış, derlenmiş ve başarıyla çalıştırılmıştır.



Şekil 1. Türkiye genelinde gözlem yapılan istasyonların konumları

2.4. Uyumlu Dik Ayrışım (POD) Yöntemi

Uyumlu Dik Ayrışım Metodu (Proper Orthogonal Decomposition – POD) bağımlı veri kümelerinin temel modlarının bulunmasına ve bu temel modların kullanılarak veri kümelerinden herhangi birisinin yeniden yaratılmasına olanak sağlayan bir metottur. Türkiye coğrafyası için elde edilen çok sayıda hava tahmin kümesi kullanılarak Türkiye coğrafyasına ait akış alanının temel modları elde edilmiş ve gözlem verileri kullanılarak yeni akış alanları oluşturulmuştur. Böylece gözlem verilerinin nümerik çözümlere asimilasyonu sağlanmıştır.

Daha sonra POD temelli Genişletilmiş Sirovich-Uyumlu Dik Ayrışım metodu (Gappy-POD) (Sirisup,2005),(Murray,2006),(Sirovich ve Kirby,1987), (Sirovich,1987), (Beckers,2003) ile yeniden veri asimilasyonu yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Gappy-POD metodunda kümedeki sabit akış alanlarına ek olarak veri asimilasyonunun yapıldığı akış alanını da veri kümesinde modların belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu metotta veri kümelerinin sürekli değişmesinden dolayı temel modlar iteratif çözümler sonucu elde edilmektedir. Ayrıca POD temelli veri asimilasyon çalışmalarında veri kümeleri, WRF-Var'daki gibi 30 günlük ardı ardına çözümler yerine 24 saatlik bir çözümün yarım saatlik ara ile alınmış akış alanı çözümleri kullanılarak hazırlanmıştır. Böylece veri asimilasyonu öncesi elde bulundurulması gereken ön verilerin hazırlanması sürecinin kolaylaştırılması sağlanmıştır.

Son olarak gözlem istasyonlarının etrafında belirlenen bir bölge içinde POD temelli veri asimilasyonu uygulanmıştır. Bu süreçte POD için gereken ön veriler her bir gözlem istasyonu bölgesi etrafında dar bir alanla sınırlandırılmış, bu bölgeler içindeki akış alanları veri asimilasyonu ile yeniden oluşturulmuştur. Bu dar alanlardaki temel modların bulunması için yine WRF-Var'daki 30 günlük ardışık çözümler yerine 24 saatlik bir çözümün yarım saatlik ara ile alınmış akış alanı çözümleri kullanılmıştır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Paralel Hesaplama Ortamı (PC Cluster)

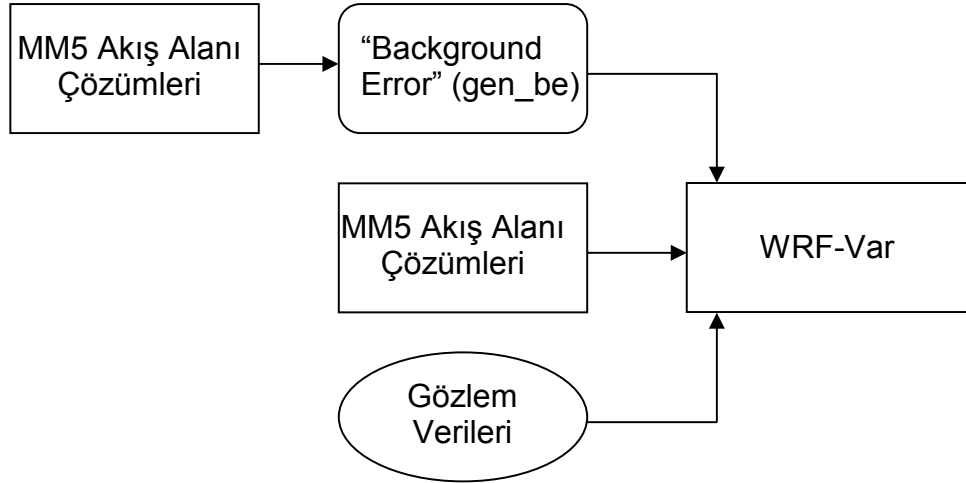
Bu çalışmanın ilk aşamasında, her biri dört çekirdekli 2 işlemciye sahip üç bilgisayarın alımı yapılmıştır (Şekil 2). Toplam 24 çekirdekli bu bilgisayarlar, projenin yürütüldüğü Havacılık ve Uzay Mühendisliği bölümünde var olan Linux işletim sistemi altında çalışan paralel hesaplama kümesine eklenmiştir. Kümeye Linux işletim sisteminin güncel bir sürümü ile MM5 programının paralel ve seri versiyonları kurulmuş, performans analizleri yapılmıştır.



Şekil 2. Proje kapsamında alınan çift işlemcili dört çekirdekli bilgisayarlar

3.2. WRF-Var ile Gözlem Verisi Asimilasyonu

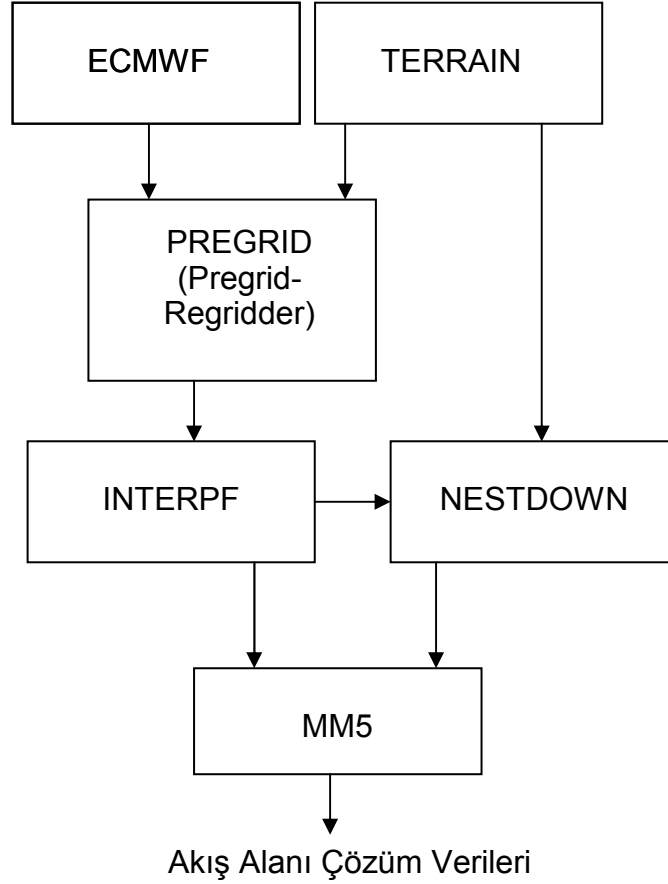
Şekil 3.'de de gösterildiği gibi, WRF-Var programı gözlem verilerine ek olarak "background error" adı verilen akış alanına ait istatistiksel hata verisi ve akış alanı çözümlerine gereksinim duymaktadır:



Şekil 3. WRF-Var veri asimilasyon program girdileri

İstatistiksel hata verisini üretebilmek için WRF-Var'ın bir alt programı olan GEN_BE yazılımının kurulmasına ve çeşitli dönemlere ait Türkiye meteorolojik akış alan çözümlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla öncelikle GEN_BE yazılımı LINUX ortamında derlenerek kurulmuş ve MM5 ile uyumlu çalıştırılabilir hale getirilmiştir. Ayrıca DMİ ile gerekli sözleşmeler yapılarak "Orta Ölçekli Hava Tahminleri Avrupa Merkezi"ne (ECMWF - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) üye olunmuştur. Kartezyen ağ yapısında $155 \times 94 \times 32 = 466240$ düğüm noktası olan Türkiye coğrafyası için 2007 ve 2008 yılına ait başlangıç ve sınır koşullarını ECMWF sunucularından web üzerinden gerekli yazılımlar kullanılarak elde edilmiş ve hesaplamaların yapılacağı paralel hesaplama ortamındaki bilgisayarlara aktarılmıştır.

Bu sınır koşulları kullanılarak proje kapsamında oluşturulan 24 çekirdekli bilgisayar ortamında "MM5" programı ile 48 saatlik hava tahmini çözümleri üretilmiştir. MM5 ile bu çözümlerin üretilmesi süreci Şekil 4.de gösterilen aşamalardan oluşur.

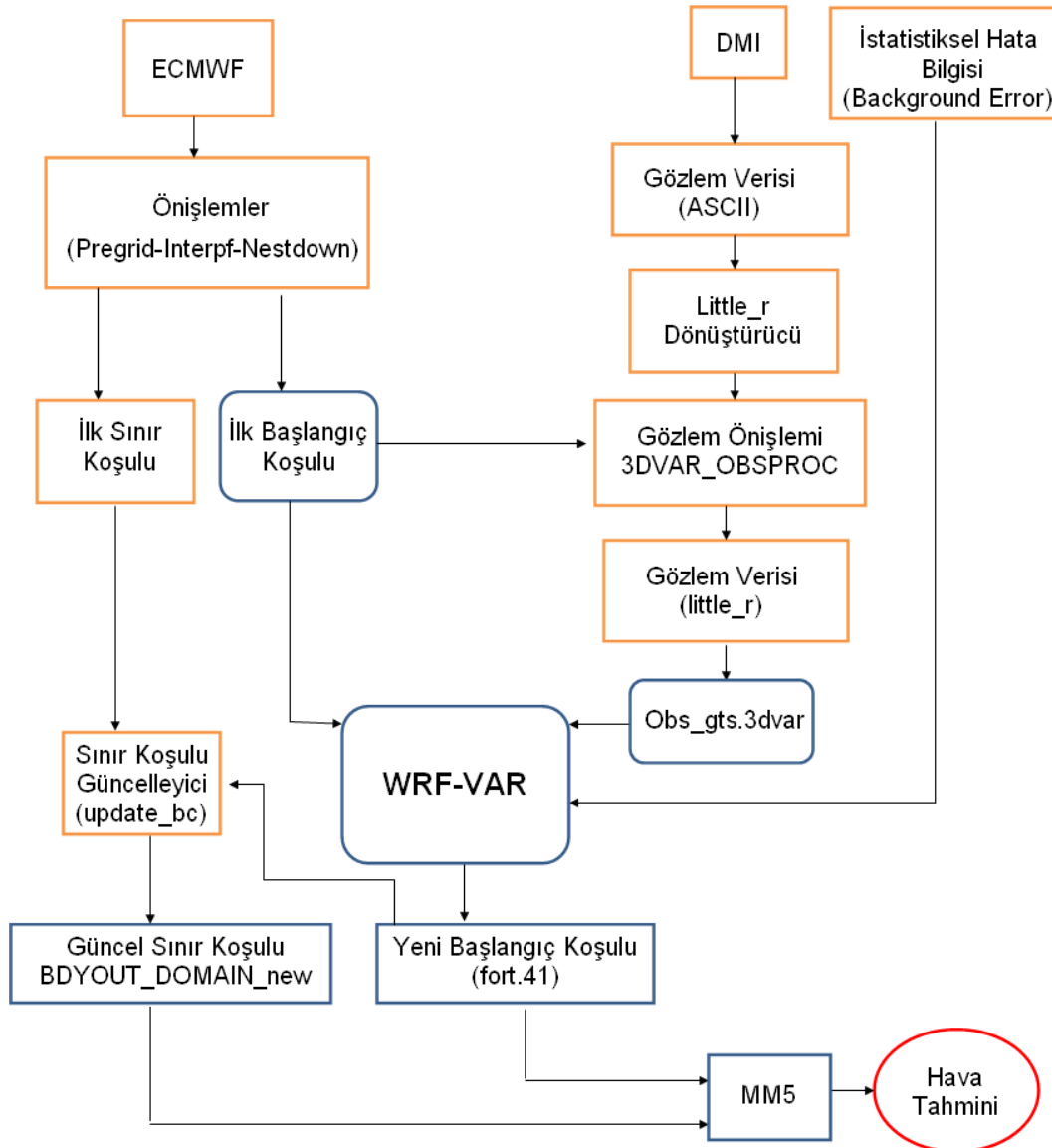


Şekil 4. Akış alanı çözüm verilerinin üretilmesi süreci

Bu süreç şöyle özetlenebilir; ECMWF'den 2007 yılının her Pazartesi ve Salı günlerine ait ve 2008 yılının Ocak ayının her gününe ait başlangıç-sınır koşulları GRIB veri türünde ECMWF'den alınmıştır. MM5'in bir alt programı olan "TERRAIN" ile Türkiye coğrafyası için oluşturulmuş yüzey bilgisi, diğer alt programlar "PREGRID" ve "REGRIDDER" yardımıyla ECMWF'den alınan verilerle birleştirilerek gerekli girdi verisi hazırlanır. Bu adımda oluşturulmuş veriler yükseklik bilgisini basınca bağlı olarak içermekte iken MM5 programı yükseklik verisini Sigma adı verilen farklı bir değişken ile kullanmaktadır. "INTERPF" yazılımı bu basınca dayalı bilgiyi Sigmaya dayalı hale dönüştürür. Çözüme başlamadan önceki son adımda ise daha yüksek çözünürlüklü yüzey bilgisi "NESTDOWN" yardımı ile bu verilere katılarak çözüm üreilmeye başlanır. Her bir 48 saatlik hava tahmin çözümü paralel hesaplama ortamında 8 işlemci ile yaklaşık 2 saatlik bir işlem süresi sonucu elde edilir. Tek bir işlemcide bu süre yaklaşık 15 saattir. Benzer bir süreci DMİ günlük hava tahminleri için izlemektedir.

3.3. Başlangıç ve Sınır Koşullarının, Gözlem Verilerinin Asimilasyonunun Ardından Güncellenmesi

Gözlem istasyonlarından elde edilen atmosferik gözlem verilerin hava tahmini çözümlerinde kullanılan başlangıç ve sınır koşullarına asimilasyonu WRF-Var yazılımı aracılığıyla yapılmaktadır. Orta Ölçekli Hava Tahminleri Avrupa Merkezinden (ECMWF - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) alınan başlangıç ve sınır koşullarının gözlem verilerinin asimilasyonu sonucu yenilenmesi Şekil 5.'teki adımlar uygulanarak oluşturulmaktadır.



Şekil 5. Veri asimilasyonu uygulama süreci

Şekil 5.'te gösterilen bu süreç şöyle özetlenebilir; DMİ'den alınan günlük gözlem verileri, yazılan FORTRAN programı ile işlenerek öncelikle LITTLE_R formatına dönüştürülür. LITTLE_R formatındaki bu gözlem verileri ECMWF'den alınan ilk başlangıç koşulu ile birlikte 3DVAR_OBSPROC önişlemcisi ile işlenerek çözüm alanı dışında kalanlar ve varsa hatalı olanlardan ayıklanır ve bu kez WRF_VAR yazılımı ile uyumlu bir formata (Obs_gts.3dvar) dönüştürülür. WRF-Var programı istatistiksel hata verisini, ECMWF'den alınan ve kullanılan çözüm ağına uygun bir şekilde işlenen ilk başlangıç koşulu verilerini ve 3DVAR_OBSPROC'un çıktısı olan Obs_gts.3dvar dosyalarını kullanarak gözlem verilerinin asimile edildiği yeni başlangıç koşulu dosyasını yaratır. Ardından bu yeni yaratılan başlangıç koşulu ile uyumlu olarak ECMWF'den sınır koşulları güncellenir.

3.4. Uyumlu Dik Ayrışım (POD) Yöntemi

Uyumlu dik ayrışım yöntemi (POD) deneysel veya nümerik olarak elde edilen, birbirleri ile bağımlı verilerden oluşan bir veri kümesi için ampirik modlar verir (Liang,2002). Hesaplanan bu POD modları belirli katsayılarla çarpılarak toplanmaları sonucu veri kümesindeki herhangi bir veri seti belirli bir hata ile yeniden oluşturulabilir.

$$\vec{f} = w_1\vec{\phi}_1 + w_2\vec{\phi}_2 + \dots + w_i\vec{\phi}_i + \dots + w_n\vec{\phi}_n \quad (1)$$

Burada $\vec{\phi}_i$ POD modları, w_i ise bu modların belirlenen katsayısıdır. \vec{f} ise yeniden oluşturulacak veri setini ifade eden vektördür. Yeterli sayıda mod kullanılırsa \vec{f} vektörü oldukça düşük bir hata yüzdesi ile elde edilebilir.

POD teorisi ve POD modlarının hesaplanması birçok çalışmada ayrıntılı olarak anlatılmıştır (Liang, 2002),(Sirovich, 1987),(Bui-Thanh, 2004),(Lucia, 2004). Liang (2002)'in çalışmasının bir kısmı şöyle özetlenebilir; m boyutlu sütun vektörleri olan dik bazlar, $\phi = [\vec{\phi}_1, \vec{\phi}_1, \dots, \vec{\phi}_m]$, kullanılarak \vec{x} vektörü şöyle ifade edilebilir;

$$\vec{x} = \alpha_1\vec{\phi}_1 + \alpha_2\vec{\phi}_2 + \dots + \alpha_m\vec{\phi}_m \quad (2)$$

POD metodunun amacı, $\alpha_i \approx 0$ yakınsamasını ve herhangi bir m boyutlu \vec{x} vektörü için ($i = n + 1, n + 2, \dots, m$) minimum n değerini sağlayan birim boylu dik bazı bulmaktır (φ). Aşağıda belirtilen optimizasyon problemi POD modlarını belirlemektedir.

$$\min_{\varphi_i} E \{ |\vec{x} - \vec{x}_n| \}$$

$$\vec{\varphi}_i \cdot \vec{\varphi}_j = \delta_{ij} \quad \text{koşuluyla ve} \quad i, j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

Burada \vec{x}_n , dik bazın ilk n vektörünün kullanılmasıyla elde edilen \vec{x} vektörünün yaklaşık değeridir. E m -boyutlu rastgele seçilen vektörlerin ortalama operatörüdür. δ_{ij} Kronecker simgesidir ve $i = j$ ise bir, aksi takdirde sıfıra eşittir.

Üçüncü denklemin çözümü, sonlu ve m boyutlu vektörlerin kullanılması ile kolayca elde edilebilir. Bu kümeye i değerinin m değerinden küçük olduğu $X = [(\vec{x}_1) (\vec{x}_2) \dots (\vec{x}_i)]$ matrisi dersek dik bazı oluşturan POD modları X matrisinin özvektörleridir. (Liang,2002).

Bu modların aynı anda birçok değeri sağlaması için gereken katsayılar, bilinmeyen verileri tamamlamak için kullanılabilir. POD metodu birçok aerodinamik ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği probleminde, eksik verilerin tamamlanması ya da yeni veri oluşturulmasında başarıyla kullanılmaktadır. (Bui-Thanh,2004)

Gözlem verilerinin MM5'in başlangıç ve sınır koşullarına asimilasyonu için geliştirilen POD yöntemleri uygulanan süreçler göz önünde bulundurularak üç ana gruba ayrılabilir:

1. Türkiye coğrafyası genelinde veri asimilasyonu
2. Türkiye coğrafyası genelinde Gappy-POD algoritması kullanarak veri asimilasyonu
3. Gözlem istasyonları çevresindeki dar bölgede veri asimilasyonu

3.4.1. Türkiye Coğrafyası Genelinde POD ile Veri Asimilasyonu

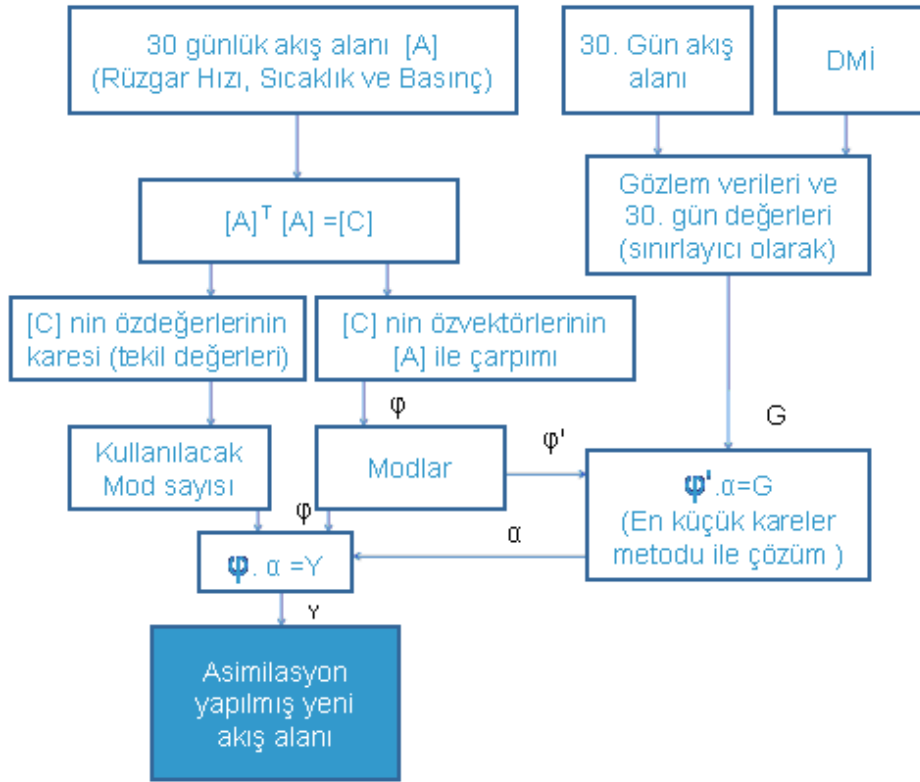
POD ile veri asimilasyonu uygulamasında hava tahmini çözümlerinde yer alan temel bağımlı 4 değişken; rüzgârın kuzey-güney ve doğu-batı hızları, basınç ve sıcaklık, veri setlerini oluşturur. Türkiye coğrafyasını kapsayan 135x258x32'lik bir çözüm ağı için yüzeydeki anlık rüzgâr hızları, sıcaklık ve basınç dağılımları 135x258x4= 139320 elemandan oluşan bir veri setini tanımlar. POD modlarının bulunması için gerekli veri kümesi yeterli sayıdaki (n) bu veri setlerinden oluşturulur. Sütun vektörü olarak dizilen veri setleri A matrisini oluşturur ($[A]_{139320 \times n}$) A matrisinin soldan kendisinin devrik matrisi ile çarpılmasıyla kovaryans matrisi B elde edilir:

$$[A^T]_{n \times 139320} \cdot [A]_{139320 \times n} = [B]_{n \times n}$$

Elde edilen kovaryans matrisi B'nin özdeğerlerinin (eigenvalues) kareleri, tekil değerleri (singular values), özvektörlerinin B matrisi ile çarpımları ise, mod vektörlerini, yani modları verir. Bu çalışmada kovaryans matrisinin özdeğeri ve özvektörleri LAPACK kütüphanesindeki DGEEV alrutinini kullanılarak elde edilmiştir. Büyükten küçüğe sıralanan özdeğerlerin ardışık toplamı, tamamının toplamına oranı %99 olduğu durumlar yeterli mod sayısı olarak belirlenmiştir.

İlgili noktalara denk gelen modlarla çarpılarak gözlem verilerini sağlayan katsayılar, modların tamamıyla çarpıldığında bütün akış alanını oluşturur. Bu katsayılar yine LAPACK kütüphanesinin DGELS alt rutininin aslını oluşturan en küçük kareler metoduyla hesaplanmıştır.

POD metodu ile asimilasyonda kullanılacak veri kümeleri 30 günlük akış alan çözümleri kullanılarak elde edilmiştir. Bu verinin elde edilmesi için 30 ayrı gün için başlangıç ve sınır koşulu, Orta Ölçekli Hava Tahminleri Avrupa Merkezinden (ECMWF - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) alınmıştır. Alınan bu koşullar için ön işlemler uygulanarak (Pregrid, interp, nestdown) akış alanındaki bağımlı değişkenler elde edilmiş ve POD uygulaması için gerekli veri kümesi oluşturulmuştur



Şekil 6. POD ile asimilasyon süreci

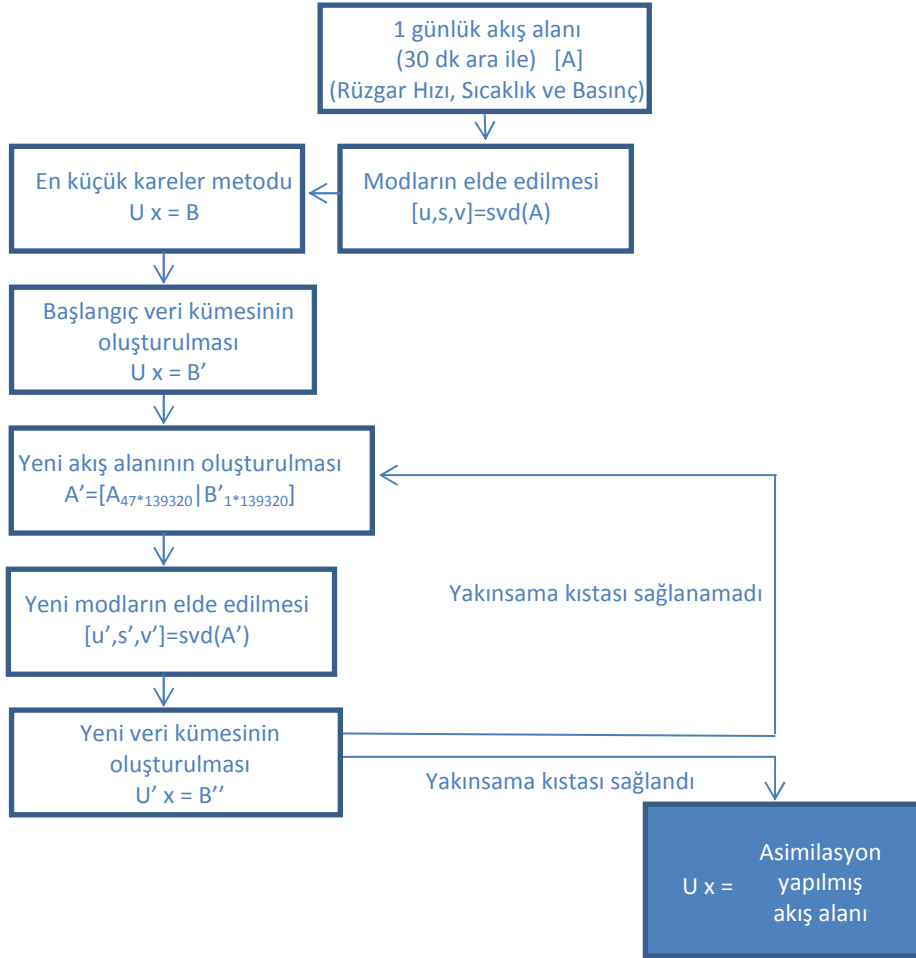
3.4.2. Genişletilmiş Sirovich Yöntemi (Gappy) ile POD Uygulaması

Genişletilmiş Sirovich-Uyumlu Dik Ayrışım algoritması, temel uyumlu dik ayrışım uygulamasından farklı olarak iterasyona dayalı olan bir süreçtir. Literatürde bu metot ile alınan sonuçların POD metoduna oranla daha iyi sonuçlar verdiği ancak nümerik açıdan daha karmaşık ve daha uzun süren bir süreç olduğu belirtilmektedir (Sirisup,2005). Bu algoritmanın uygulanmasının daha önce uyguladığımız temel POD yönteminden farkları şöyle özetlenebilir;

1. Veri asimilasyonu sonrası oluşturulacak hedef veri seti, daha önce oluşturulan veri kümesine temel POD metodu uygulaması sonucu ilk taslak set olarak elde edilir.
2. Elde edilen bu taslak hedef veri seti, veri kümesine eklenerek veri kümesindeki veri seti sayısı bir artırılır. Ardından bu genişletilmiş veri kümesinin POD modları tekrar hesaplanır.

3. Yeniden hesaplanan POD modları hedef veri seti yeniden oluşturulur.
4. 2 ve 3. adımlar hedef veri setinde belirlenen bir yakınsama elde edilinceye kadar tekrar edilir.

Gappy-POD algoritması FORTRAN ile yazılmış ek bir ara program aracılığıyla uygulanmıştır. Bu programın akış şeması Şekil 7. de verilmektedir.



Şekil 7. Genişletilmiş Sirovich-Uyumlu Dik Ayrışım metodunun akış şeması

Gappy-POD algoritması için gerekli veri kümesinin hazırlanması sürecini kısaltmak için öncelikle asimilasyon verisinin ait olduğu gün için MM5 ile 24 saatlik çözüm elde edilmiştir. Elde edilen bu çözümden 30'ar dakikalık aralıklarla 48 adet akış alanı alınmış ve asimilasyon süreci için gerekli veri kümesi oluşturulmuştur. Böylece asimilasyonun yapılabilmesi için sadece asimilasyon yapılacak günün verisi ve onunla yapılan ön çözüm yeterli hale getirilmiştir.

3.4.3. Gözlem İstasyonları Çevresinde POD ile Bölgesel Veri Asimilasyonu

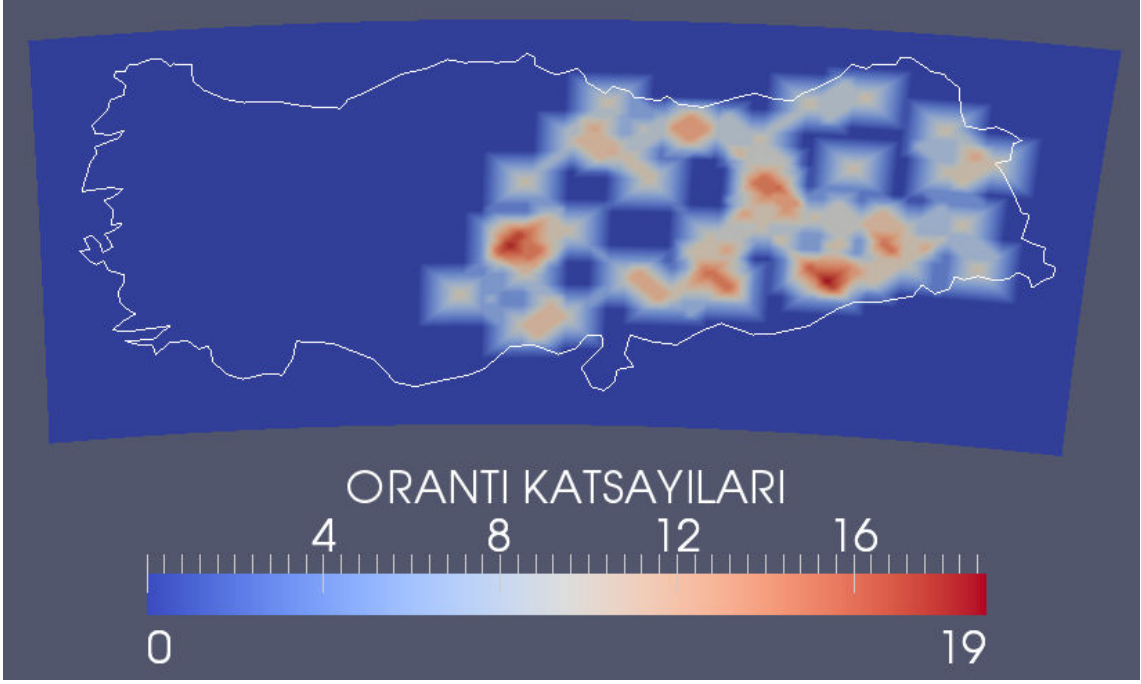
Bu yeni uygulamada, POD yöntemi, tüm Türkiye coğrafyasını içine alan geniş bir akış alanı yerine gözlem istasyonlarının etrafında belirlenen sınırlı bir akış alanı içinde uygulanmıştır.

Tanımlanan sınırlı bölgelerde uygulanan POD sürecinde izlenen adımlar daha önceki POD uygulamasından farksız olup, gözlem istasyonları çevresinde belirlenen dar alanlarda her bir gözlem istasyonu için tekrarlanmıştır. Her bir dar alan içindeki POD uygulamasında, o bölgedeki istasyona ait gözlem verilerini ve o bölgeyi sınırlayan noktadaki sınır koşullarını sağlayan POD modlarının katsayıları en küçük kareler metodu ile elde edilmiş ve bu katsayılarla dar alanlardaki gözlem verilerinin asimile edildiği akış alanları belirlenmiştir. Tüm gözlem istasyonları için tek tek uygulanan veri asimilasyonları sonucunda elde edilen bölgesel veriler birleştirilerek tüm Türkiye coğrafyasına ait MM5 için gerekli ilk başlangıç koşulları elde edilmiştir.

Bu çalışmada dar bölgeler farklı büyüklüklerde incelenmiştir, ancak tüm bölgelerde sabit büyüklükte kare alanlar tanımlanmıştır. Gözlem istasyonunun konumlandığı bölgedeki coğrafi özelliklerin daha yakından incelenmesi sonucunda bu alanların büyüklükleri farklılaştırılabilir. Geliştirilen FORTRAN programında dar bölgelerin büyüklükleri parametre olarak tanımlanmıştır.

Birbirine yakın gözlem istasyonlarının etki alanlarının örtüştüğü durumlarda, dar bölgelerdeki asimilasyon sonucu elde edilmiş akış değişkenlerinin gözlem istasyonuna olan en kısa düğüm sayısı ile ters orantılı olarak ortalamaları alınmıştır. Bu ortalamaların alınmasında kullanılan Türkiye coğrafyasına ait katsayılar bir arada Şekil 8.'deki gibi gösterilmektedir.

Böylece etki alanlarının örtüştüğü iki veya daha fazla gözlem istasyonu çevresinde asimilasyon sonrası elde edilen yeni akış değişkenlerinin çevre gözlem istasyonlarından gelen ölçümlerden etkilenmesi sağlanmıştır.



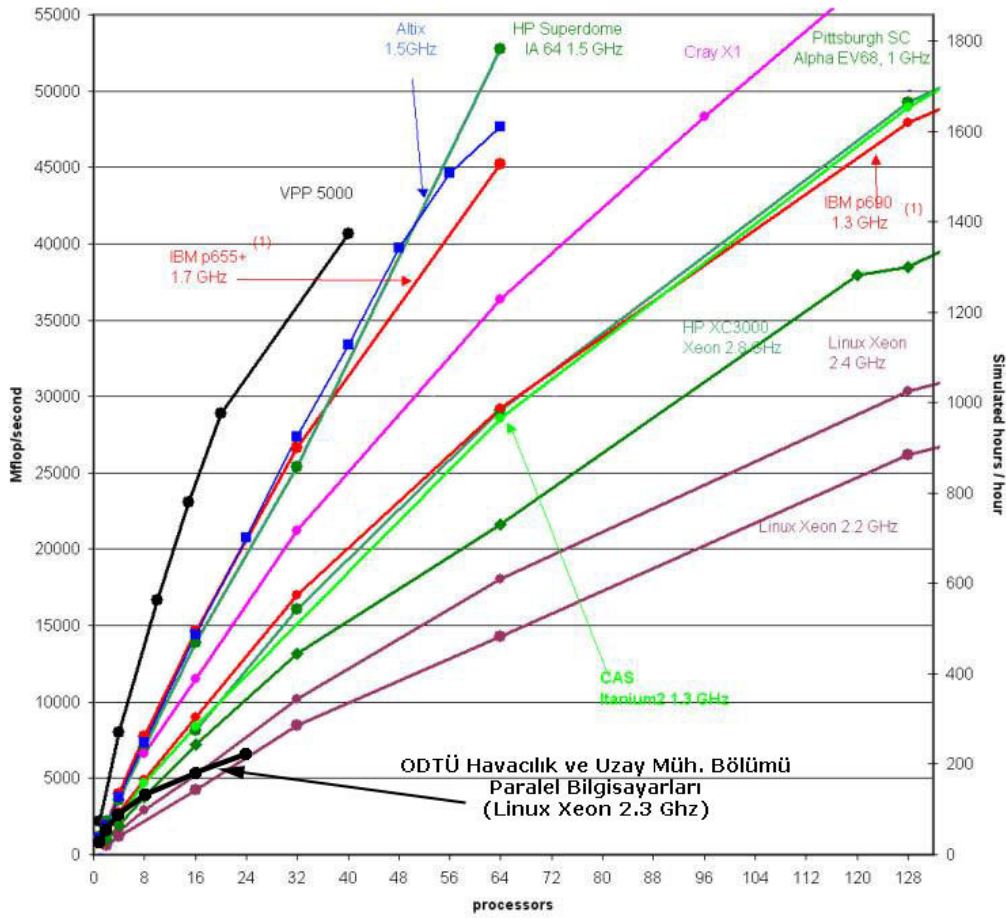
Şekil 8. Ortalama hesabında kullanılan katsayılar

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada öncelikle MM5 yazılımı proje kapsamında alınan bilgisayarlarla genişletilen ODTÜ Havacılık ve Uzay Müh. Bölümündeki paralel hesaplama ortamına kurulmuş ve yazılım paralel olarak çalıştırılarak elde edilen hava tahminleri ile doğrulanmıştır. Ardından WRF-VAR ile MM5 başlangıç koşullarına veri asimilasyonu yapılmıştır. Çalışmanın devamında geliştirilen POD temelli veri asimilasyonu yöntemleriyle elde edilen bulgular sunulmuş ve tartışılmıştır.

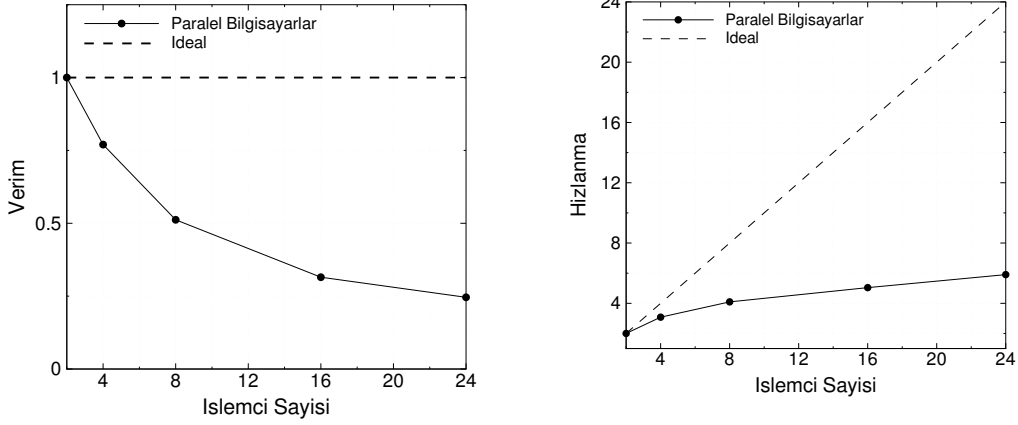
4.1. MM5 Yazılımının Paralel Olarak Çalıştırılması

MM5 programı, performans analizi için kullanılan 36 km çözünürlüklü Avrupa kıtası üzerindeki yüzey ve başlangıç/sınır koşulları ile paralel ve seri olarak çalıştırılmış ve performans analizi gerçekleştirilmiştir. Çözüm alanı, Doğu-Batı yönünde (x) 136, Güney-Kuzey yönünde (y) 112 ve düşeyde (z) 33 düğüm noktası olmak üzere toplam 503000 düğüm noktasından oluşmaktadır. Analizde, 3 saatlik bir hava tahmini için 130 zaman adımı kullanılmaktadır. 1,2,4,8,16 ve 24 işlemci kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 9.'da verilmektedir. Görüldüğü gibi proje kapsamında güncel işlemcilerden oluşturulan bilgisayar kümesi yüksek performanslı bilgisayar sistemlerinin performansına ulaşabilmektedir. 4 ve 8 çekirdek (tek PC) kullanılarak yapılan hesaplamaların IBMP690'nın performansına oldukça yakın olduğu görülmektedir. Şekil 10. ve 11'de ise performans analizi için kullanılan örnek hava tahmin problemi için bilgisayar kümesindeki paralel hesaplamanın verim ve hızlanma grafiklerini göstermektedir. Artan işlemci sayısı ile hesaplama performansındaki düşme kısmen Myrenet gibi çok hızlı ethernet bağlantıları yerine sıradan gigabit hızındaki ethernet ağının kullanılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca test probleminin yeterince büyük olmaması çekirdek/işlemci başına düşen hesaplama/iletişim oranını düşürmekte ve paralel işlemlerdeki verimliliğin düşmesine yol açmaktadır.

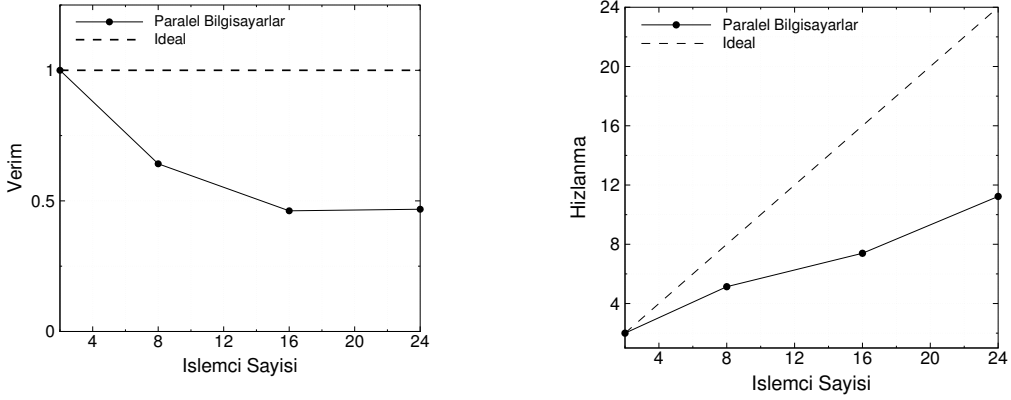


Şekil 9. Test problem için performans analizi karşılaştırması

Performans analizlerinin ardından, DMİ'den temin edilen Türkiye coğrafyası için verilen örnek başlangıç ve sınır koşulları ile MM5 programı paralel olarak çalıştırılmıştır. Proje kapsamında oluşturulan paralel hesaplama ortamında 8 işlemci kullanılarak 24 saatlik Türkiye hava tahmini için yapılan akış çözümü yaklaşık 140 dakikada elde edilmektedir. Bu hesaplama süresi, 16 işlemci kullanıldığında 95 dakikaya, 24 işlemcinin hepsi kullanıldığında ise 65 dakikaya düşmektedir. DMİ'nin, AIX5000 işletim sistemine dayalı 16 işlemcili IBM P690 bilgisayarı aynı çözümü 80 dakikada hesaplamaktadır. Bilgisayar kümesindeki paralel hesaplamaların verimi ve hızlanması Şekil 10. ve 11.'de verilmiştir. Görüldüğü gibi 24 çekirdek/işlemci ile hesaplamalar 12 kat hızlanmaktadır ve DMİ'de yapılan hesaplamalarla karşılaştırıldığında Türkiye için 2 günlük hava tahmini hesaplamalarının %20 daha hızlı elde edildiği görülmektedir.



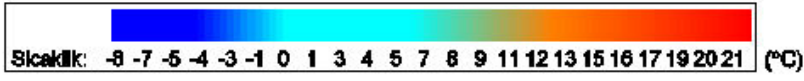
Şekil 10. Test problem için paralel hesaplama verimi ve hızlanması



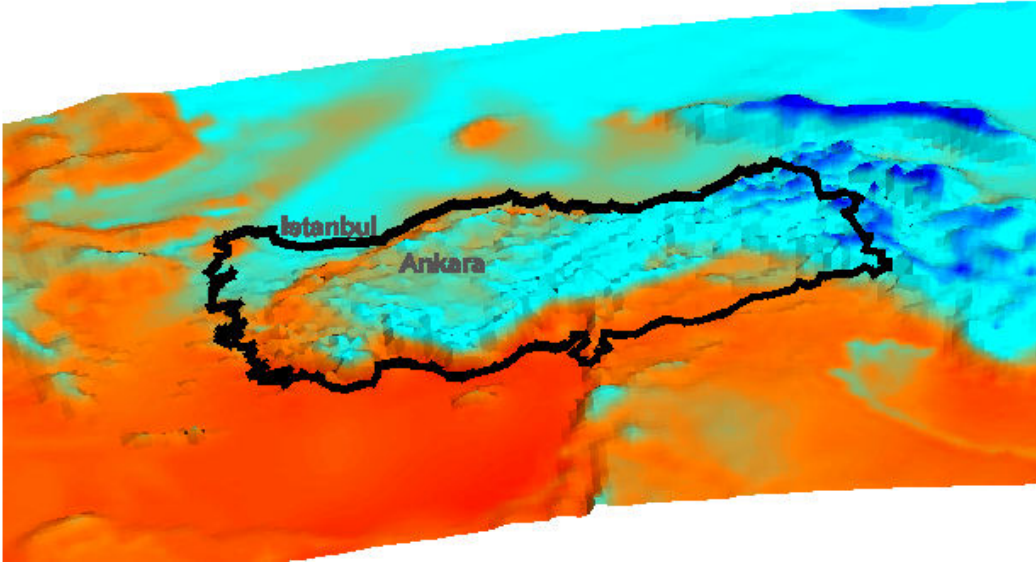
Şekil 11. Türkiye hava tahmini için paralel hesaplama verimi ve hızlanması

Çözümlemeler sonucunda elde edilen sıcaklık ve rüzgar alanları Şekil 12,13 ve 14'te verilmektedir. Elde edilen bu sonuçlar DMİ'nin yüksek performanslı bilgisayar merkezinde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda, hesaplanan akış alanlarının sayısal doğruluğunun yanı sıra günümüzde yaygın olarak kullanılan INTEL ve AMD gibi sıradan işlemcilerle dayalı bir paralel hesaplama kümesinin yüksek performanslı bilgisayarlar kadar hızlı ve verimli olduğu görülmektedir.

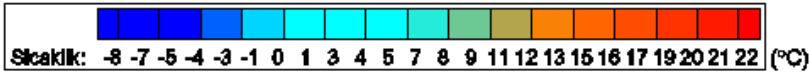
Bir sonraki çalışmada, Ankara ili ve çevresi için yüksek çözünürlüklü hava tahmini yapabilmek için 2 km çözünürlüklü MM5 çözüm ağı oluşturulmuş ve DMİ'den temin edilen başlangıç ve sınır koşulları ile MM5 programı çalıştırılarak Ankara için yüksek çözünürlüklü hava tahmini çalışmaları başarı ile tamamlanmıştır (Şekil 15,16,17 ve 18).



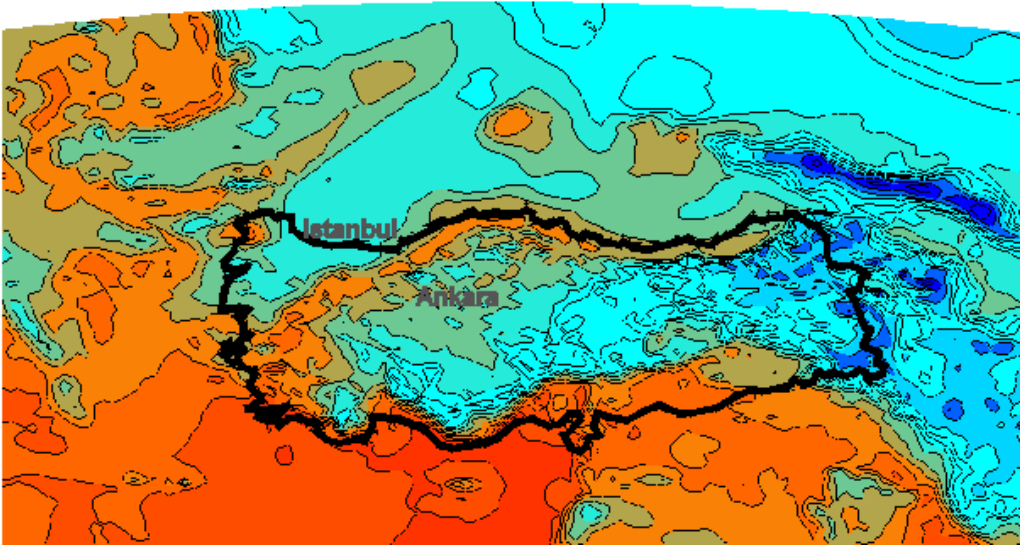
27 Kasım 2006
00:00:00



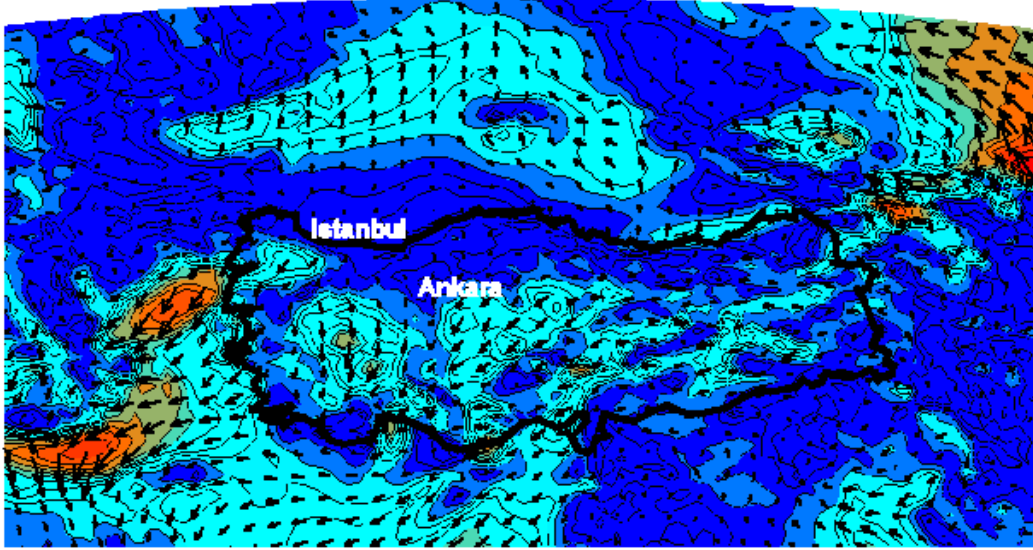
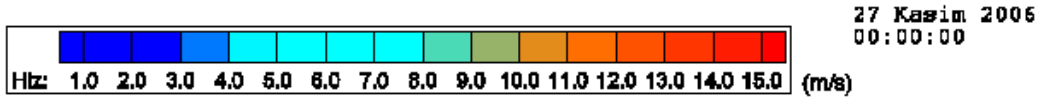
Şekil 12. Türkiye üzerindeki 3 boyutlu eş sıcaklık çizgileri



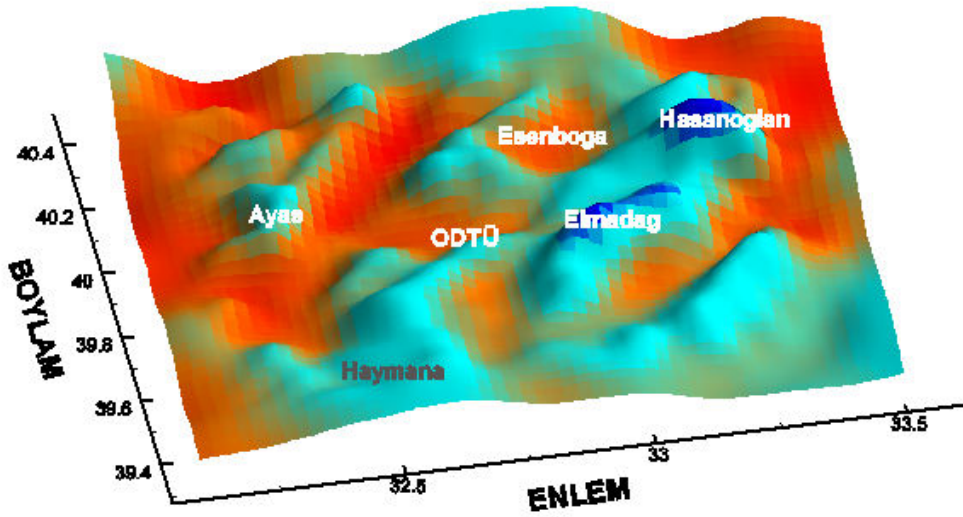
27 Kasım 2006
00:00:00



Şekil 13. Türkiye üzerindeki eş sıcaklık çizgileri

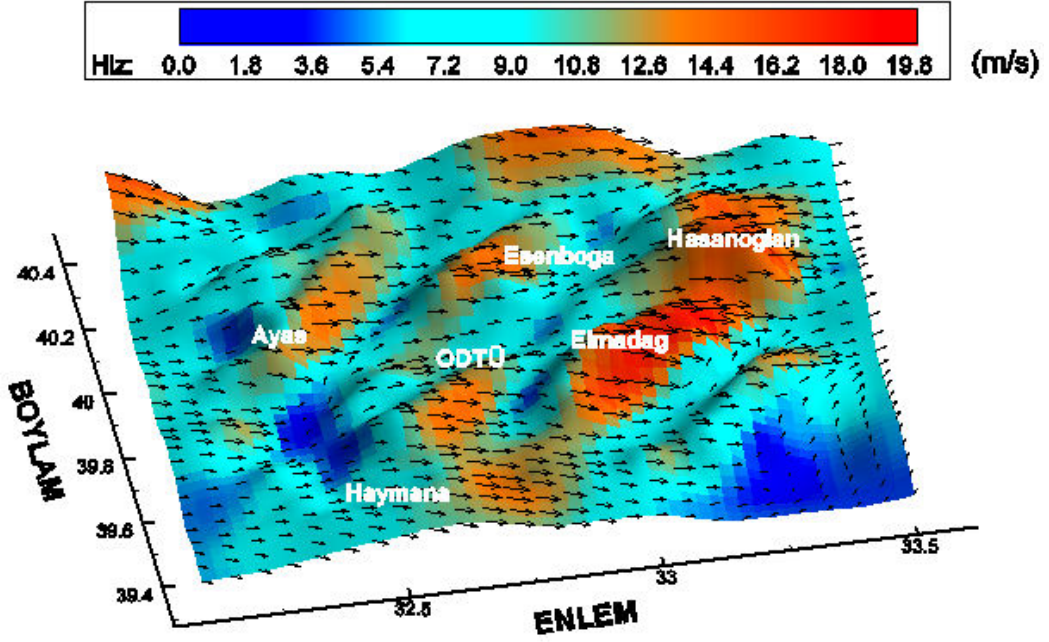


Şekil 14. Türkiye üzerindeki eş hız çizgileri ve hız vektörleri
30 Ocak 2007
06:00:00



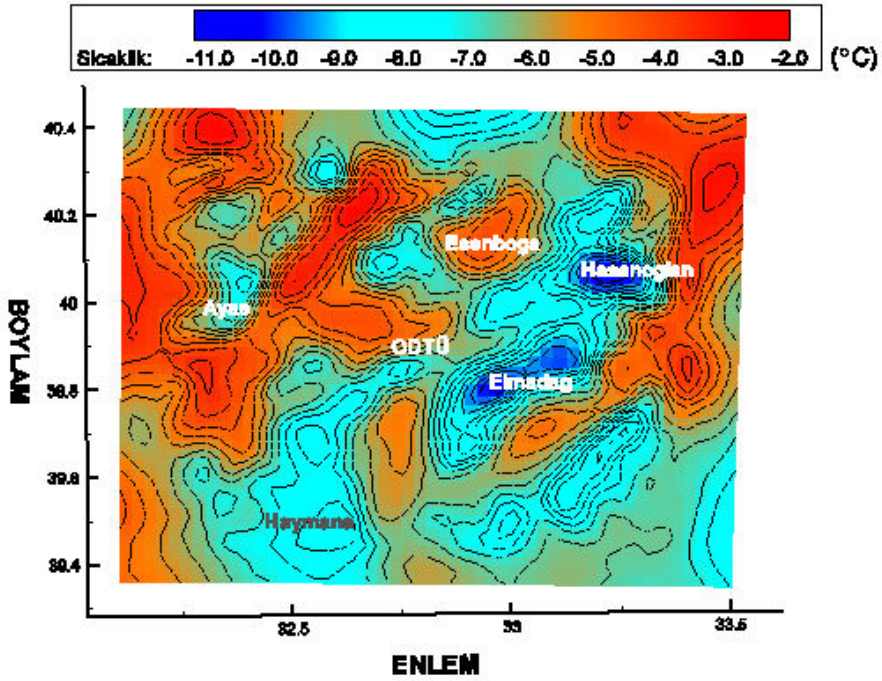
Şekil 15. Ankara üzerindeki 3 boyutlu eş sıcaklık çizgileri

30 Ocak 2007
06:00:00



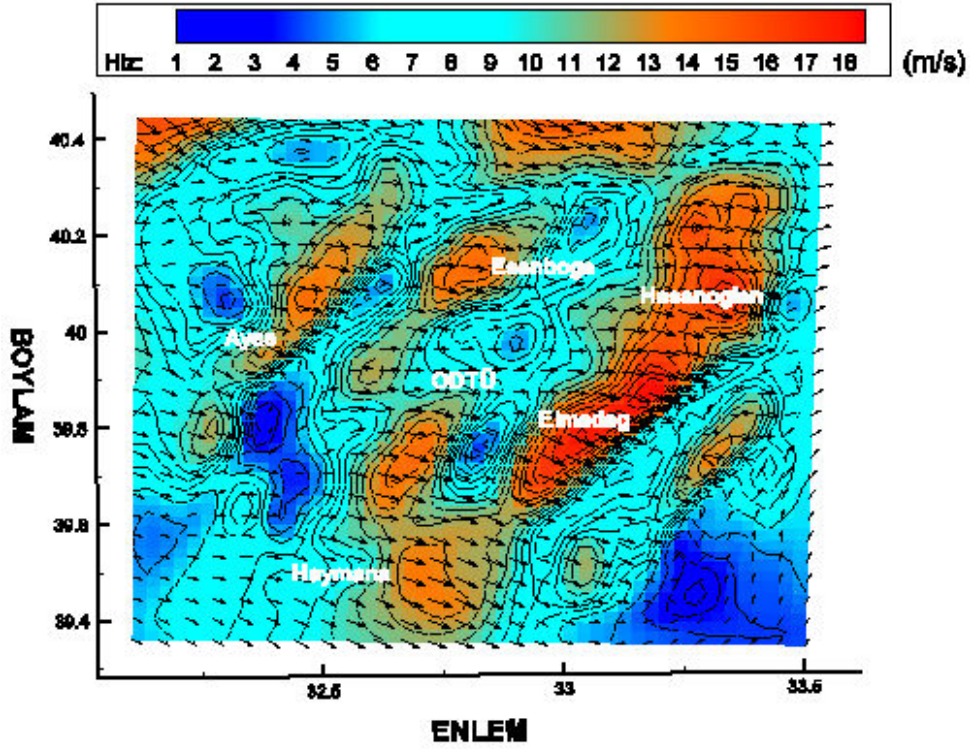
Şekil 16. Ankara üzerindeki 3 boyutlu eş hız çizgileri ve hız vektörleri

30 Ocak 2007
06:00:00



Şekil 17. Ankara üzerindeki eş sıcaklık çizgileri

30 Ocak 2007
06:00:00

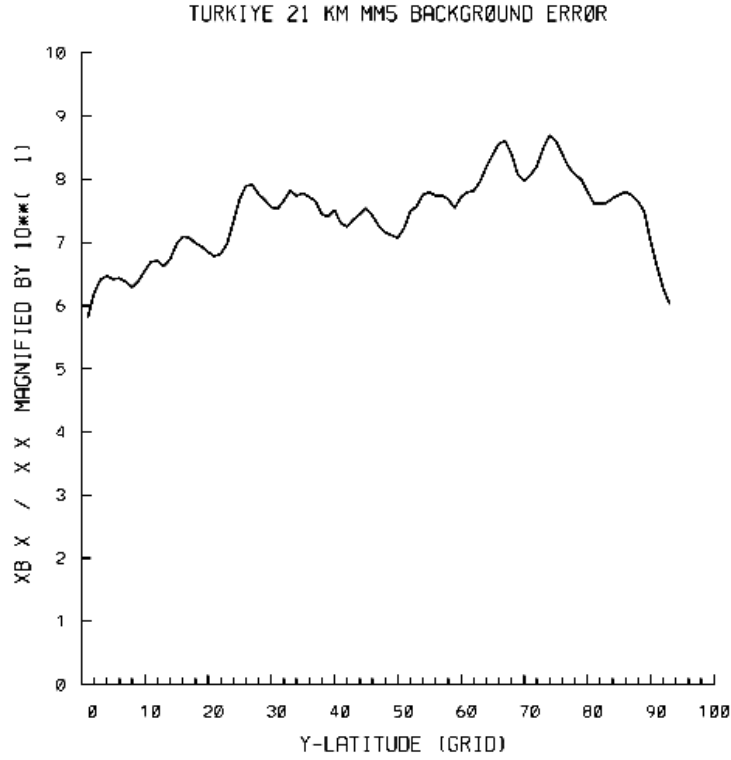


Şekil 18. Ankara üzerindeki eş hız çizgileri ve hız vektörleri

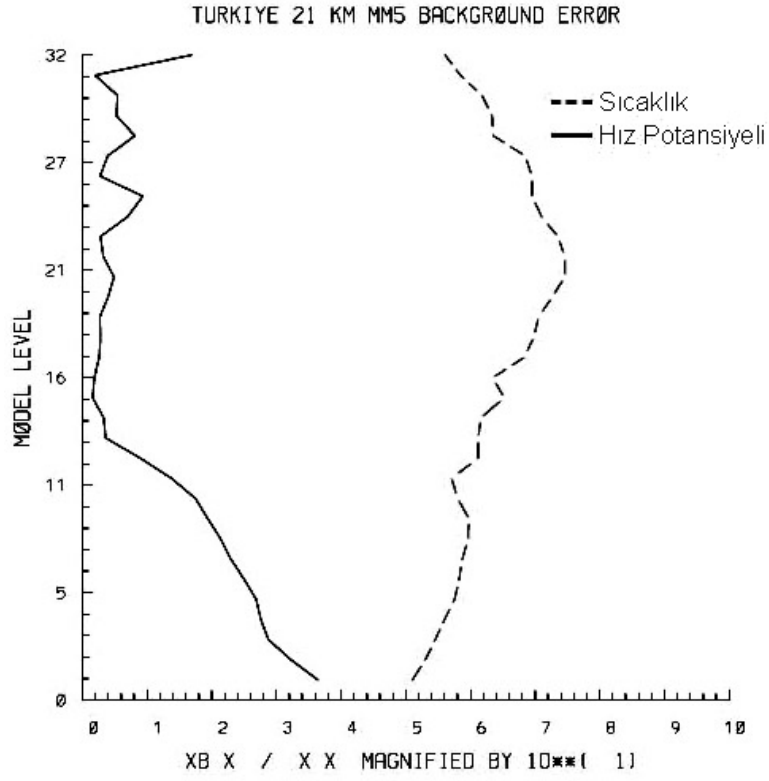
4.2. İstatistiksel Hata Verisinin (Background Error) Oluşturulması

Gözlem verilerinin sayısal çözümlerdeki başlangıç koşullarına 3DVAR yöntemiyle asimilasyonu için istatistiksel hata bilgisinin (background error) oluşturulması gereklidir. Türkiye coğrafyası için istatistiksel hata verisi (background error) oluşturulması amacıyla Parrish(1992)'in önerdiği şekilde 24 ve 48 saatlik ardışık akış alanları çözümleri yapılmıştır. Bu çözümlerde Ocak ayına ait ardışık veriler kullanılmıştır. Elde edilen akış çözümlerinden WRF-Var'ın yardımcı programı GEN_BE aracılığıyla istatistiksel hata verisi oluşturulmuştur. Bu istatistiksel hata verisinin oluşturulmasında 5 denetim değişkeni (control variable) kullanılmıştır. Bu değişkenler; Akım fonksiyonu (Stream Function, ψ), Dengelenmemiş hız potansiyeli (unbalanced velocity potential, χ_u), Dengelenmemiş sıcaklık (Unbalanced Temperature, T_u), Dengelenmemiş Yüzey Basıncı (Unbalanced Surface Pressure, P_{s_u}) ve Sanal Bağıl Nem (Pseudo Relative Humidity, RH) olarak seçilmiştir. Şekil 19,

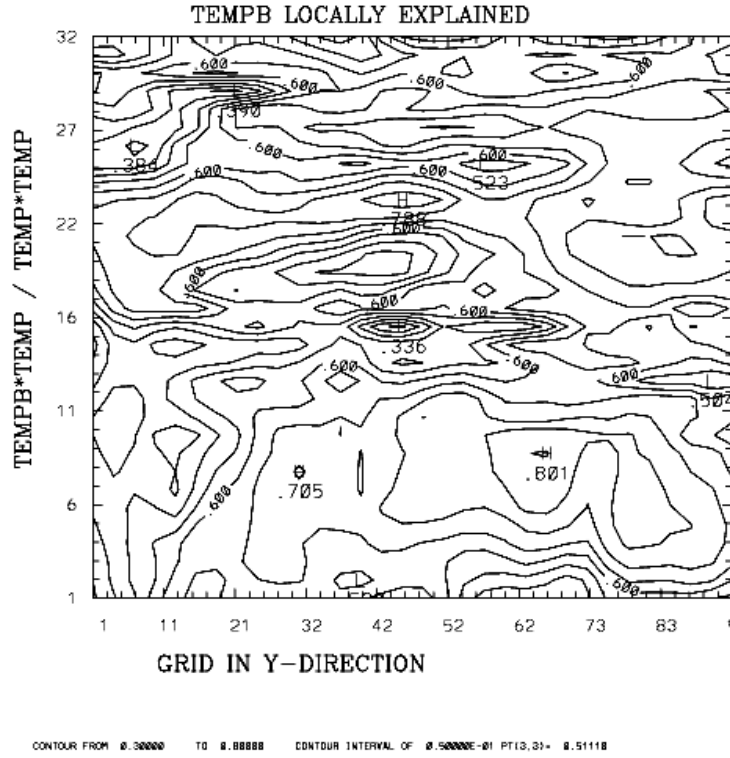
Dengelenmiş Yüzey Basınç (P_{sb}) kovaryansının, Yüzey Basıncı (P_s) varyansına oranını ağ enlem düğümleri boyunca (Grid nodes along Latitude Direction) vermektedir. Dengelenmiş Sıcaklık (T_b) ve Hız Potansiyeli (χ_b) kovaryanslarının, Sıcaklık(T) ve Hız Potansiyeli(χ) varyanslarına oranı Şekil 20'de verilmektedir. Şekil 21. ve Şekil 22. ise bu oranların eş çizgilerini enlem ve yükseklik alanında göstermektedir. Şekil 21.'de en yüksek eş çizgi değeri yaklaşık 0,8'dir. Şekil 22.'de bu değer 0,6 civarındadır. Lee ve diğerleri(2006)'ne göre, eş çizgilerin böylesine yüksek değerler alması seçilen denetim değişkenlerinin uygun seçildiği anlamına gelmektedir.



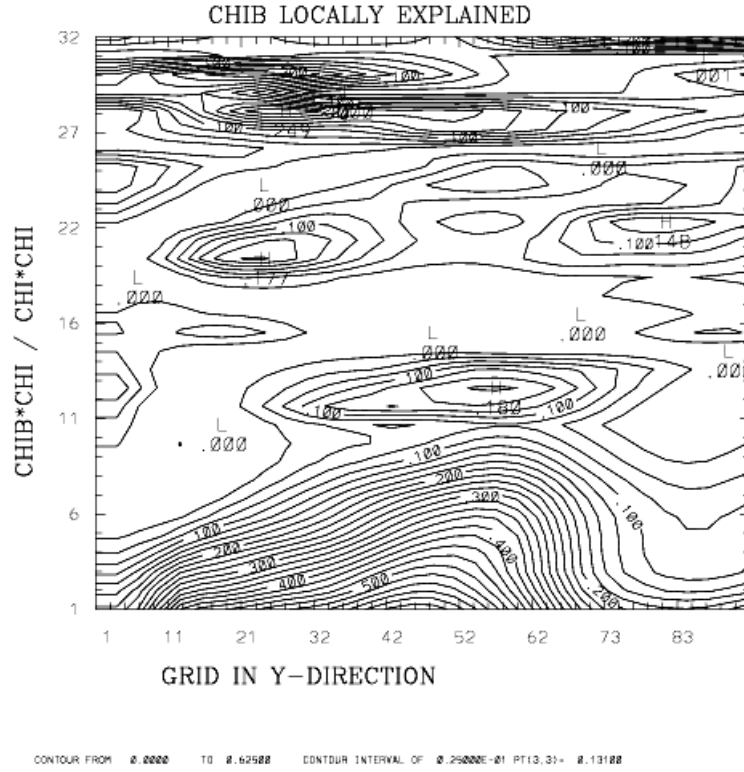
Şekil 19. Dengelenmiş Yüzey Basınç (P_{sb}) kovaryansının, Yüzey Basıncı (P_s) varyansına oranı



Şekil 20. Dengelenmiş Sıcaklık (T_b) ve Hız Potansiyeli (χ_b) kovaryanslarının, Sıcaklık(T) ve Hız Potansiyeli(χ) varyanslarına oranı



Şekil 21. Dengelenmiş Sıcaklık (T_b) kovaryansının, Sıcaklık (T) varyansına oran eş çizgileri

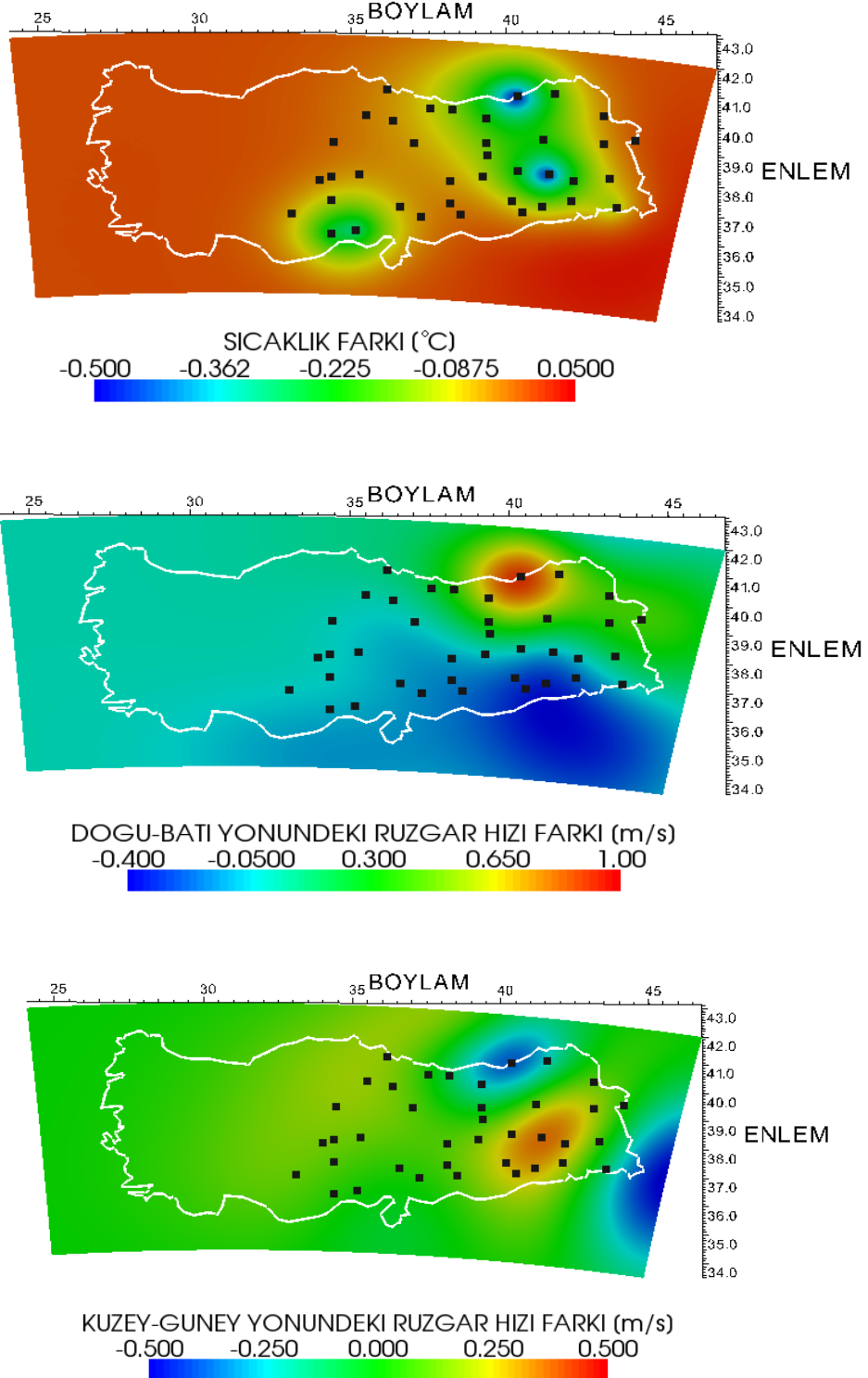


Şekil 22. Dengelenmiş Hız Potansiyeli (χ_b) kovaryansının, Hız Potansiyeli (χ) varyansına oran eş çizgileri

4.3. WRF-Var ile Gözlem Verisi Asimilasyonu

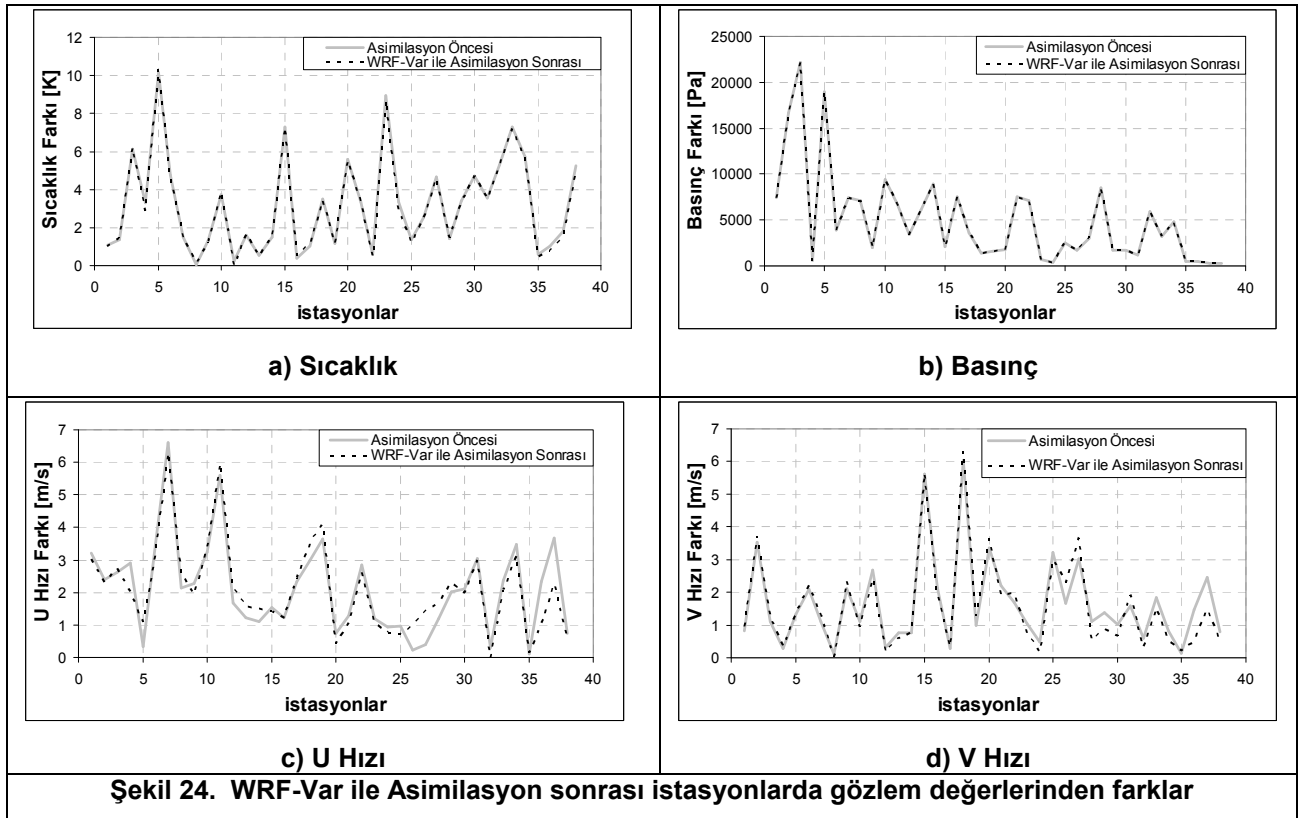
Gözlem istasyonlarından elde edilen atmosferik gözlem verilerinin hava tahmini çözümlerinde kullanılan ilk başlangıç ve sınır koşullarına asimilasyonu WRF-Var yazılımı aracılığıyla yapılmaktadır. Bu süreç uygulanması şöyle özetlenebilir; DMİ'den alınan günlük gözlem verileri, yazılan FORTRAN programı ile işlenerek öncelikle LITTLE_R formatına dönüştürülür. LITTLE_R formatındaki bu gözlem verileri ECMWF'den alınan ilk başlangıç koşulu ile birlikte 3DVAR_OBSPROC önışlemcisi ile işlenerek çözüm alanı dışında kalanlar ve varsa hatalı olanlardan ayıklanır ve bu kez WRF_VAR yazılımı ile uyumlu bir formata (Obs_gts.3dvar) dönüştürülür. WRF-Var programı ise istatistiksel hata verisini, ECMWF'den alınan ve kullanılan çözüm ağına uygun bir şekilde işlenen ilk başlangıç koşulu verilerini ve 3DVAR_OBSPROC'un çıktısı olan Obs_gts.3dvar dosyalarını kullanarak gözlem verilerinin asimile edildiği yeni başlangıç koşulu dosyasını yaratır. Ardından bu yeni yaratılan başlangıç koşulu ile uyumlu olarak ECMWF'den alınan sınır koşulları güncellenir.

Bu çalışmada 31/03/2007 tarihindeki gözlem verileri asimilasyon için kullanılmıştır. Şekil 23. WRF-Var ile veri asimilasyonu sonunda elde edilen yeni başlangıç koşuluna ait sıcaklık ve rüzgâr hızı değerleri ile veri asimilasyonu yapılmamış, ECMWF'den alınan ilk başlangıç koşuluna ait değerlerin farkını göstermektedir. Gözlem verilerinin alındığı istasyonlar grafiklerde siyah noktalarla gösterilmiştir.



Şekil 23. WRF-Var ile gözlem verisi asimilasyonu sonrası akış değişkenlerinin dağılımı

Görüldüğü gibi veri asimilasyonunun etkisi gözlem verisi alınan Orta ve Doğu Anadolu'daki gözlem istasyonlarının konumları ile uyumludur. Ancak asimilasyon sonrası akış değişkenlerindeki değişimi çok düşük mertebelere düşürmüştür. WRF-Var'ın çalışma modeli başlangıç koşulu ile gözlem verileri arasındaki farkın numarikel hesaplamalardaki istatistiksel hata verisi ve gözlem verilerindeki nominal hatanın göz önüne alınarak minimize edilmesidir. Gözlem istasyonlarına yakın ve çözüm hatasının çok düşük olmadığı bölgelerde gözlem verisinin daha ağırlıklı olarak başlangıç koşuluna yedirilmesi beklenir. Şekil 24'da gözlem istasyonlarına en yakın düğüm noktalarındaki akış değişkenlerinin asimilasyon öncesi ve sonrası gözlem değerlerinden farkları verilmektedir. Burada WRF-Var ile gözlem verilerinin oldukça sınırlı bir şekilde asimilasyon sonrası dağılımlara yansıdığı açıkça görülmektedir.

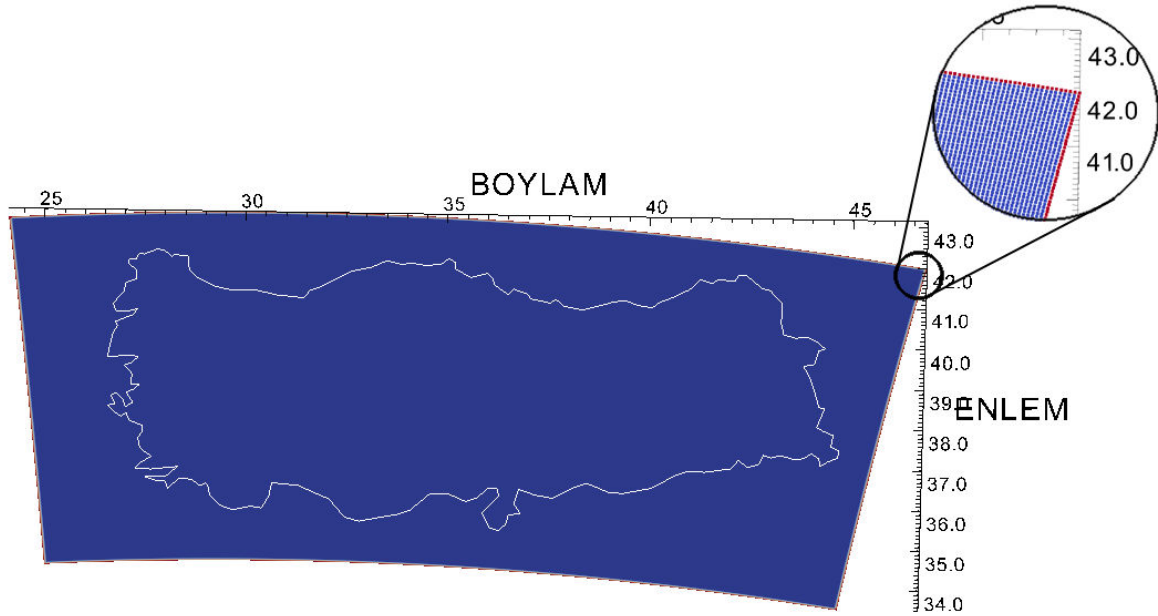


4.4. POD ile Gözlem Verisi Asimilasyonu

POD temelli veri asimilasyonları öncesi POD yönteminin ve geliştirilen programların doğrulaması yapılmıştır. Ardından Türkiye coğrafyası genelinde POD ve Gappy-POD ile ve gözlem istasyonları çevresinde bölgesel POD ile yapılan veri asimilasyonu sonuçları sunulmuştur.

4.4.1. POD Yönteminin Doğrulanması

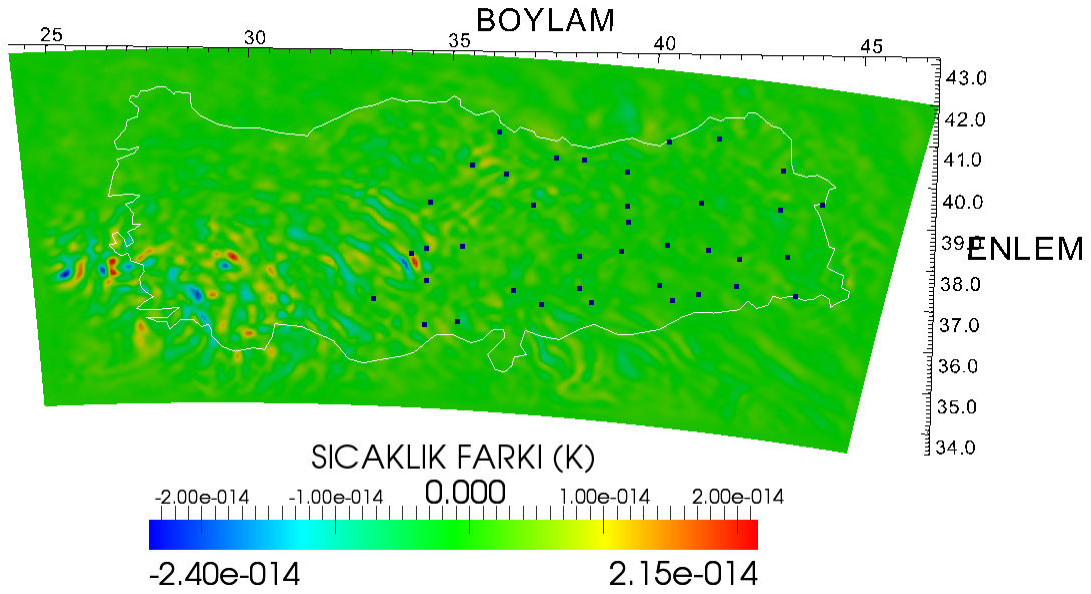
Raporun Gereç ve Yöntem başlığı altında açıklanan POD yönteminin değerlendirilmesi ve yazılan FORTRAN programının doğrulanması için Türkiye coğrafyasına ait 135x258x32 boyutlu çözüm ağı ile elde edilen çözümlerden yüzey tabakasına ait dört değişken için her biri 135x258x4=139320 elemanlı 48 veri seti ile 48 POD mod vektörü ve tekil değerleri elde edilmiştir. Ardından Türkiye coğrafyasının sınır bölgesini oluşturan 1 sıra veri ve en küçük kareler metodunun kullanıldığı adımda, katsayılar aranırken Türkiye coğrafyasının sınırlarında bulunan toplam $((135-1)+(258-1))*2=782$ noktadaki başlangıç koşullarından alınan akış değişkenleri kullanılmıştır. Şekil 25. kullanılan verilerin alındığı noktaları göstermektedir.



Şekil 25. En küçük kareler metodunda hesaba katılan verilerin konumları (Kırmızı)

Yeniden oluşturulmuş tüm noktalardaki akış değişkenlerinin değerlerin, 1. günün tüm akış alanındaki değerlere olan farkları Şekil 26.de verilmiştir. Beklenildiği gibi POD

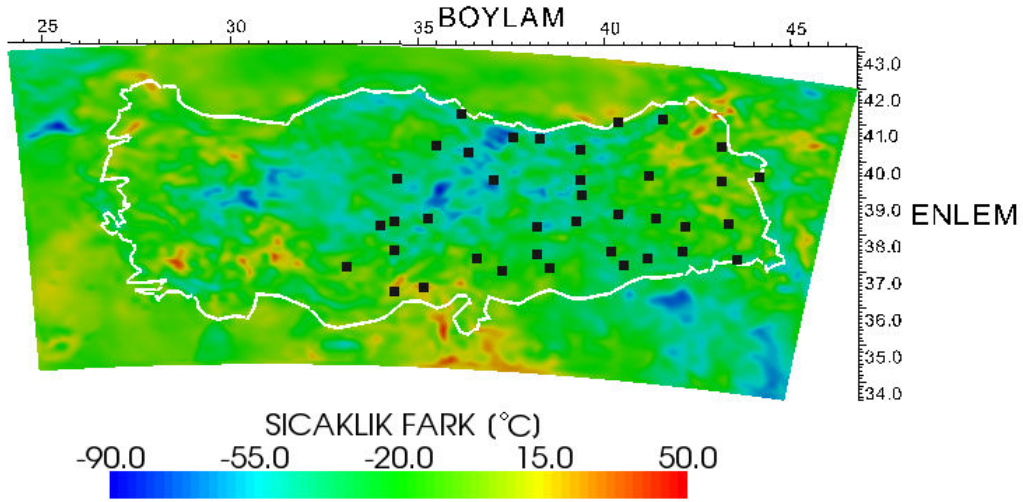
modları kullanılarak yeniden yaratılan akış alanının asıl akış alanından farkı 10^{-14} mertebesindedir. Yine Türkiye coğrafyasının sınırlarında bulunan toplam $((135-1)+(258-1))*2=782$ noktadan eşit aralıklarla 16 noktadan biri alınarak toplam 49 nokta için başlangıç koşullarından alınan akış değişkenleri kullanıldığında yeniden yaratılan akış alanının asıl akış alanından farkı 10^{-12} mertebesinde olduğu gözlenmiştir. POD yöntemi ile atmosferik akış alanlarının modlarının bulunmasının ve bu modlarla akış alanlarının yeniden oluşturulmasının oldukça başarılı bir yaklaşım olduğu görülmektedir.



Şekil 26. 782 nokta verisi ile yeniden oluşturulan sıcaklık (T) alanının ilk dağılımından farkı

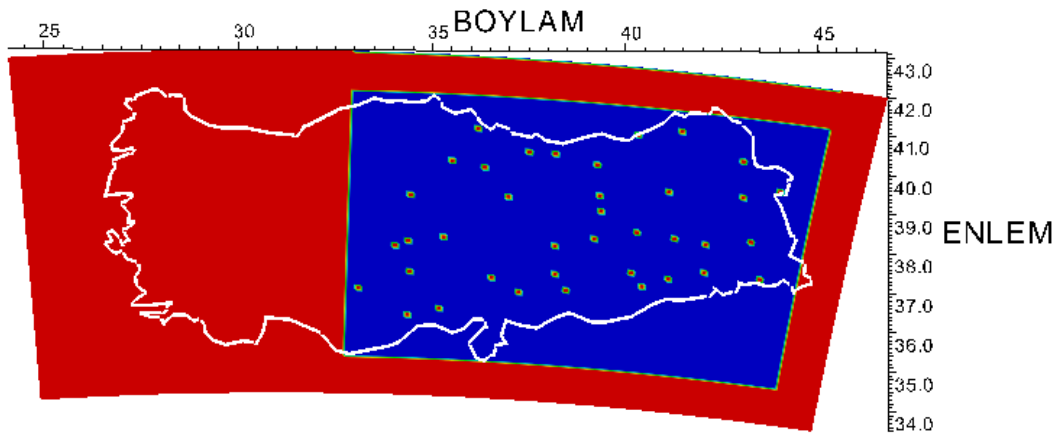
4.4.2. Türkiye Coğrafyası Genelinde POD ile Veri Asimilasyonu

Geliştirilen programın doğrulanmasının ardından veri asimilasyonu çalışmalarına başlanmıştır. İlk aşamada sadece gözlem verileri ve doğrulama aşamasında elde edilen POD modları kullanılarak tüm akış alanının oluşturulması hedeflenmiştir. Şekil 27. veri asimilasyonu sonrası oluşturulan akış alanı ile ECMWF'den alınarak işlenen ham akış alanı değerlerinin farkını göstermektedir.

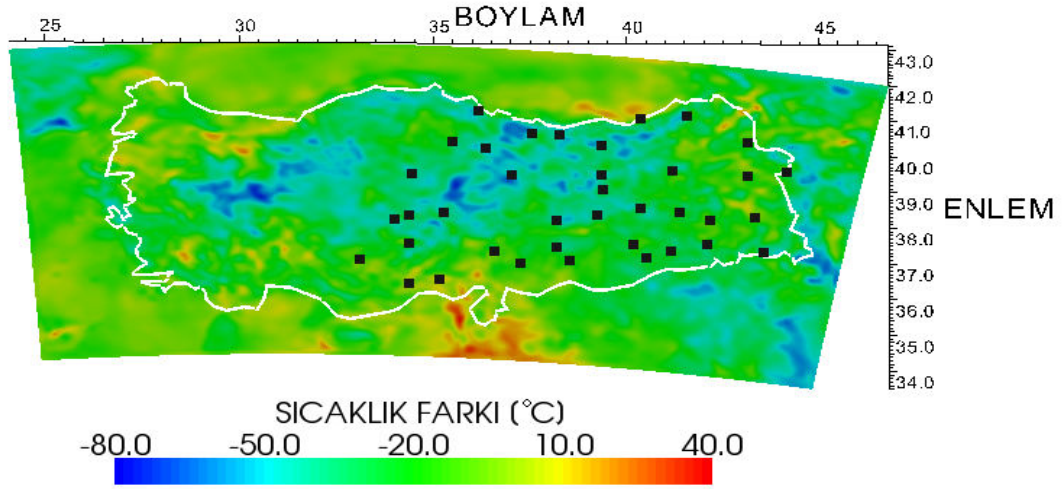


Şekil 27. Gözlem istasyonlarında, gözlem verileri kullanılarak oluşturulan sıcaklık (T) alanının ilk dağılımından farkı

Bu şekilde asimilasyon sonrası elde edilen sıcaklık (T) değerlerinin beklenen değerlerden çok farklı olduğu görülmektedir. Bu beklenmeyen farklılık asimilasyon için POD modların katsayıları hesaplanırken gözlem verilerinin bulunduğu bölgelerden uzaktaki akış değerlerinin katsayı hesaplamalarına katılmamış olmasından kaynaklanabileceği, gözlem istasyonlarına uzak bölgelerdeki akış alanı değerlerinin de çözüme dâhil edilerek daha iyi sonuçlar alınabileceği değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda Şekil 28. da gözlem istasyonlardan uzaktaki, kırmızı ile gösterilen bölgelerdeki akış değerleri ve gözlem verileri kullanılarak POD modlarının katsayıları yeniden hesaplanmıştır. Ancak elde edilen sıcaklık (T) farklarının (Şekil 29.) bir önceki sonuçlardan daha küçük boyutta da olsa hala beklenenin üzerinde olduğu gözlenmektedir.

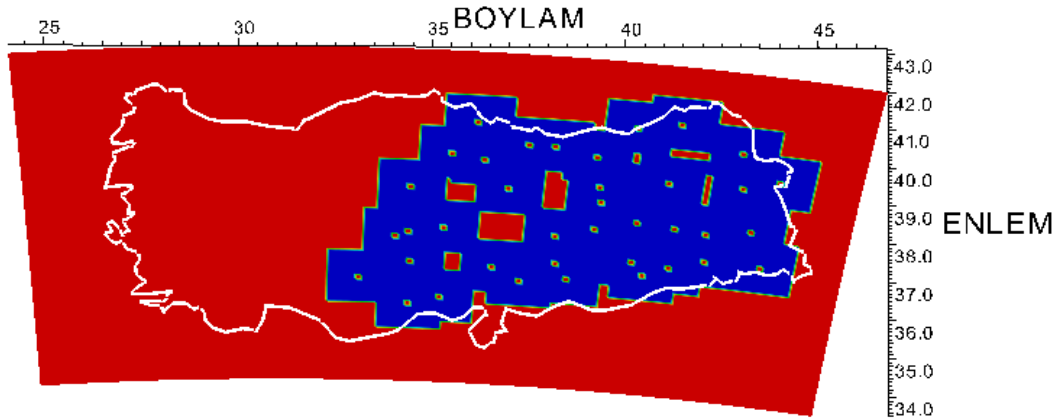


Şekil 28. En küçük kareler metodu adımıyla katsayı hesabında kullanılan bölgeler (Kırmızı)

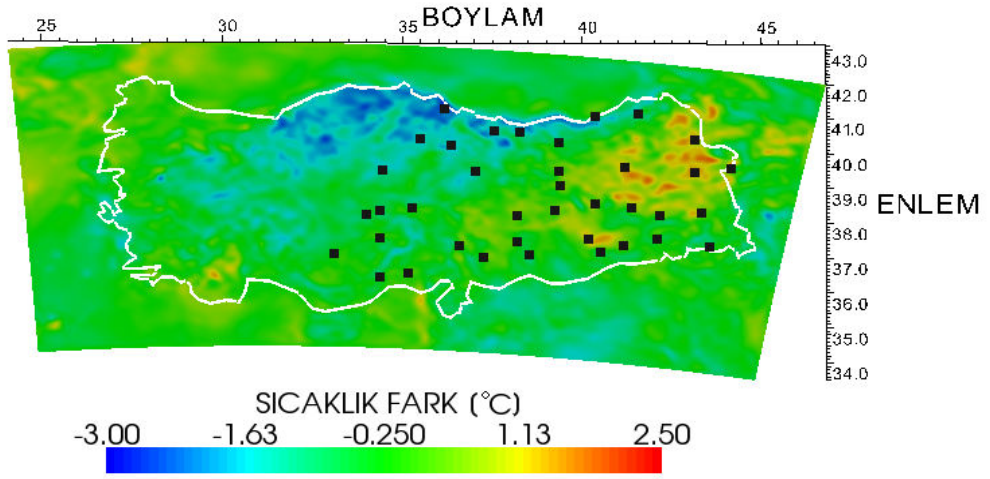


Şekil 29. POD ile gözlem verisi asimilasyonu sonrası sıcaklık farkının dağılımı

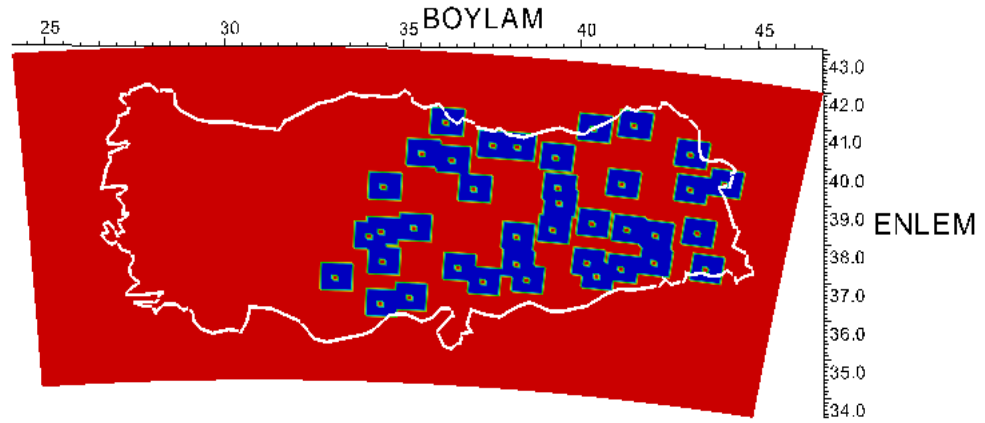
POD modlarının katsayı hesaplanmasında gözlem istasyonunun uzak bölgelerin etkisini artırmak amacıyla bu alan Şekil 30.'da görüldüğü gibi genişletilmiş ve veri asimilasyonu sonrası elde edilen sıcaklık farkı Şekil 31.'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü asimilasyon sonrası Türkiye genelinde görülen sıcaklık farkları önemli ölçüde azalmıştır. Son olarak etki alanı Şekil 32.'de görüldüğü gibi daha da genişletilerek asimilasyon sonrası elde edilen sıcaklık farkının daha da azaldığı gözlenmiştir. Şekil 33.'te akış değişkenlerinin asimilasyon sonrası dağılımları verilmektedir.



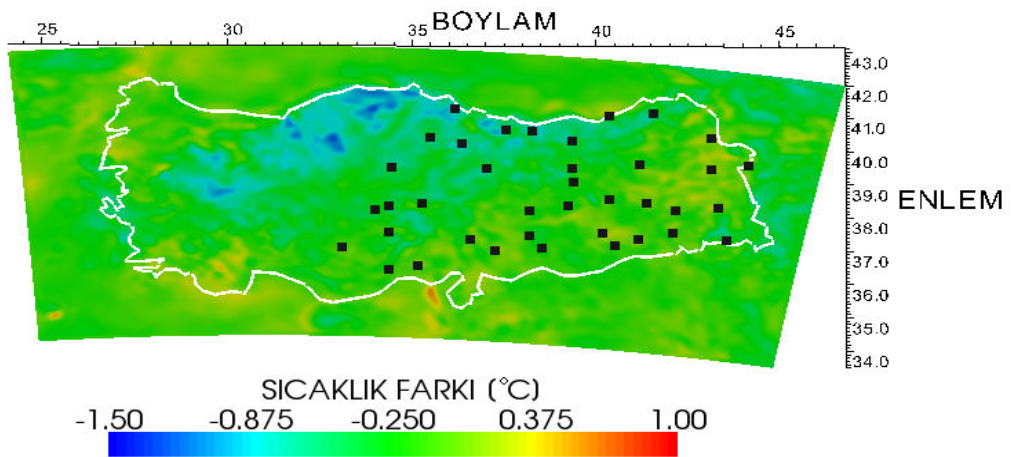
Şekil 30. En küçük kareler metodu adımıyla katsayı hesabında kullanılan bölgeler (Kırmızı)

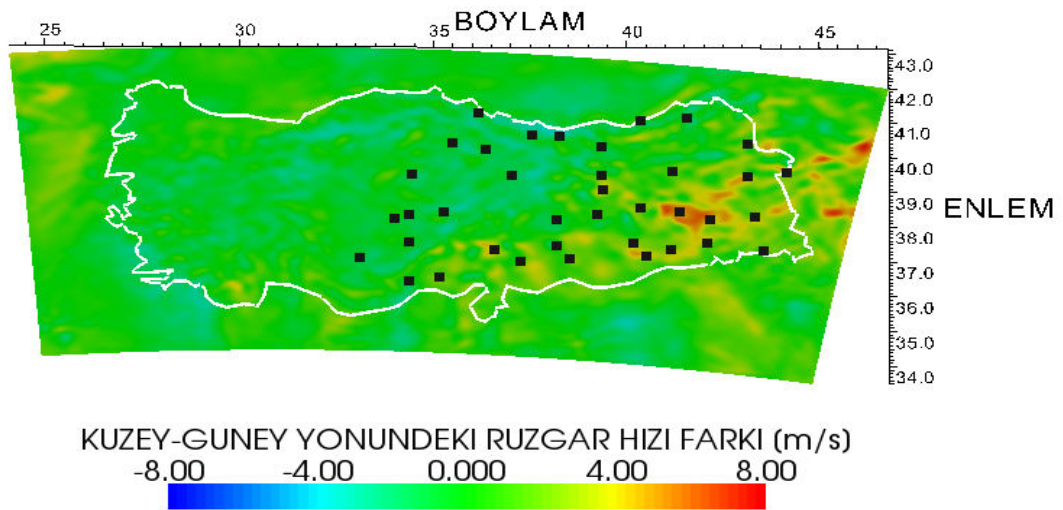
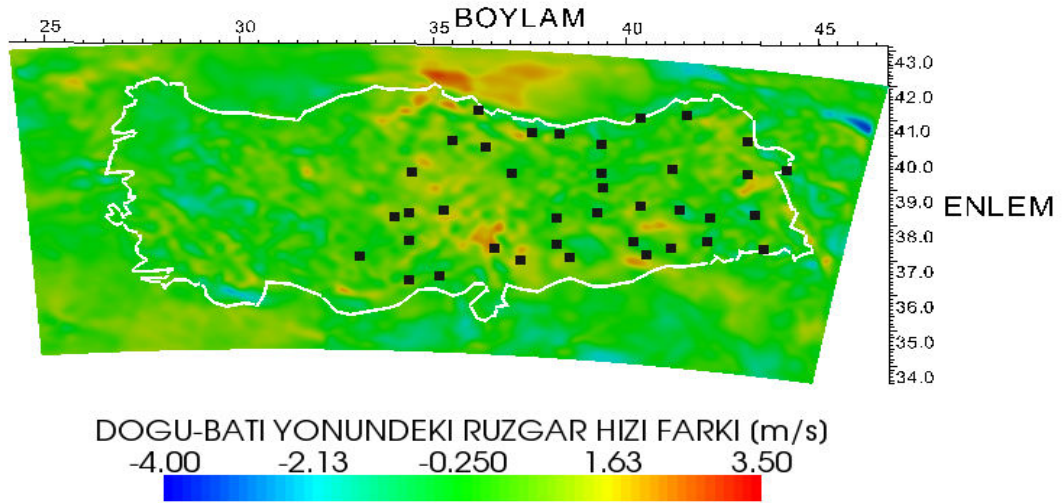
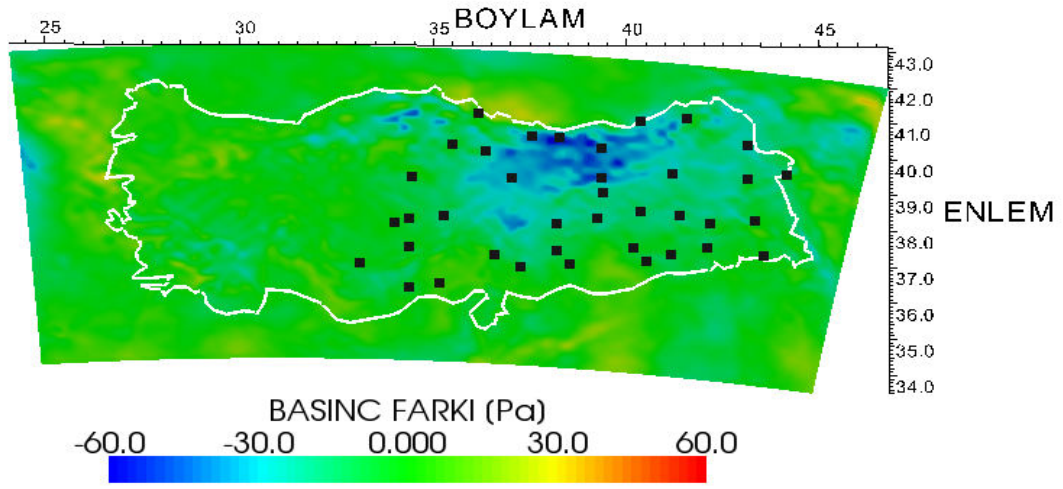


Şekil 31. POD ile gözlem verisi asimilasyonu sonrası sıcaklık (T) değişimi



Şekil 32. En küçük kareler metodu adımımda katsayı hesabında kullanılan bölgeler (Kırmızı)



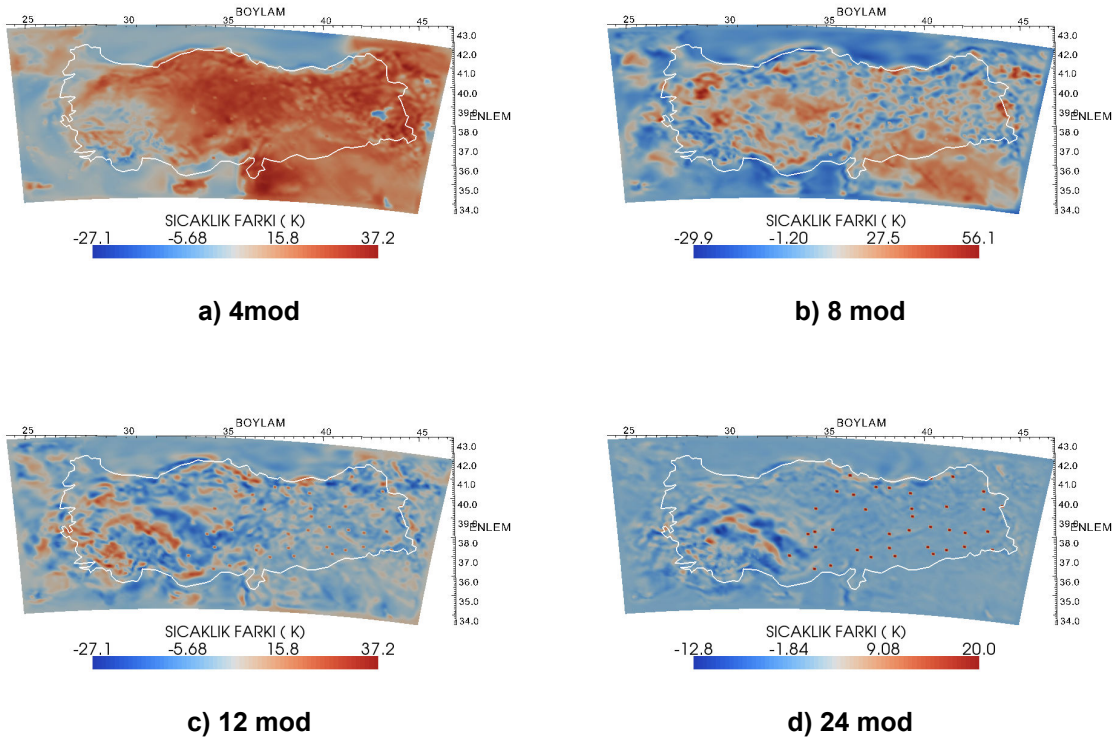


Şekil 33. POD ile gözlem verisi asimilasyonu sonrası değişkenlerin farkının dağılımı

Elde edilen bu sonuçlarda gözlem verilerinin katsayı hesabında etki alanlarının daraltılması sonucunda bile gözlem istasyonlarından uzak bölgelerde akış değişkenlerinin değiştiği görülmektedir. Genelde veri asimilasyonunda istenmeyen gözlem istasyonundan uzak bölgelerdeki bu değişimlerin, kullanılan POD modlarının gözlem verilerini içermemesinden kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir. Bu sebeple gözlem verilerinin POD modlarının hesaplanmasına sınırlı ölçüde katıldığı Genişletilmiş Sirovich – Uyumlu dik ayrışım metodu (Gappy-POD) ile veri asimilasyonu çalışmalarına yönelinmiştir.

4.4.3. Genişletilmiş Sirovich Yöntemi (Gappy-POD) ile Veri Asimilasyonu

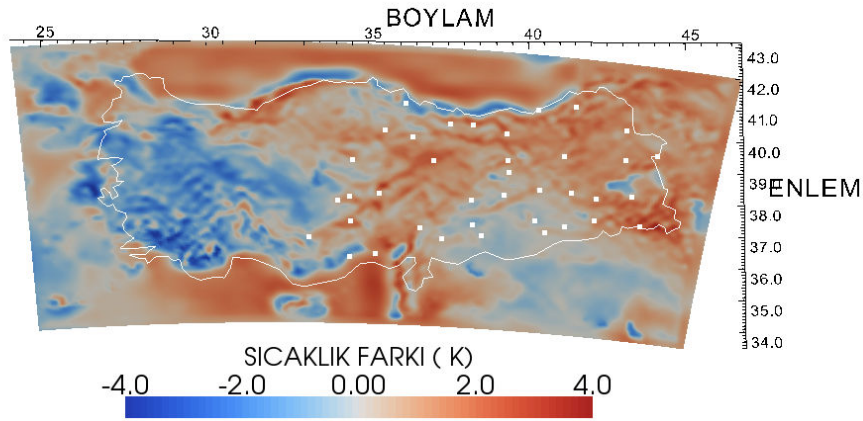
Gappy-POD metodu uygulaması öncesi bu algoritmanın asimilasyona etkisini incelemek amacıyla gözlem noktalarındaki akış değişkenlerinin değerleri %20 oranında artırılmış ve farklı sayıda mod kullanılarak Türkiye coğrafyası için akış alanı yeniden oluşturulmuştur. Akış alanı oluşturulurken gerekli olan mod katsayıları, gözlem noktalarındaki değişken değerlerinin en küçük kareler yöntemiyle sağlanması sonucu elde edilmiştir. Asimilasyon öncesi ve sonrasında sıcaklık dağılımında oluşan farklar Şekil 34’te verilmektedir.



Şekil 34. Farklı Sayılardaki modlarla veri asimilasyonu

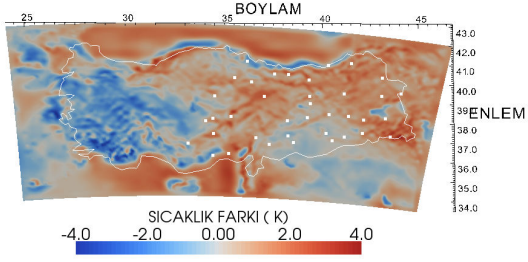
Sıcaklık dağılımlarında görüldüğü gibi az sayıda baskın modlar kullanılarak yapılan asimilasyonlarda gözlem istasyonlarında akış değişkenlerine uygulanan farkın tüm Türkiye coğrafyasında etkisi oldukça fazladır. Artan mod sayısı bu etkiyi azaltmaktadır. POD ile asimilasyon modelinin global olması sonucu herhangi bir noktada değişimin etkisi global olarak yayılmaktadır. Bu etki elde edilen POD modlarının katsayıları bulunurken kullanılan noktalarının seçimi ve sayısı ile sınırlı ölçüde kontrol edilebilmektedir.

Bu ön değerlendirmelerin ardından gözlem istasyonlarındaki gerçek değerler ve 24 mod kullanılarak başlangıç koşullarına veri asimilasyonu yapılmış ve MM5 ile 24 saatlik hava tahmini çözümü elde edilmiştir. POD modlarının katsayıları 38 gözlem istasyonundaki akış değişkenlerinin en küçük kareler yöntemi ile sağlanması temeline bulunmuştur. Şekil 35'da asimilasyon sonrası elde edilen sıcaklık dağılımının asimilasyon öncesi dağılımdan farkını göstermektedir. Şekil 36.-38.'de 3, 6, 12 ve 24 saat sonraki akış alanlarının asimilasyon yapılmadan elde edilen MM5 çözümlerinden farkları, WRF-VAR ile yapılan asimilasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



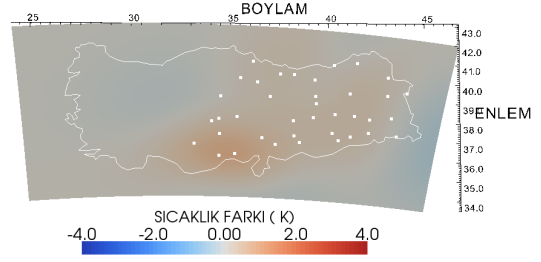
Şekil 35. Gerçek gözlem verileri ile yapılan asimilasyonun akış alanına olan farkı

Gappy-POD

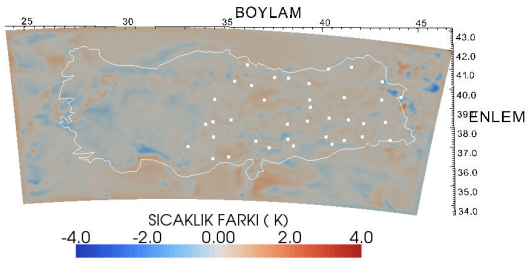


a) Başlangıç

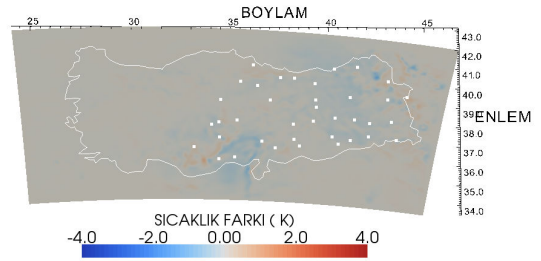
WRF-Var



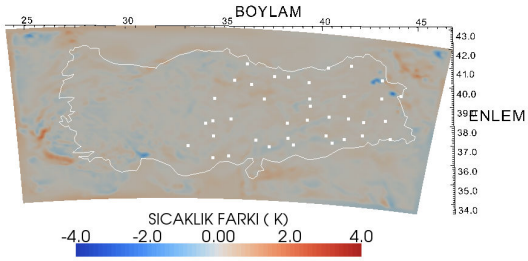
b) Başlangıç



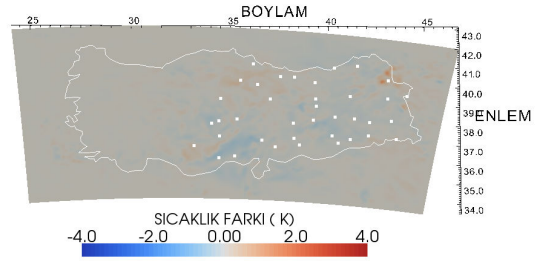
c) 3 Saat Sonra



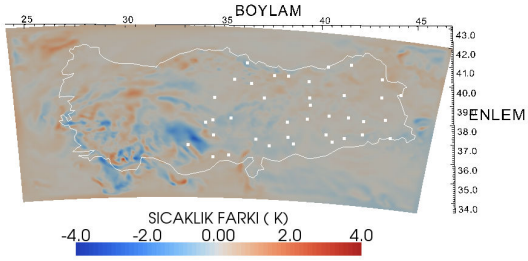
d) 3 Saat Sonra



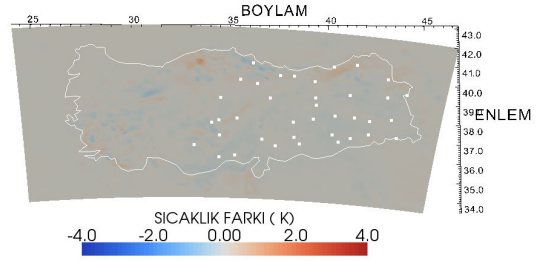
e) 6 Saat Sonra



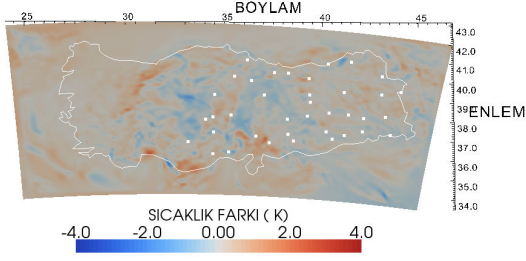
f) 6 Saat Sonra



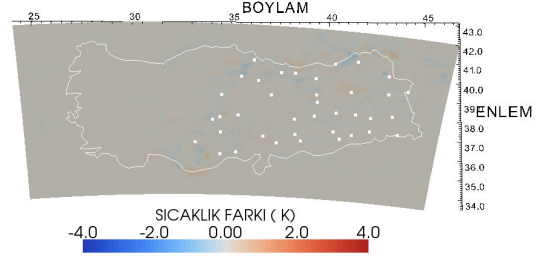
g) 12 Saat Sonra



h) 12 Saat Sonra



i) 24 Saat Sonra

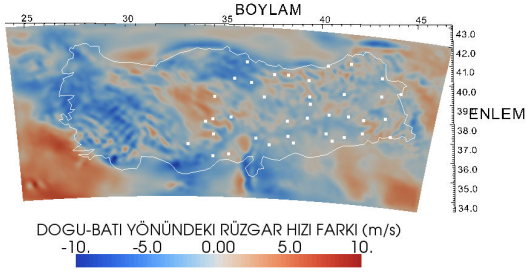


j) 24 Saat Sonra

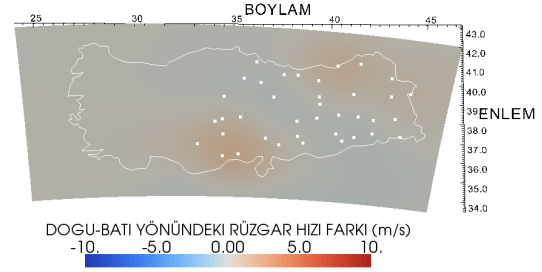
Şekil 36. Gappy-POD ve WRF-Var ile asimilasyon sonrası sıcaklık tahminleri

Gappy-POD

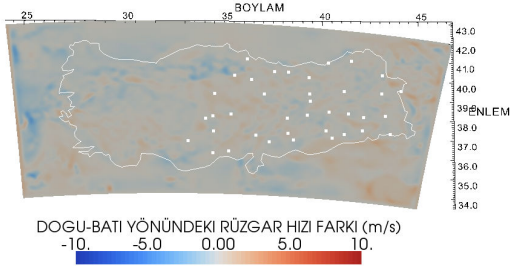
WRF-Var



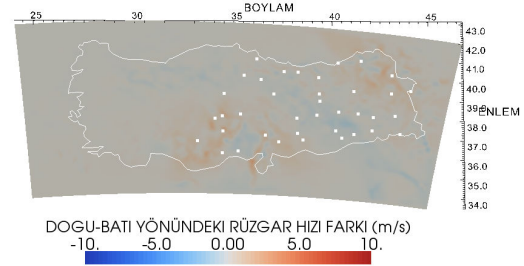
a) Başlangıç



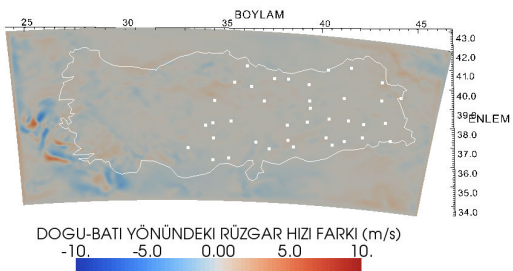
b) Başlangıç



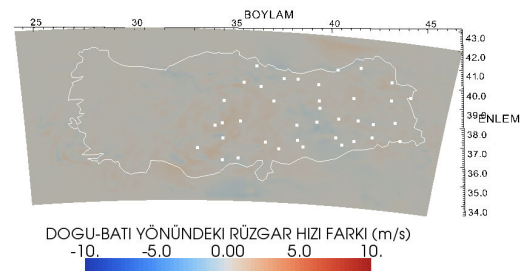
c) 3 Saat Sonra



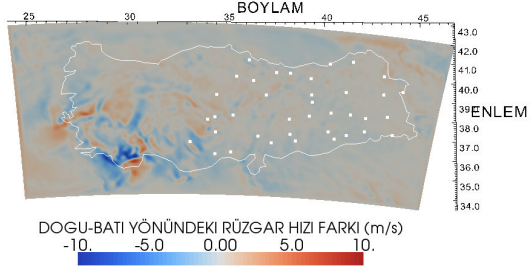
d) 3 Saat Sonra



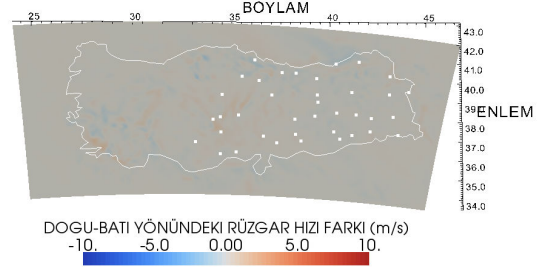
e) 6 Saat Sonra



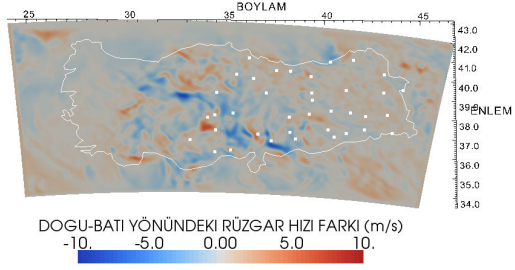
f) 6 Saat Sonra



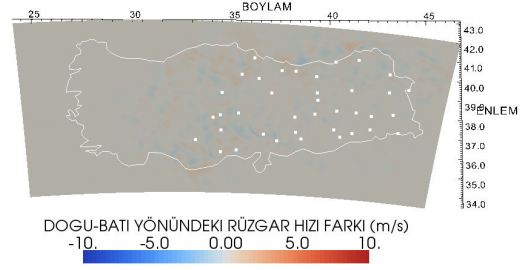
g) 12 Saat Sonra



h) 12 Saat Sonra



i) 24 Saat Sonra

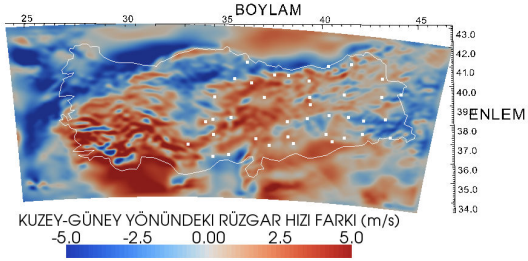


j) 24 Saat Sonra

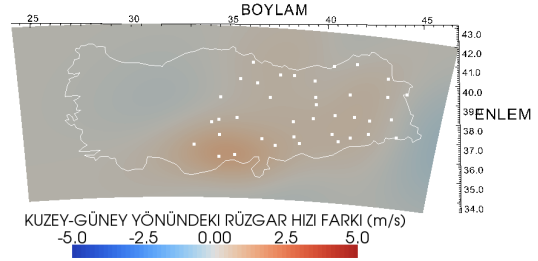
Şekil 37. Gappy-POD ve WRF-Var ile asimilasyon sonrası U hızı tahminleri

Gappy-POD

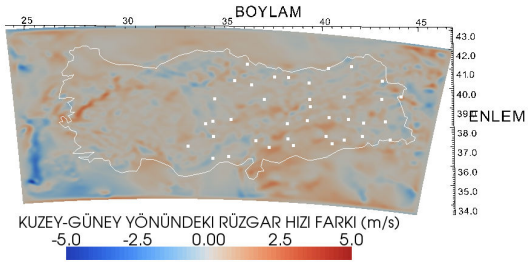
WRF-Var



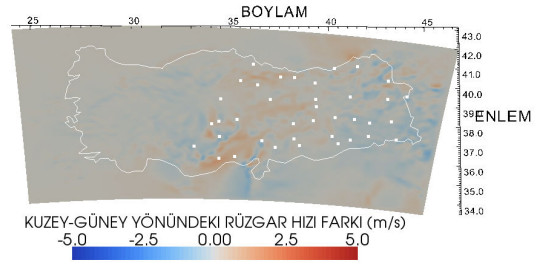
a) Başlangıç



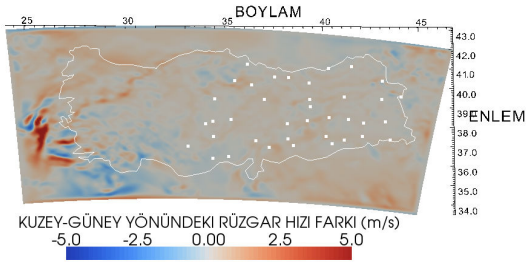
b) Başlangıç



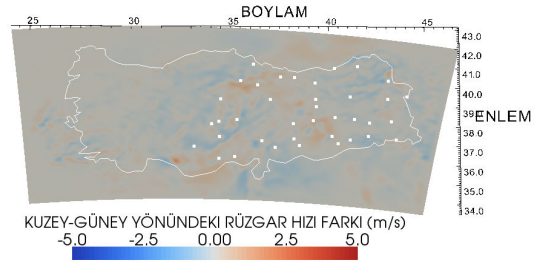
c) 3 Saat Sonra



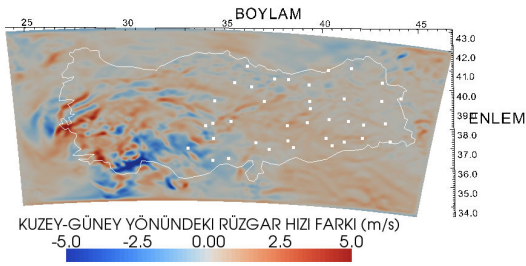
d) 3 Saat Sonra



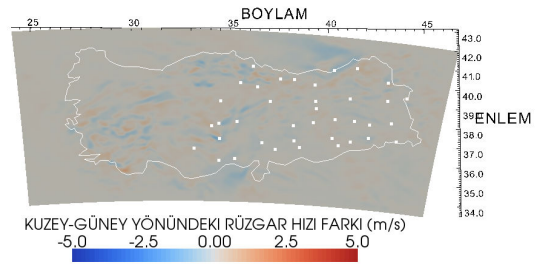
e) 6 Saat Sonra



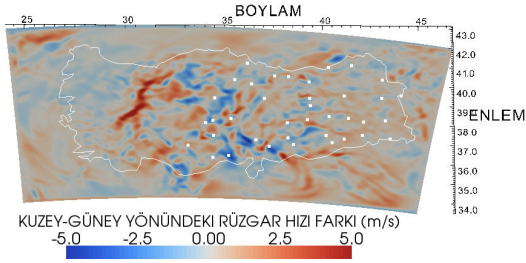
f) 6 Saat Sonra



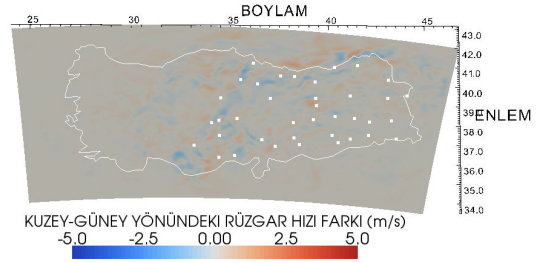
g) 12 Saat Sonra



h) 12 Saat Sonra



i) 24 Saat Sonra



j) 24 Saat Sonra

Şekil 38. Gappy-POD ve WRF-Var ile asimilasyon sonrası V hızı tahminleri

Yukarıdaki grafiklerde sunulan çözüm alanlarında görüldüğü üzere Gappy-POD metodu ile yapılan veri asimilasyonunun etkisi başlangıç koşullarında ve 24 saat sonraki tahminlerde WRF-Var'a kıyasla Türkiye coğrafyası üzerinde daha yaygındır. Dolayısıyla Gappy-POD metodu, WRF-Var' a göre etkisi daha uzun süren veri asimilasyonu sağlamaktadır.

Gözlem verilerinin etkisinin gözlem istasyonu etrafında sınırlayabilmek amacıyla POD yöntemini, Türkiye coğrafyasının daha dar alanlara bölünerek uygulanmasının daha etkili olacağı düşüncesiyle başka bir veri asimilasyon uygulamasına yönelinmiş, her bir istasyonun çevresindeki tanımlı bir alanın POD ile yeniden oluşturulması amaçlanmıştır.

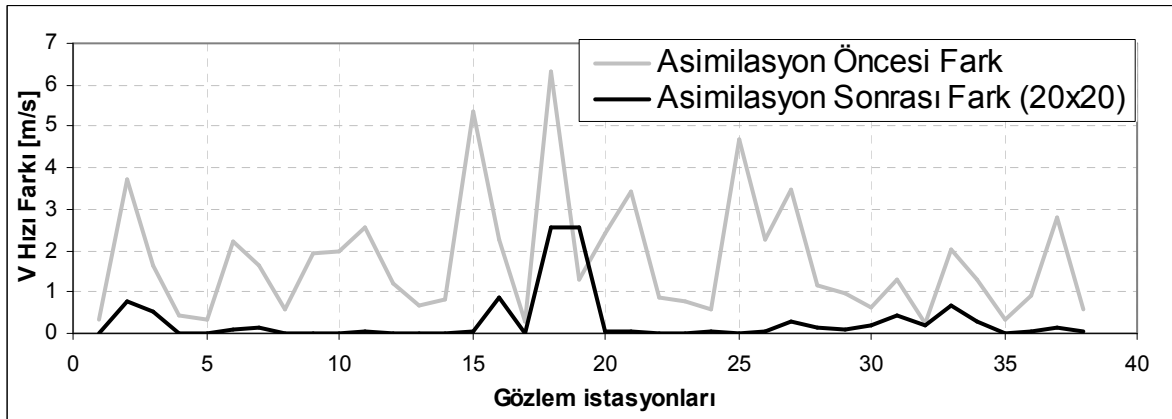
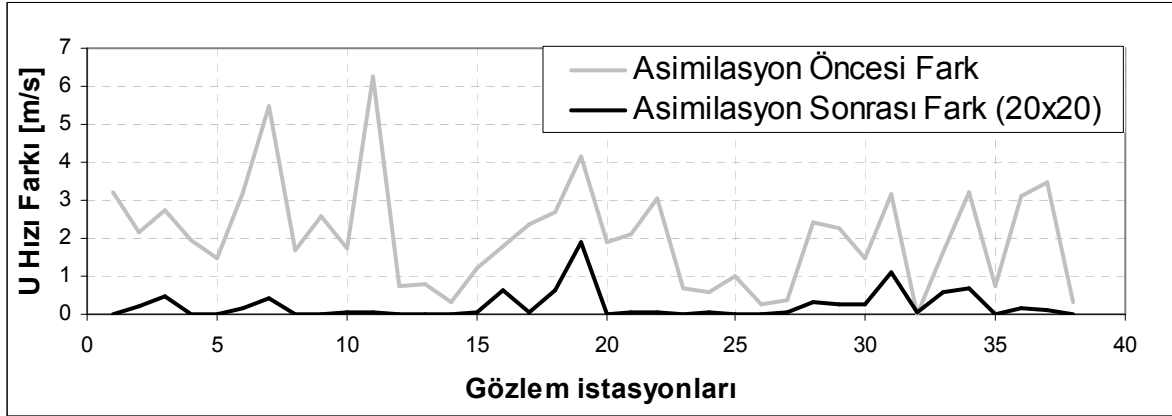
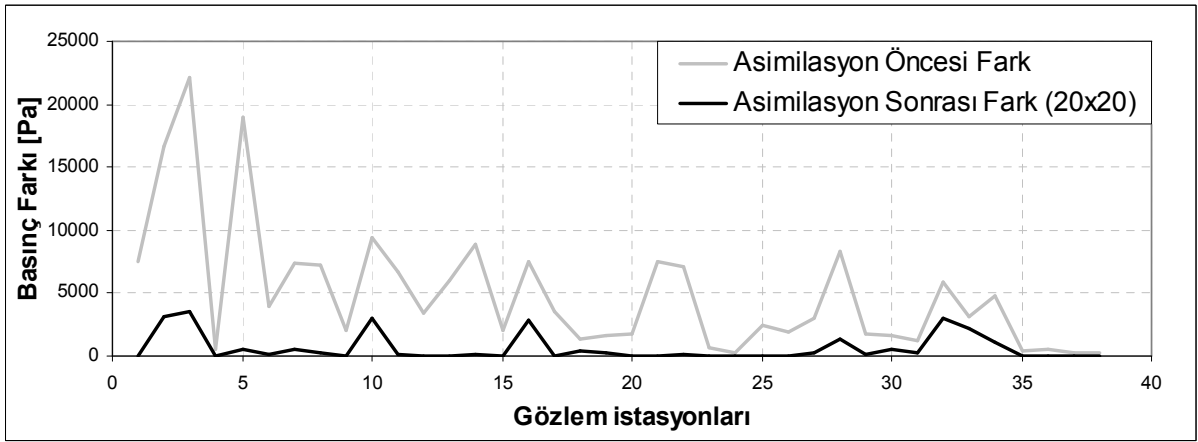
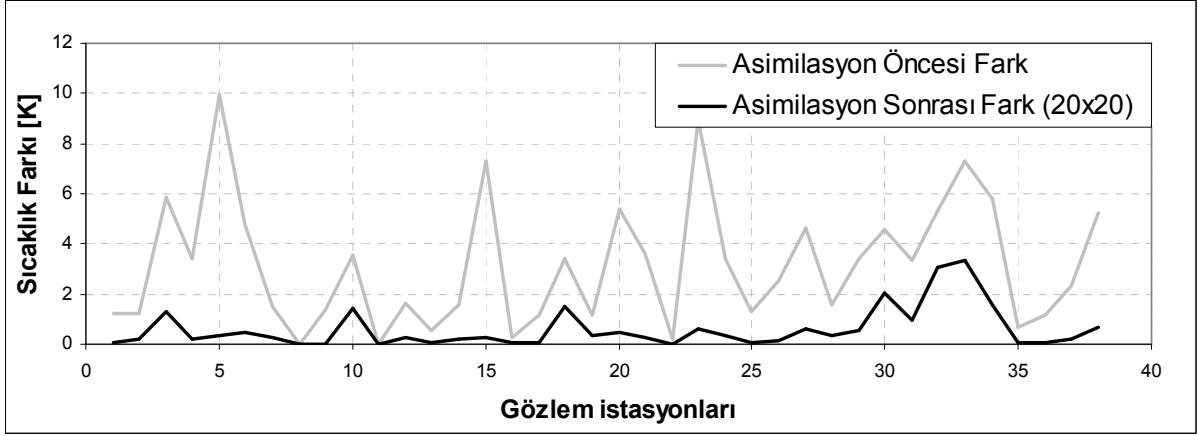
4.4.4. Gözlem İstasyonu Çevresinde Bölgesel POD ile Veri Asimilasyonu

Bu bölümde tüm Türkiye coğrafyası üzerinde etkili POD modları kullanılarak yapılan veri asimilasyonun ardından gözlem istasyonlarının çevresinde tanımlanan dar bölgelerde POD uygulanmasında elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Gözlem istasyonu çevresinde büyüklüğü çözüm ağında 20X20 ve 14X14 düğüm noktasını kapsayan (gözlem istasyonundan yaklaşık 70km ve 50km yarıçapında bir alanı kapsayan) iki farklı dar bölge için gözlem verisi asimilasyonları yapılmış, 48 saatlik hava tahminleri üretilerek ilgili zamana ait gözlem verileri ile kıyaslamalar yapılmıştır.

Bölgesel POD metodu uygulanırken gözlem istasyonlarının etrafında tanımlanan kare bölgelerin büyüklükleri değiştirilebilir. Bu bölgeler, her bir gözlem istasyonunun etki alanları gibi düşünüldüğünden bulunduğu bölgenin coğrafi yapısına göre tanımlanabilme esnekliği, yazılan FORTRAN programına kazandırılmıştır.

20x20 Düğüm Alanı İçinde Veri Asimilasyonu

Gözlem istasyonları çevresinde belirlenen 70 km yarıçaplı bir alana karşılık gelen dar bölgeler kullanılarak yapılan asimilasyon sonucunda asimilasyon öncesi ve sonrası akış değişkenlerinin gözlem değerlerinden farkları Şekil 39.'da verilmiştir.



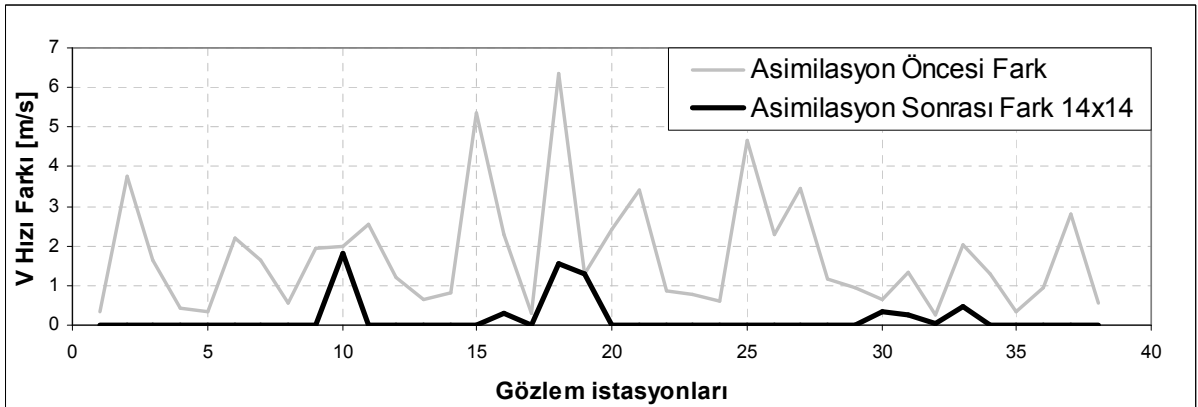
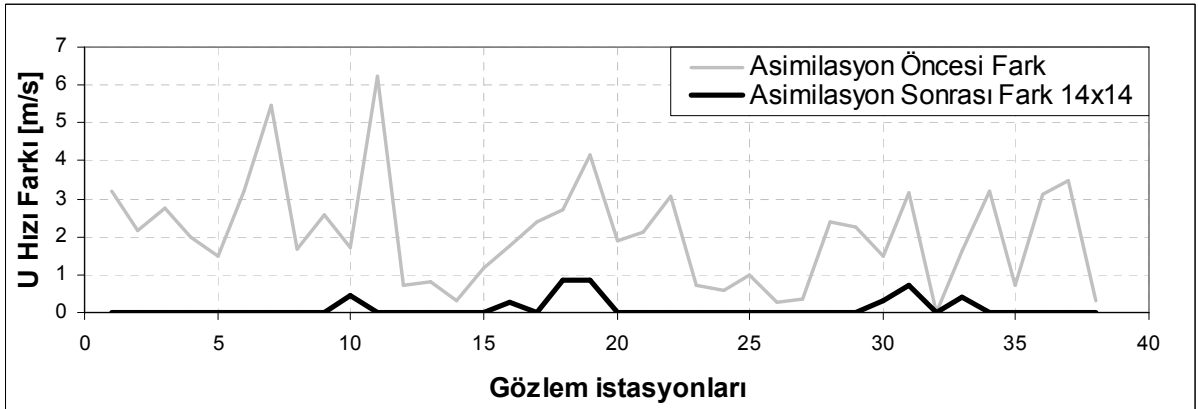
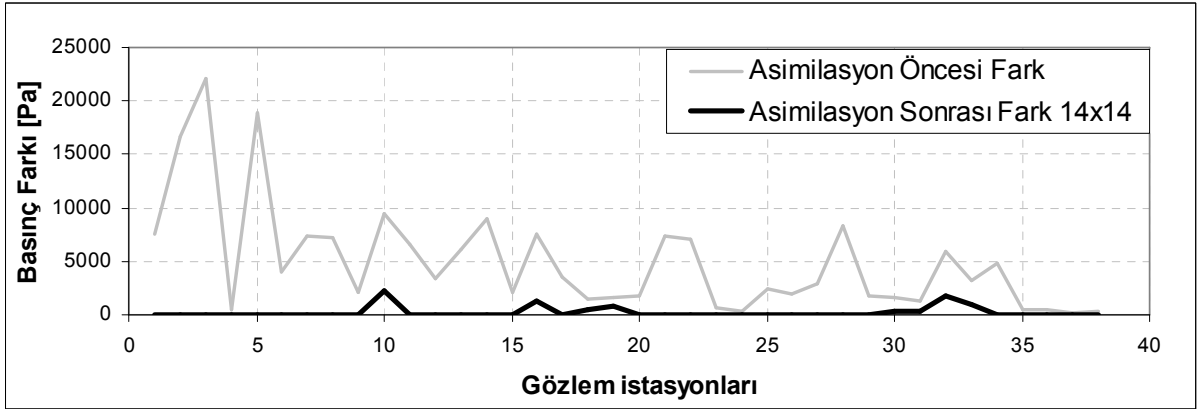
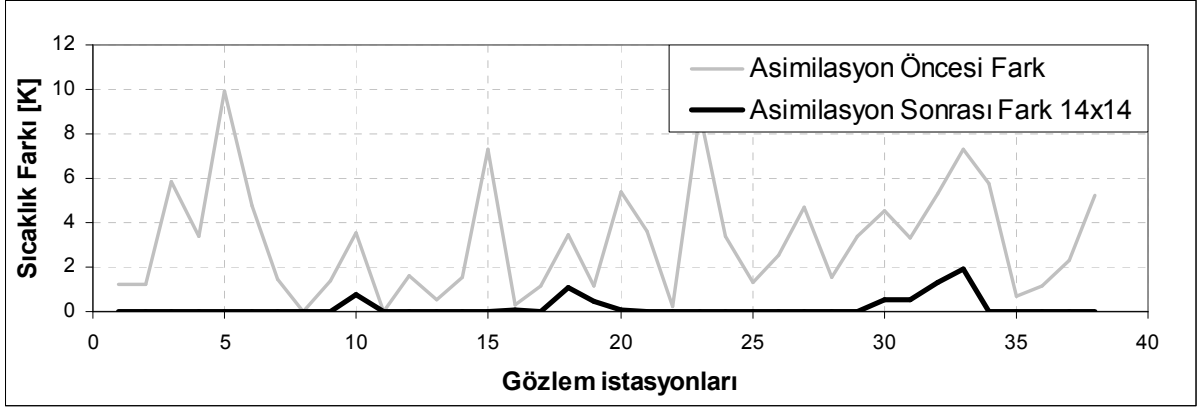
Şekil 39. Asimilasyon sonrası değişkenlerin gözlemden farkları

Bu şekillerde görüldüğü gibi asimilasyon sonrası gözlem istasyonlarındaki değişkenlerin değerleri gözlem değerlerine genelde oldukça yaklaşmıştır. Birbirine 70km'den yakın olan gözlem istasyonları birbirlerinin etki alanına girdikleri için bölgesel asimilasyon değerlerinin istasyondan uzaklıkları ile ters orantılı ortalamaları alınmaktadır. Dolayısıyla bu istasyonlarda asimilasyon sonrası gözlem değerlerinden farklar oluşmaktadır.

14x14 Düğüm Alanı İçinde Veri Asimilasyonu

Bu durumda gözlem istasyonları etrafında tanımlanan bölgenin 50 km yarıçapında (14x14 düğüm) seçilmesi birbiriyle kesişen bölgelerin sayısını azaltmıştır. Asimilasyon öncesi ve sonrası akış değişkenlerinin gözlem değerlerinden farkları Şekil 40.'ta verilmektedir.

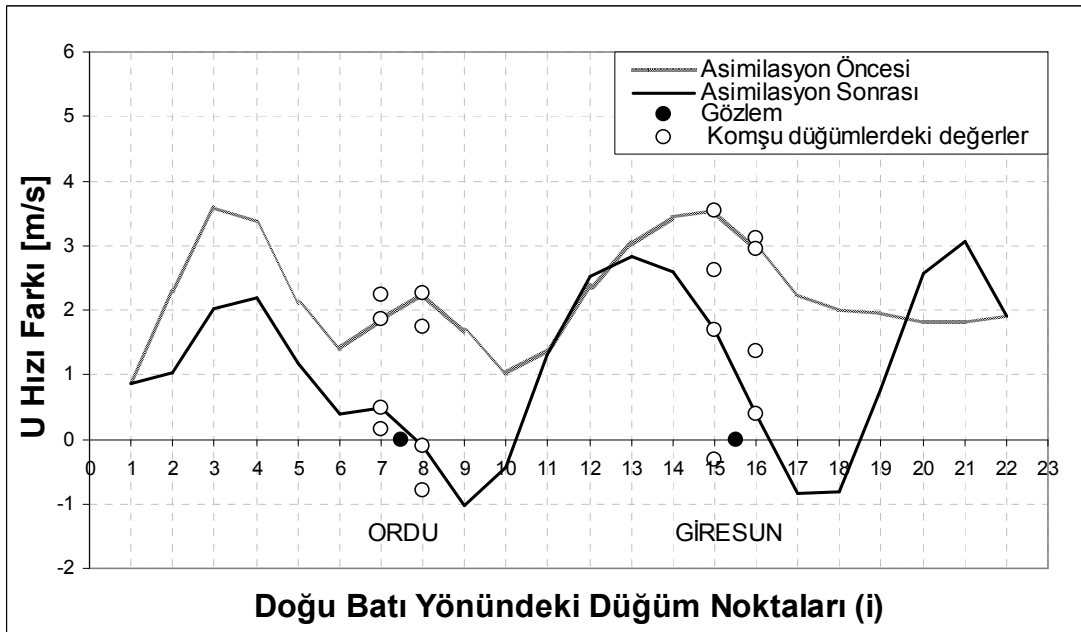
Bu şekillerde gözlemlendiği gibi değişkenlerin asimilasyon sonrası gözlem değerlerinden farkları bir önceki 70km yarıçaplı dar bölge sonuçları ile karşılaştırıldığında daha düşüktür. Bu sonuçlar POD yönteminin oldukça başarılı bir şekilde veri asimilasyonu yapılabildiğini göstermektedir. Gözlem istasyonlarının birbirlerine olan etkisi dar bölgelerinin daha da küçültülmesiyle azaltılabilir.

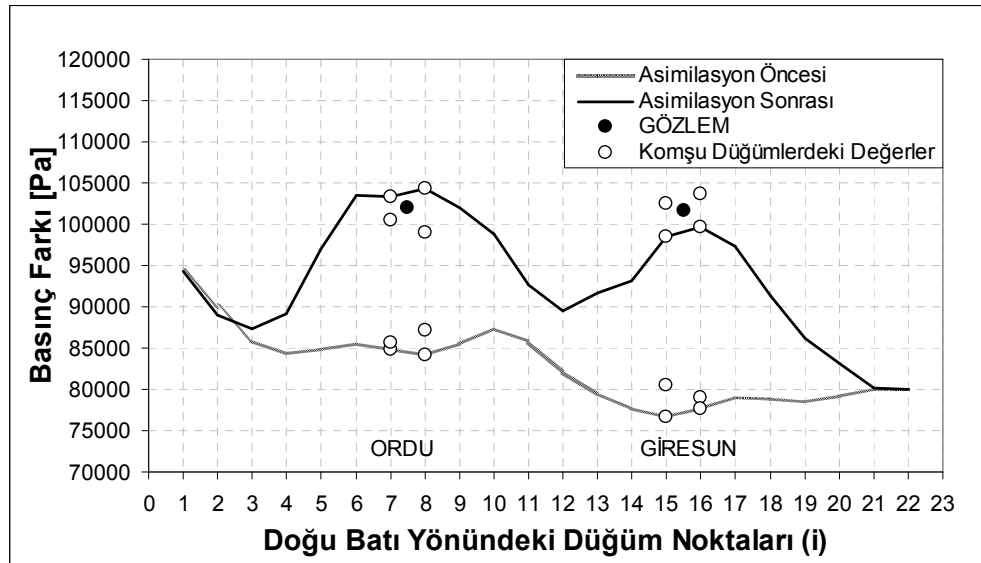
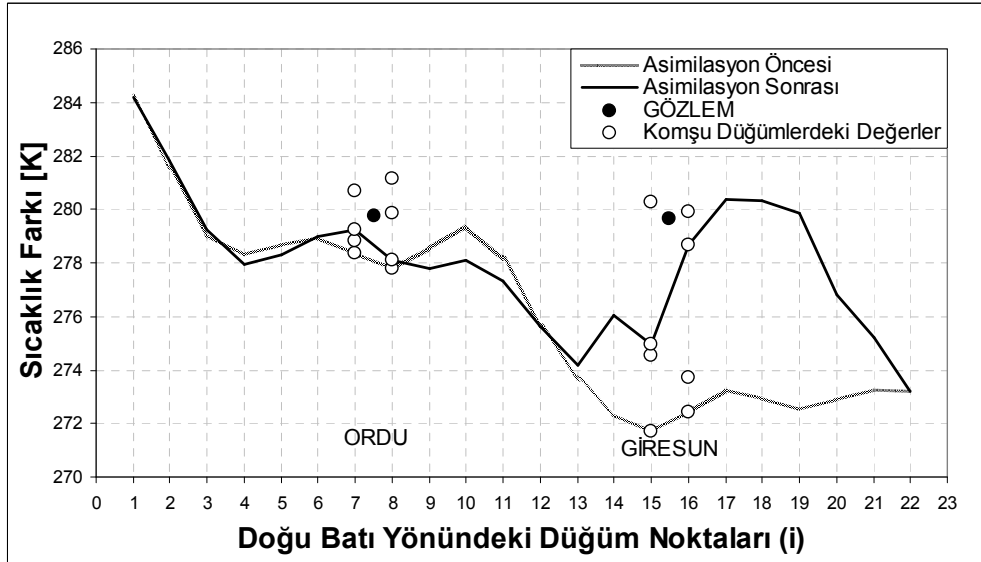
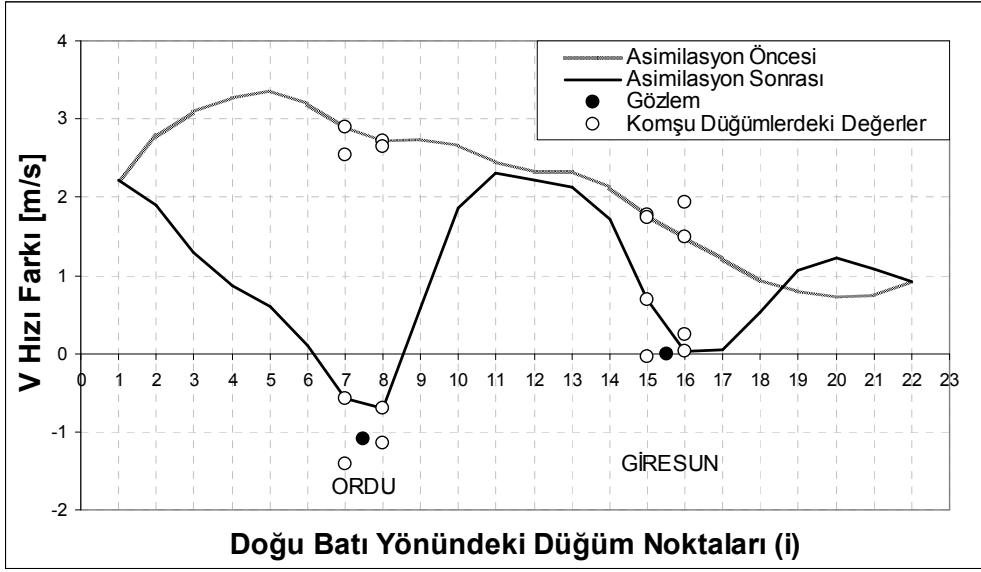


Şekil 40. Asimilasyon sonrası değişkenlerin gözlemden farkları

Tanımlanan Dar Bölgelerde Akış Değişkenlerinin Değişimi

Birbirine komşu olan Ordu ve Giresun istasyonlarından geçen enlem üzerinde çözüm ağı düğümleri boyunca akış değişkenlerinin değişimi Şekil 41.'de verilmektedir. Bu şekillerde görüldüğü gibi asimilasyon sonrası akış değişkenleri gözlem değerlerinden çevre düğüm noktalarına bilinear interpolasyon ile yapılan değerlere çok yakın, genelde örtüşmektedir. Aynı enlem üzerinde olmayan diğer iki düğüm noktası ve gözlem istasyonu da bu şekillerde bilgi amaçlı belirtilmiştir. Alınan bu sonuçlar veri asimilasyonunun başarılı bir şekilde yapıldığını göstermektedir. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta da POD ile veri asimilasyonunun 3DVAR benzeri veri asimilasyonlardan farklı olarak gözlem verilerini bir çan eğrisi (Gaussian) şeklinde gözlem istasyonu çevresine dağıtmak yerine bölgeye özgün POD modlarına göre dağıtmasıdır.

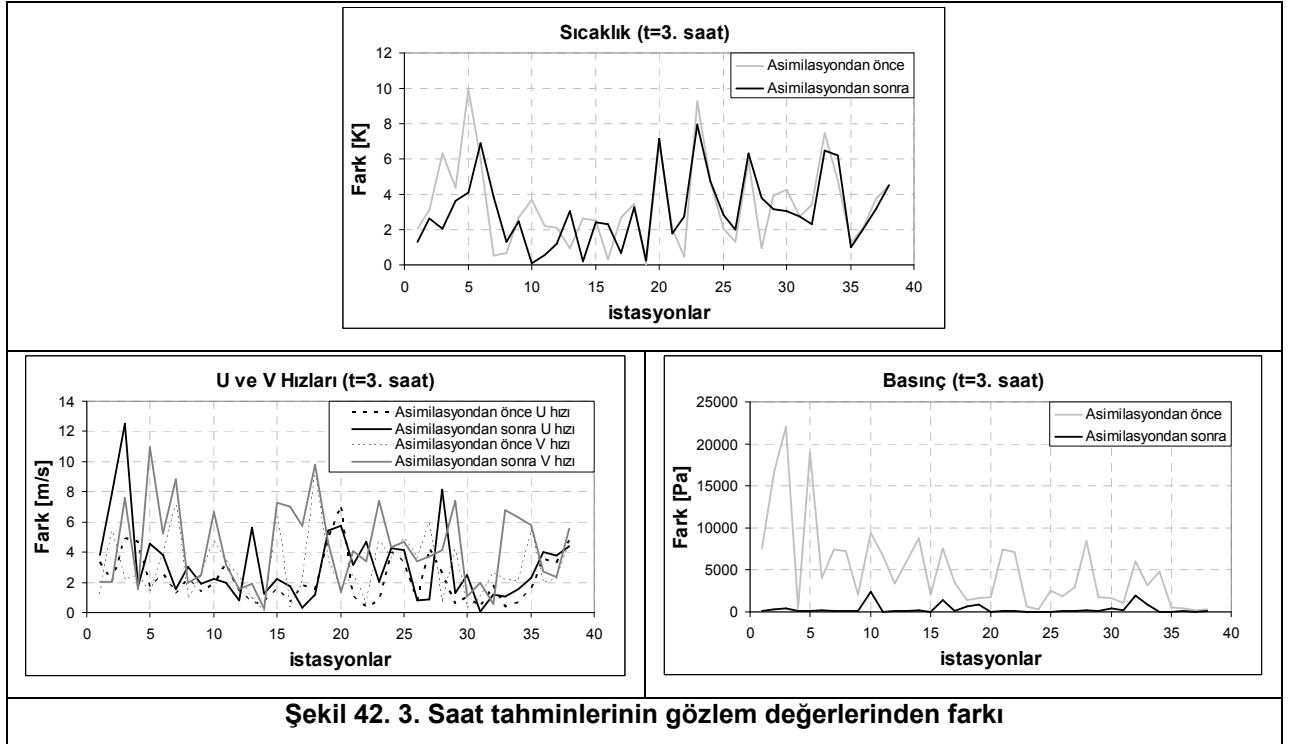


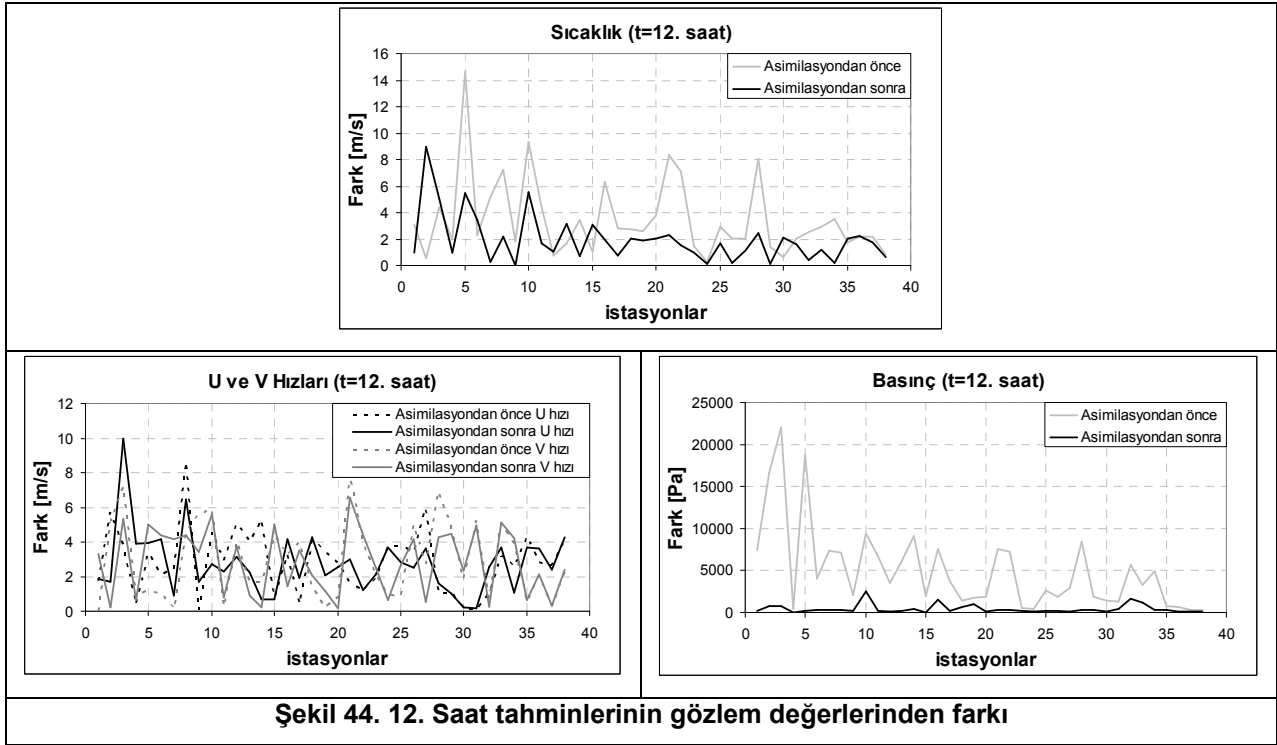
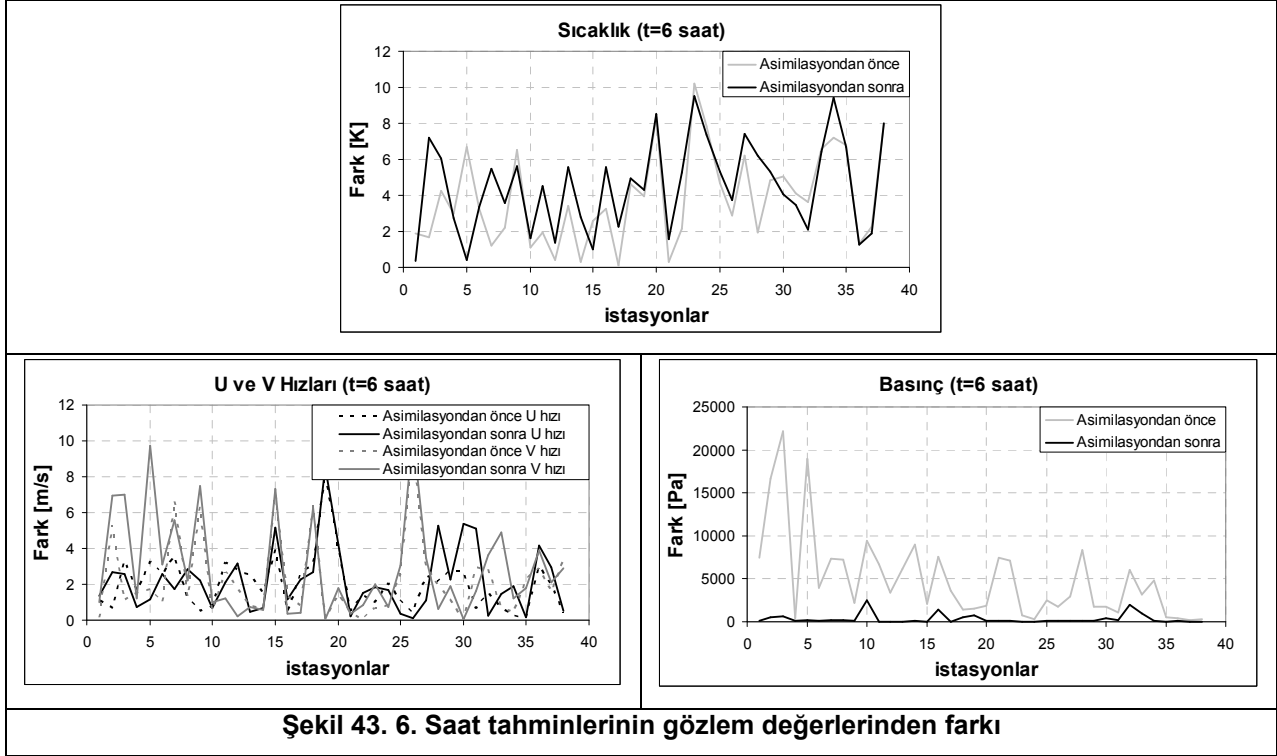


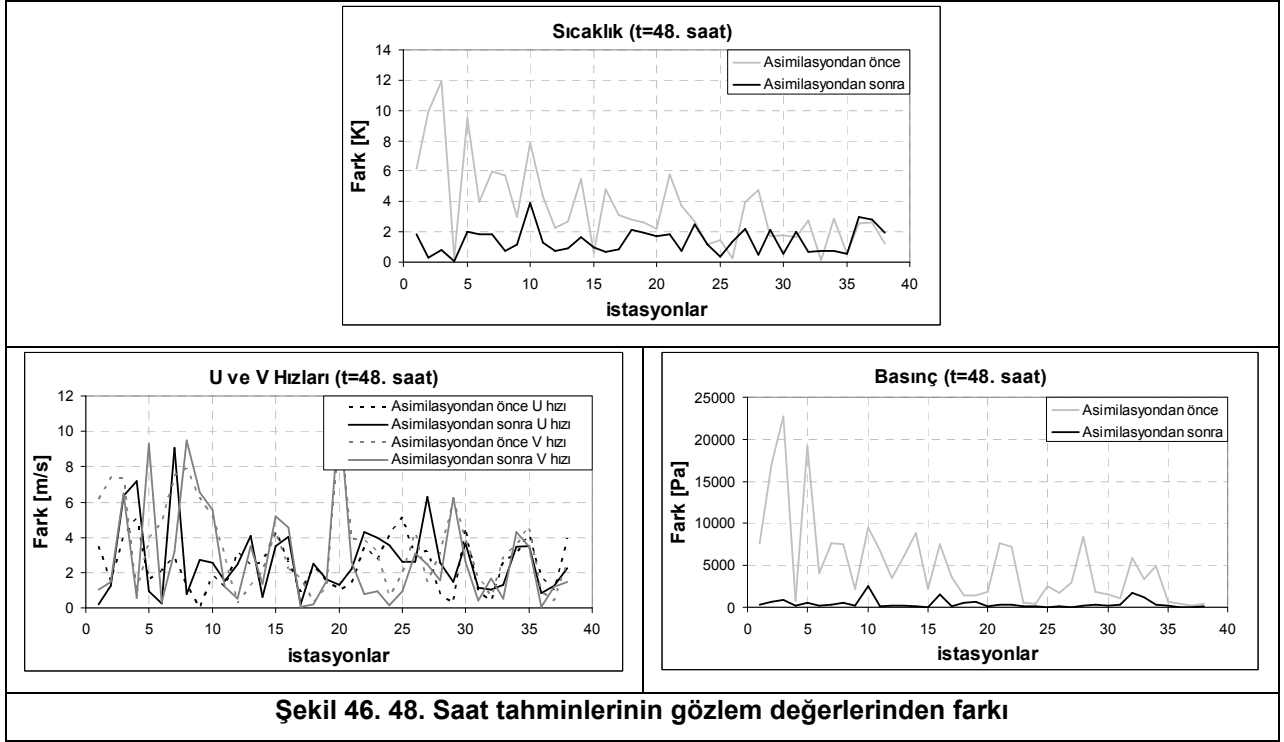
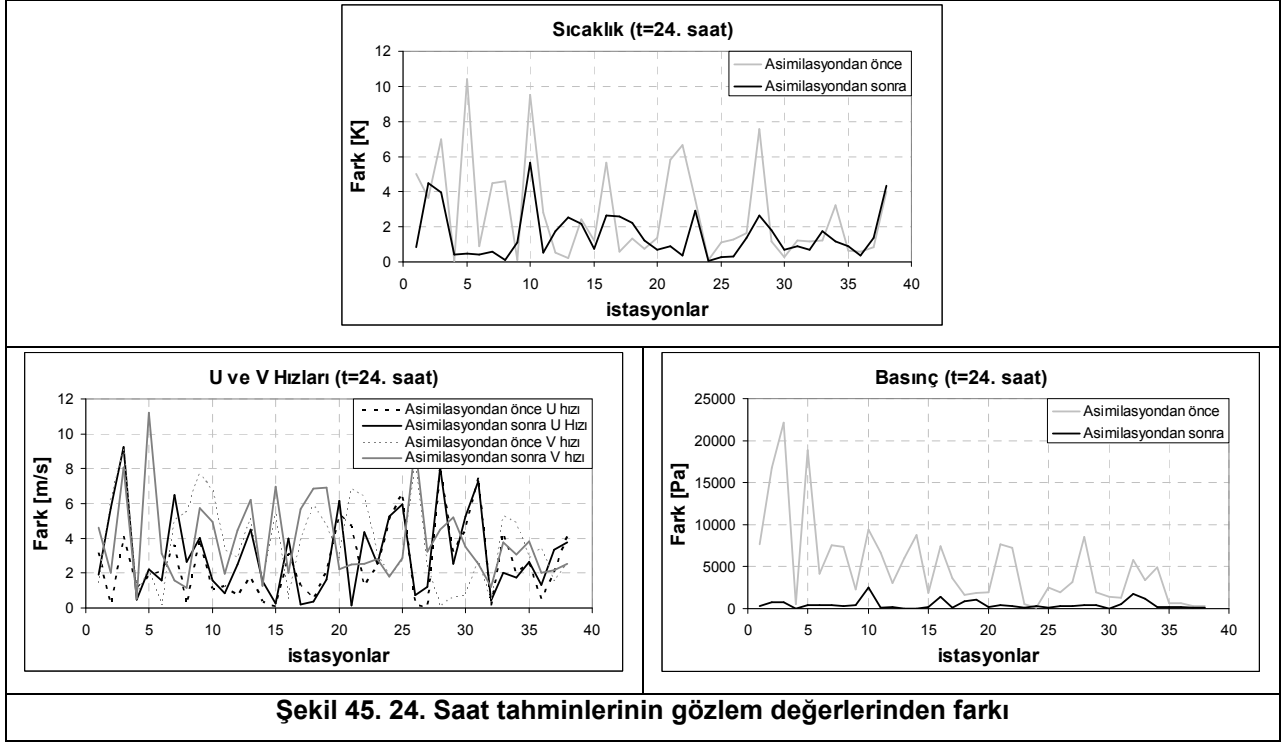
Şekil 41. Gözlem istasyonlarından geçen enlem boyunca akış değişkenlerinin değişimi

Gözlem Verileri Asimilasyonu Sonrasında Hesaplanan Hava Tahminleri

Bu bölümde MM5 yazılımı, asimilasyon yapılmış yeni başlangıç ve sınır koşulları ile kurulan paralel hesaplama ortamında koşturulmuş, 48 saatlik hava tahminleri üretilmiştir. Ardından 3, 6, 12, 24 ve 48. inci saatlerdeki elde edilen hava tahminleri, aynı saatlerde gözlem istasyonlarından alınan gözlem verileri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 42.-46.'da gözlem istasyonlarındaki akış değişkenlerinin asimilasyon öncesi ve sonrası hesaplanan değerlerin gözlem değerleri ile arasındaki farklar verilmektedir. .







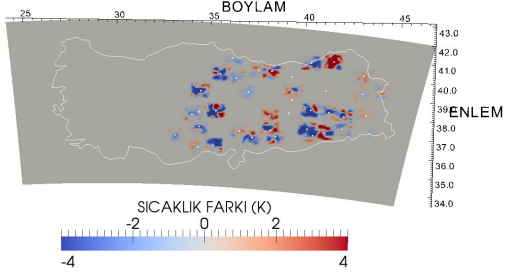
Asimilasyondan sonra yapılan tahminler ile ilgili noktalar için temin edilen gözlem verileri karşılaştırıldığında özellikle sıcaklık ve basınç değerlerinde asimilasyon yapılmamış ilk başlangıç ve sınır koşullarıyla yapılan tahminlere göre gözle görünür bir iyileşme gözlenmektedir. Birçok noktada yapılan tahminler gerçek değerlere

yaklaşmış, bu iyileşme 48 saat sonrasına bile yansımıştır. Öte yanda rüzgâr, hızı verilerinin asimilasyonundaki iyileşme diğer değişkenler kadar belirgin değildir. Elde edilen bu sonuçlar rüzgâr hızı ölçümlerinin doğruluğunun ve hassasiyetinin incelenmesini gerektirmektedir. Gözlem istasyonlarından atılan balonlarla çeşitli yüksekliklerden alınan rüzgâr hızı verilerinin hassasiyetinin genelde yüksek olduğu kabul edilirken, gözlemlerinde tek bir noktadan alınan verilerin güvenilirliği düşüktür. Bu tür ölçümlerde gözlemlerinin etrafında bulunan yüksek yapılar (bina, ağaç ya da tepe yamacı) ölçülen rüzgâr hızı verilerini saptırmaktadır.

4.4.5. Gözlem İstasyonu Çevresinde Bölgesel POD ve WRF-Var ile Veri Asimilasyonu Sonuçlarının Karşılaştırılması

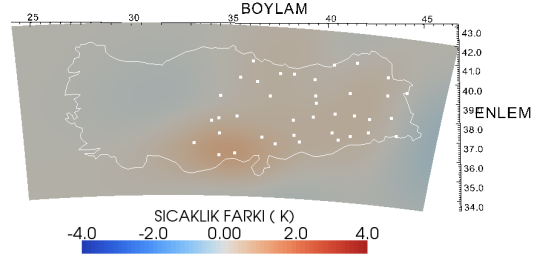
Çalışmanın bu bölümünde geliştirilen dar bölge POD yöntemi ile veri asimilasyonu sonrası yapılan tahminler WRF-Var sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 47.'de her iki yöntem ile yapılan asimilasyon öncesi ve sonrası hesaplanan tahminlerdeki değişken değerlerinin farkları tüm Türkiye coğrafyasında verilmektedir.

Bölgesel POD

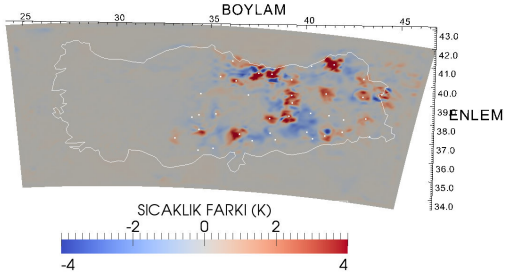


a) Başlangıç

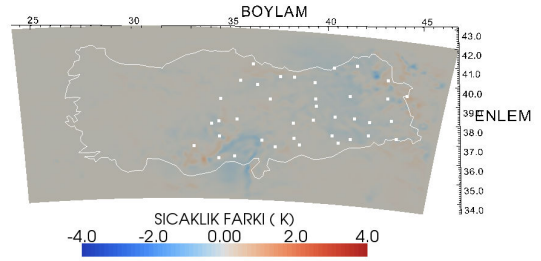
WRF-Var



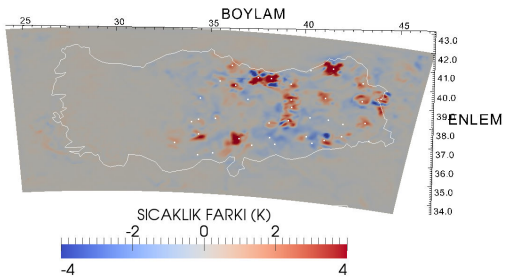
b) Başlangıç



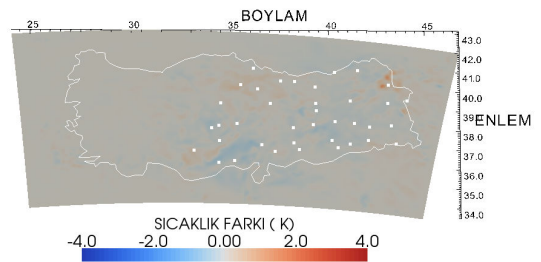
c) 3 Saat Sonra



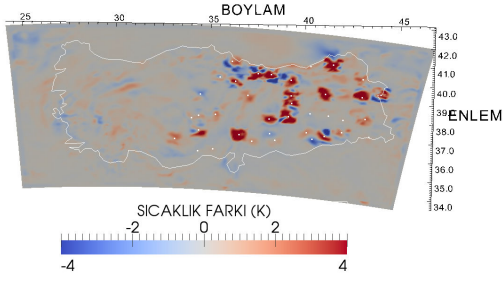
d) 3 Saat Sonra



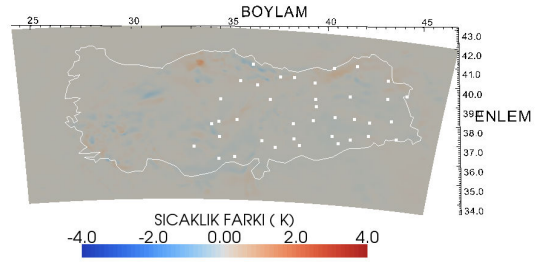
e) 6 Saat Sonra



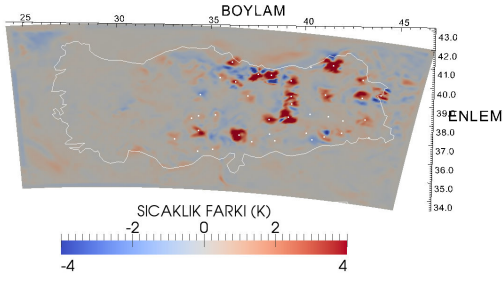
f) 6 Saat Sonra



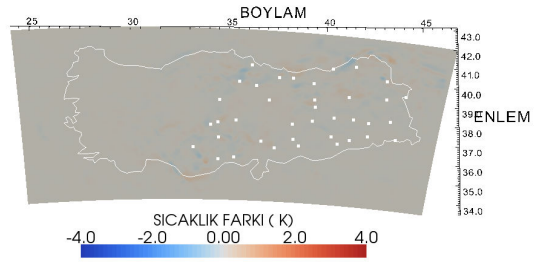
g) 12 Saat Sonra



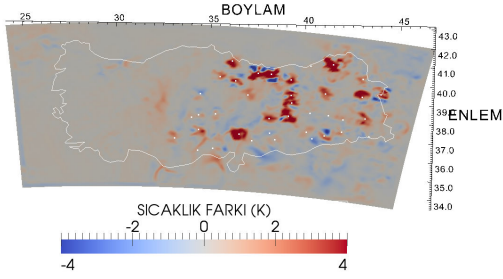
h) 12 Saat Sonra



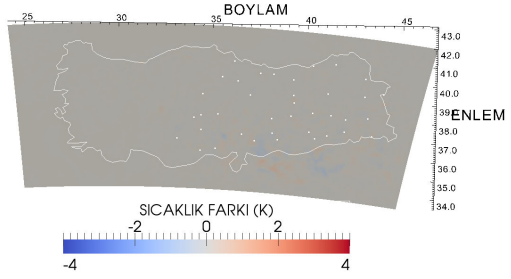
i) 24 Saat Sonra



j) 24 Saat Sonra



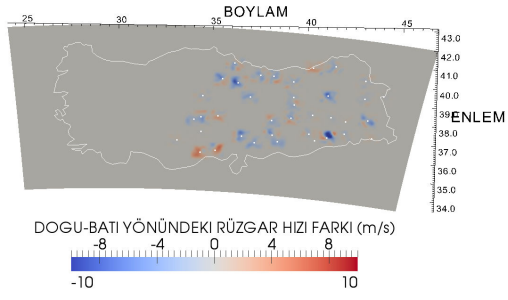
k) 48 Saat Sonra



l) 48 Saat Sonra

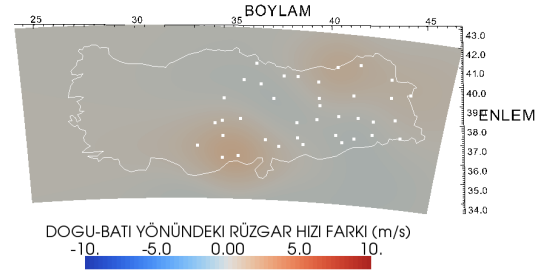
Şekil 47. Bölgesel POD ve WRF-Var ile asimilasyon sonrası sıcaklık tahminleri

Bölgesel POD

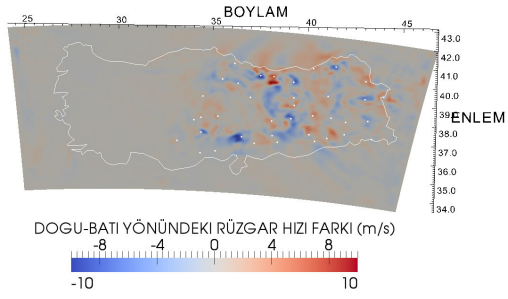


a) Başlangıç

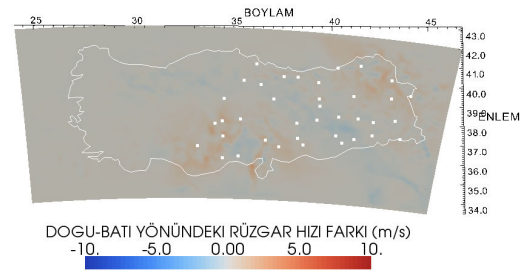
WRF-Var



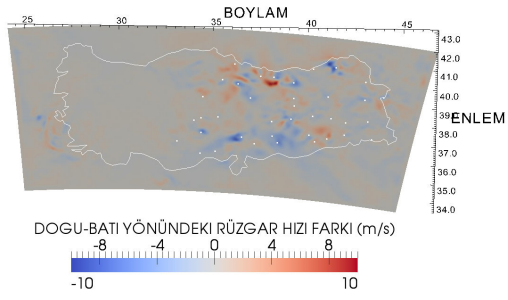
b) Başlangıç



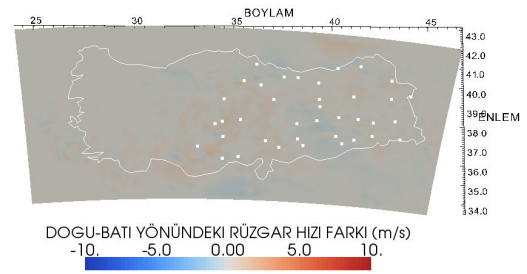
c) 3 Saat Sonra



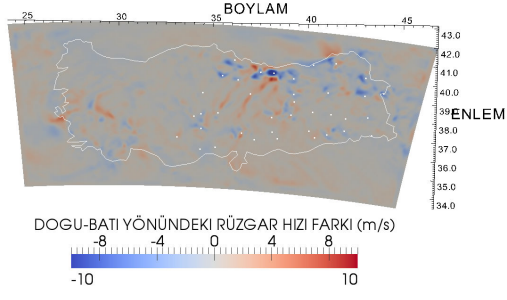
d) 3 Saat Sonra



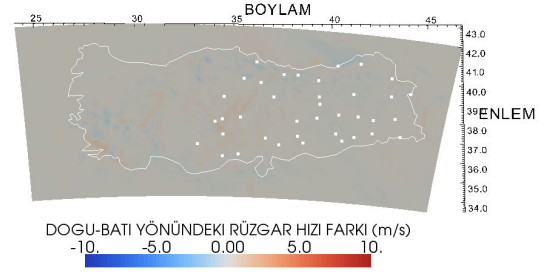
e) 6 Saat Sonra



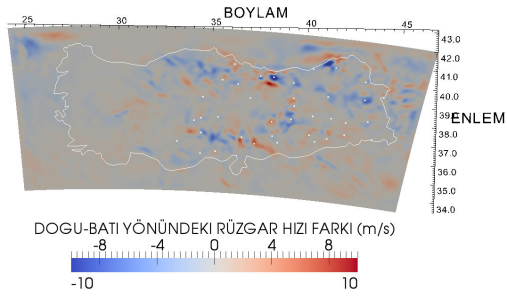
f) 6 Saat Sonra



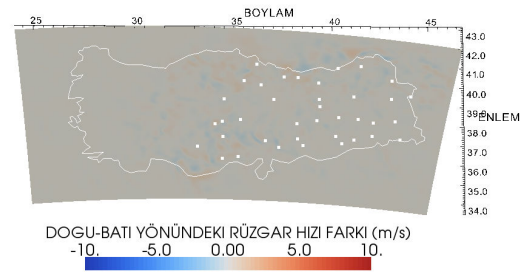
g) 12 Saat Sonra



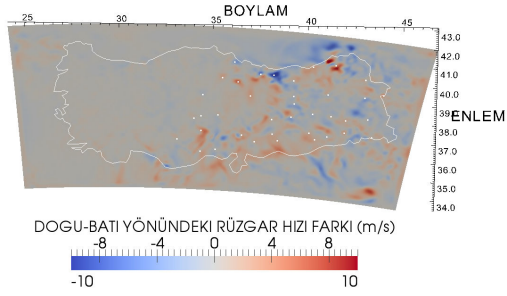
h) 12 Saat Sonra



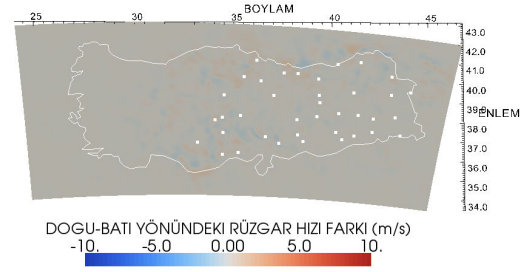
i) 24 Saat Sonra



j) 24 Saat Sonra



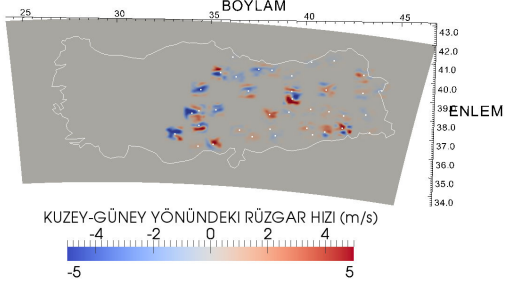
k) 48 Saat Sonra



l) 48 Saat Sonra

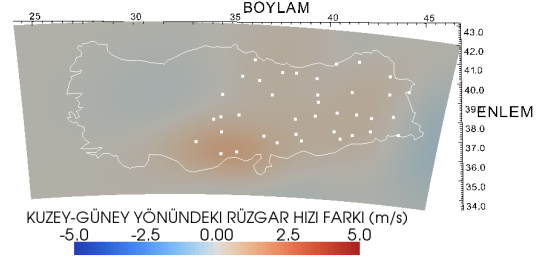
Şekil 48. Bölgesel POD ve WRF-Var ile asimilasyon sonrası U Hızı tahminleri

Bölgesel POD

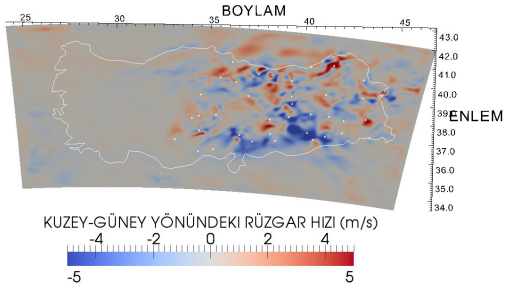


a) Başlangıç

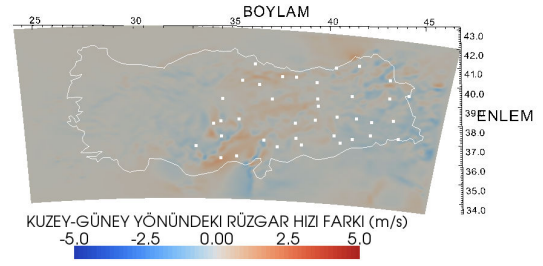
WRF-Var



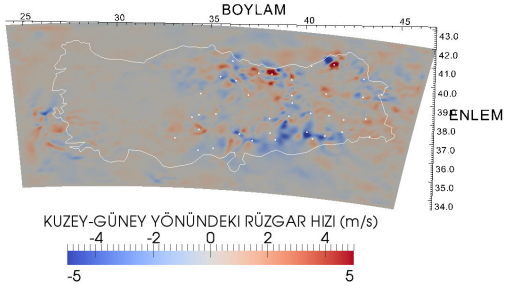
b) Başlangıç



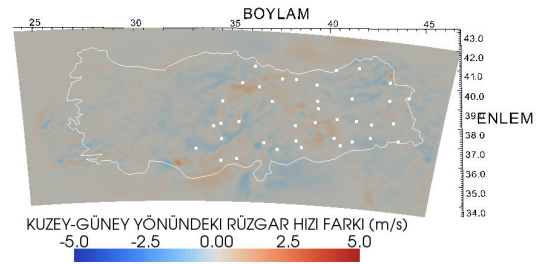
c) 3 Saat Sonra



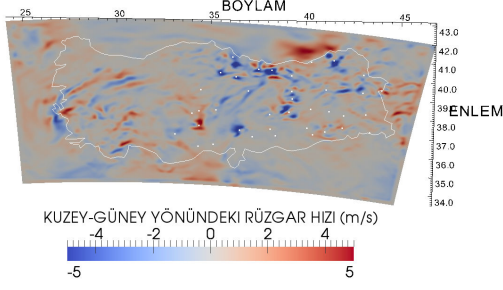
d) 3 Saat Sonra



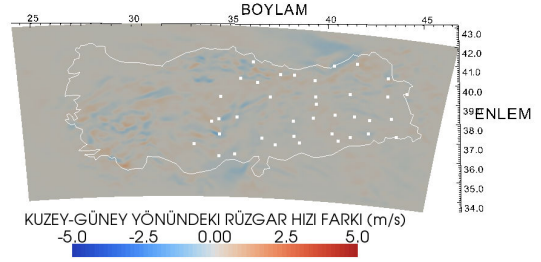
e) 6 Saat Sonra



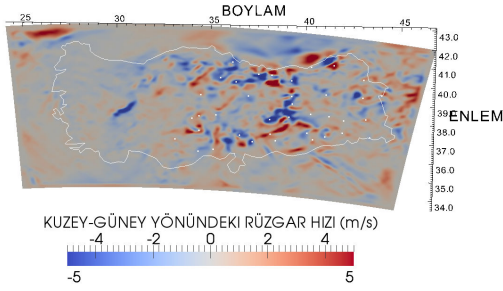
f) 6 Saat Sonra



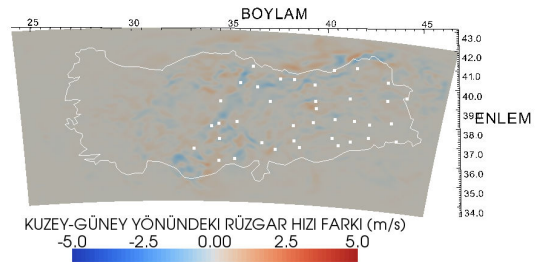
g) 12 Saat Sonra



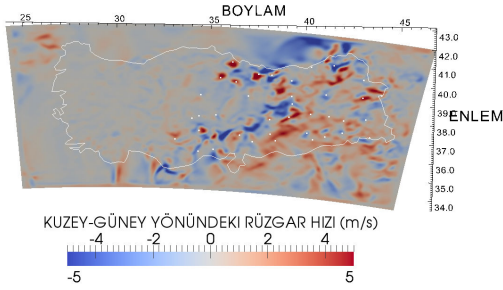
h) 12 Saat Sonra



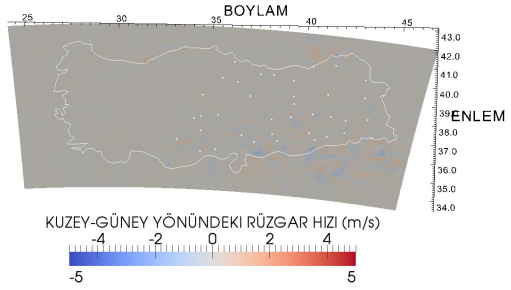
i) 24 Saat Sonra



j) 24 Saat Sonra



k) 48 Saat Sonra

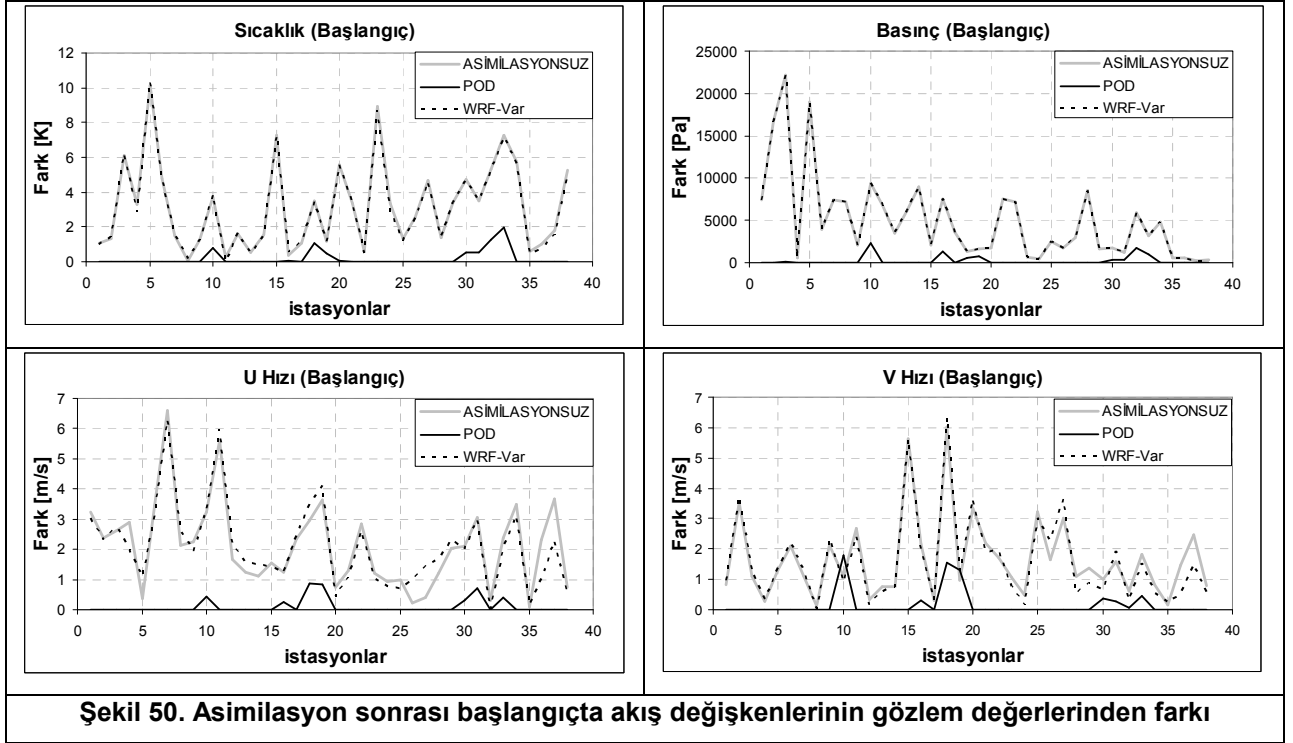


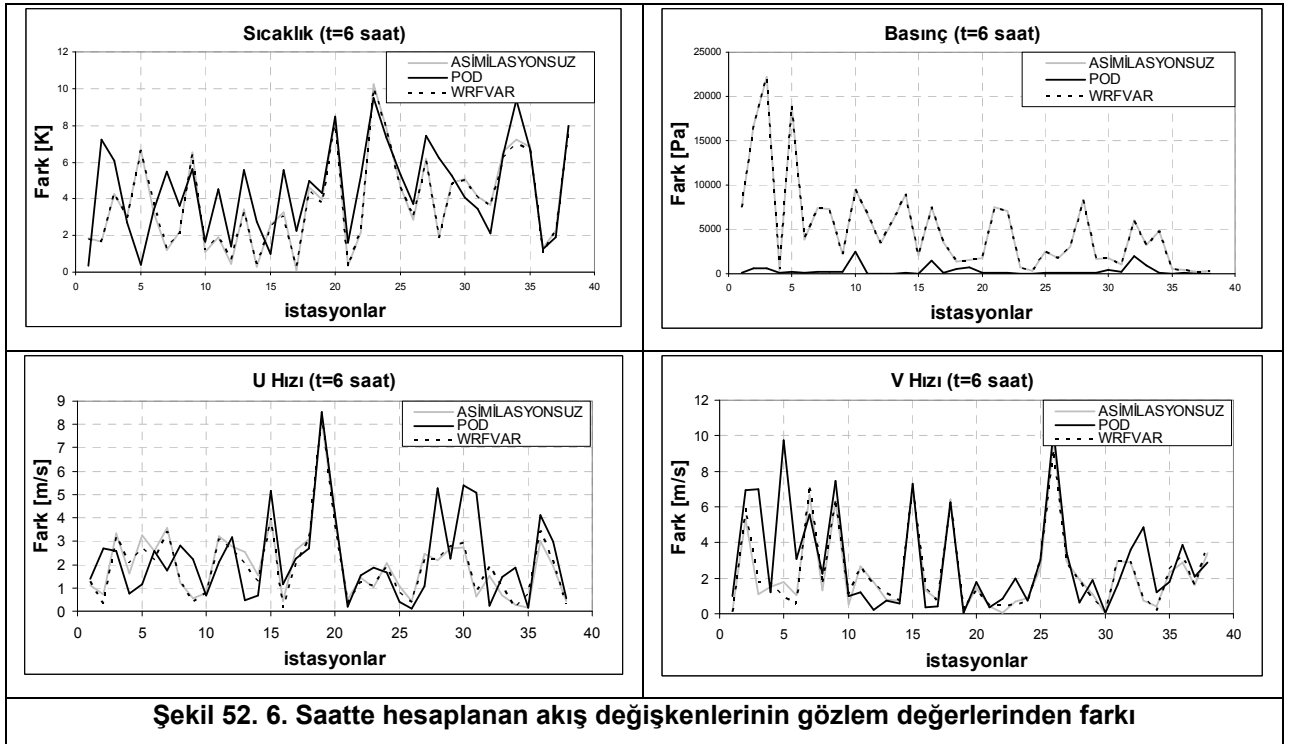
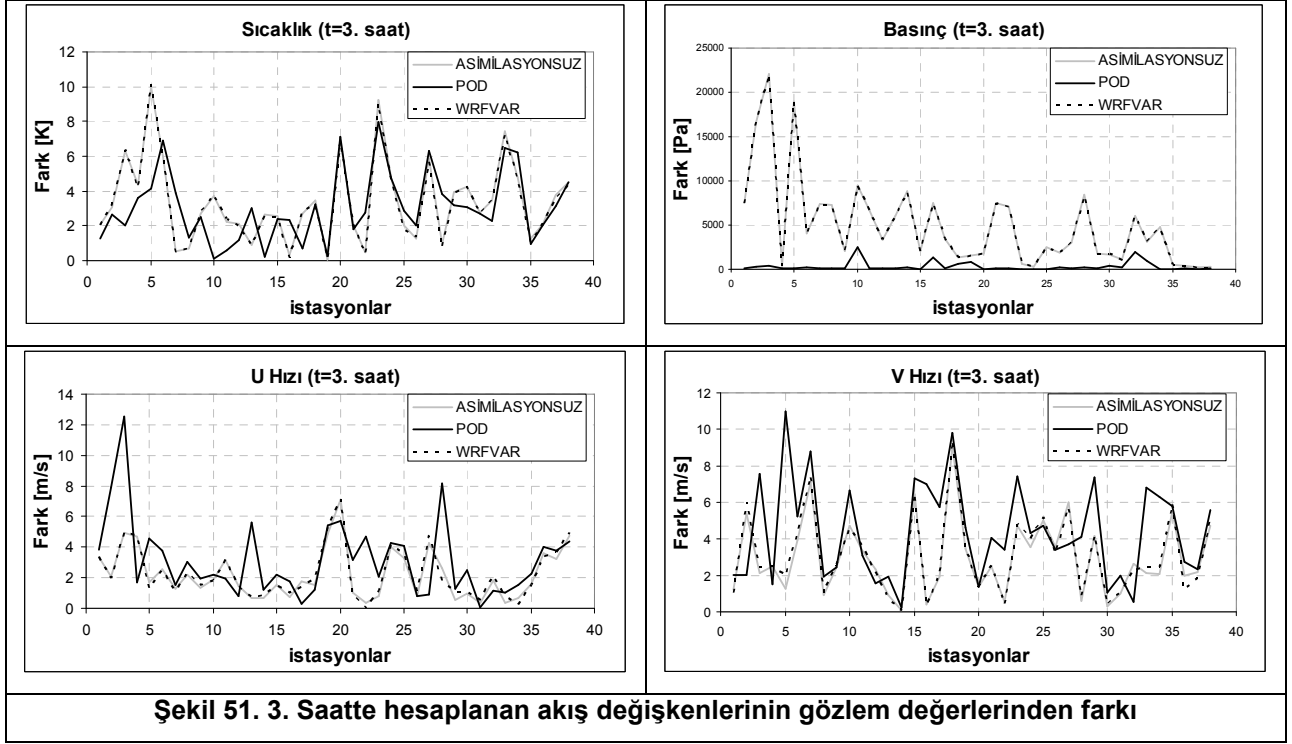
l) 48 Saat Sonra

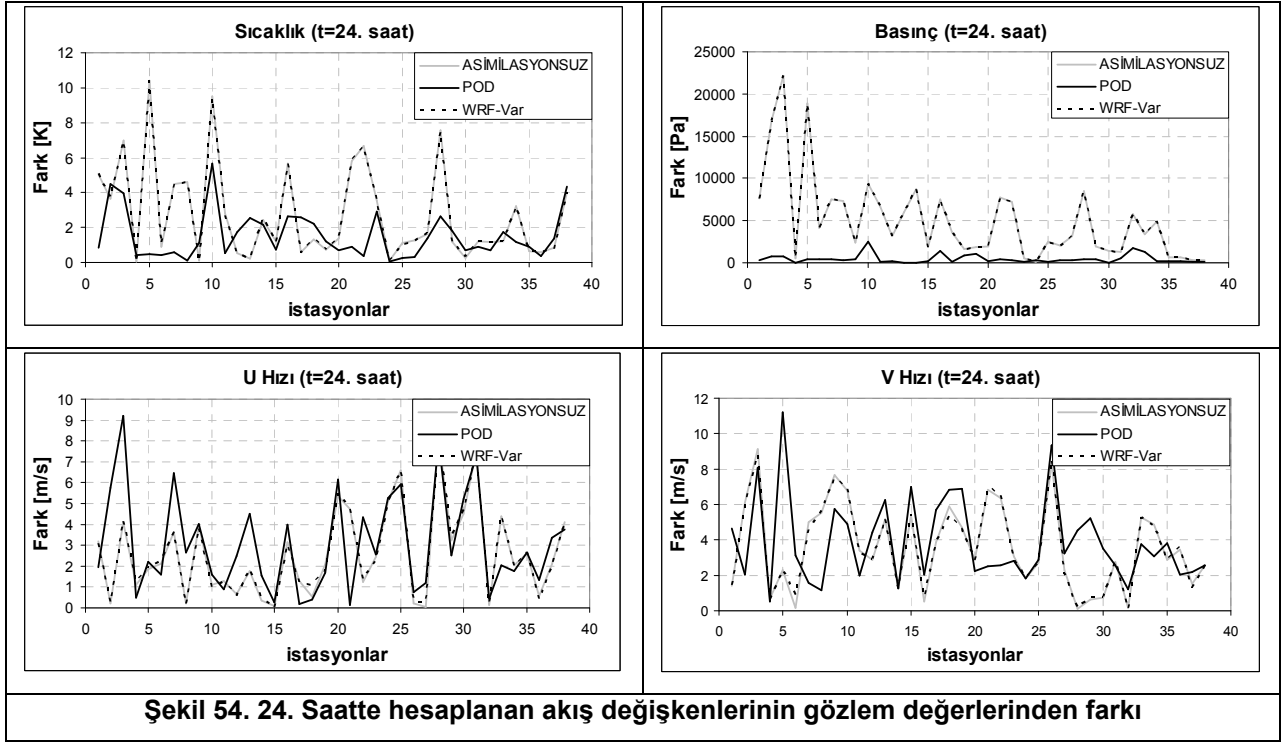
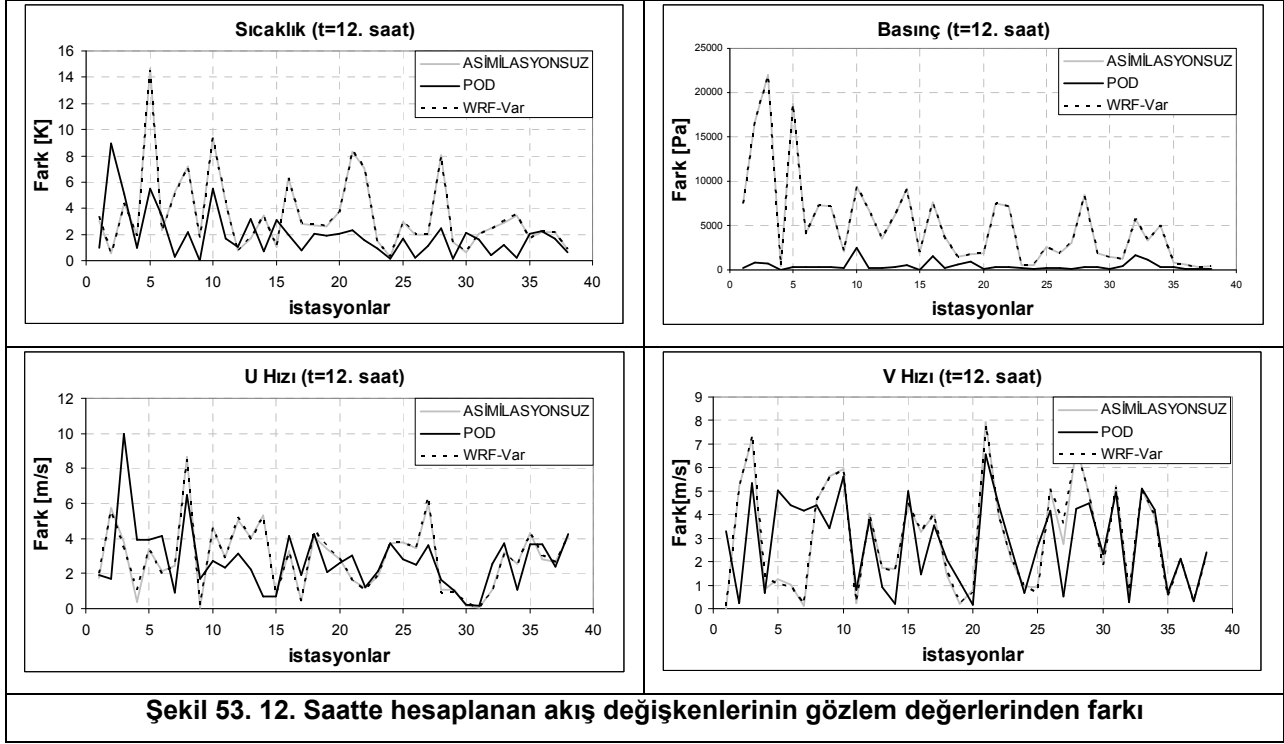
Şekil 49. Bölgesel POD ve WRF-Var ile asimilasyon sonrası V Hızı tahminleri

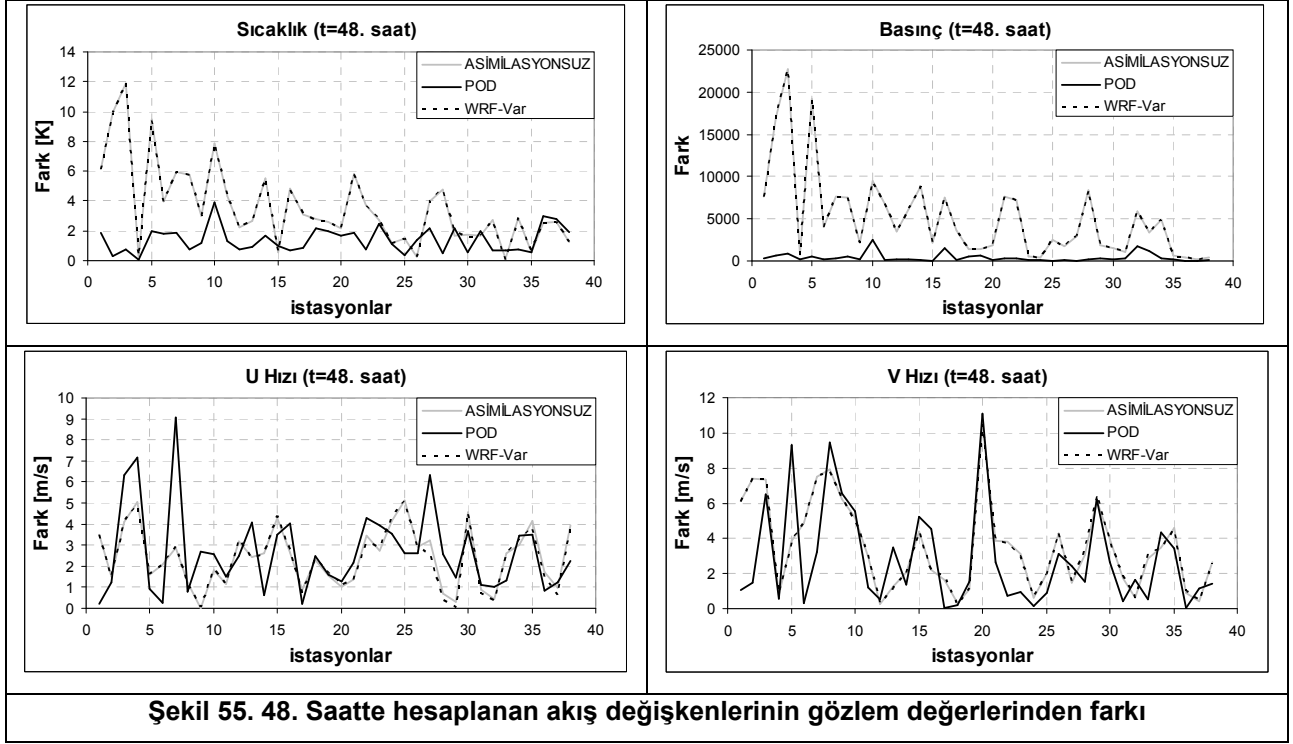
Üstte tüm Türkiye coğrafyası üzerinde incelenen veri asimilasyonlarının etkisi, alttaki şekillerde (Şekil 50.-55.) gözlem istasyonlarına en yakın düğüm noktalarında daha yakından incelenmiştir. Bu grafiklerde asimilasyon öncesi ve sonrası akış değişkenlerinin değerlerinin gözlem değerlerinden farkı verilmektedir. Görüldüğü gibi tüm akış değişkenlerindeki bu farklar WRF-Var ile yapılan asimilasyonlarda asimilasyonsuz farklara oldukça yakındır. Yani, WRF-Var ile yapılan asimilasyon

daha önce de belirtildiği gibi oldukça sınırlıdır ve 24 saatlik çözüm boyunca gözlem değerlerinden oldukça farklılık göstermektedir. Öte yanda bu çalışmada geliştirilen dar bölge POD yöntemiyle yapılan asimilasyon sonucunda akış değişkenlerinin başlangıç koşullarında ve sonrasındaki hesaplamalarda ve özellikle sıcaklık ve basınç dağılımlarında gözlem verilerine daha yakın olduğu görülmektedir. Şekil 55'te 48 saatlik tahmin sonucundaki gözlem değerlerine yakınlık açıkça görünmektedir.









Elde edilen bu sonuçlar dar bölge POD yöntemiyle yapılan gözlem verisi asimilasyonunun oldukça başarılı olduğunu göstermektedir, ancak, bu yöntemde gözlem verilerinin tümünün doğru olduğu varsayılmakta, istatistiksel bir değerlendirme ile doğrulukları test edilmemektedir.

5. SONUÇLAR

Bu proje çalışmasında DMI tarafından hava tahminlerinde kullanılmakta olan açık kaynaklı MM5 yazılımı öncelikle sıradan işlemcilerden oluşan paralel hesaplama ortamında çalıştırılmış ve performans değerlendirmesi yapılmıştır. Türkiye coğrafyasında 48 saatlik hava tahmini için 24 çekirdek kullanılarak yapılan paralel hesaplamalar yaklaşık 2 saat sürmüştür, %50 paralel hesaplama verimliliği ile tek çekirdekteki seri hesaplamaya göre 12 kat hızlanmıştır.

Gözlem istasyonlarından alınan atmosferik ölçüm verilerinin MM5 ile yapılan hava tahmini hesaplamalarına asimilasyonu için gerekli olan hesaplamalardaki istatistiksel hata bilgisi (background error) hesaplanmış ve WRF-Var yazılımı kullanılarak MM5 programının başlangıç koşullarına gözlem verilerinin asimilasyonu başarı ile yapılmıştır.

Bu proje çalışmasında POD (Proper Orthogonal Decomposition, Uyumlu Dik Ayırışım) yöntemi kullanılarak gözlem verisi asimilasyonu yapılabilmesi için yeni tekniklerin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla POD yöntemi tüm Türkiye coğrafyasında ve gözlem istasyonları çevresindeki dar bölgelerde akış değişkenlerinin belirgin modlarını bulmak ve bu modları kullanarak veri asimilasyonu yapmak üzere uygulanmıştır. Elde edilen asimilasyon sonuçları ve ardından yapılan hava tahmini hesaplamaları, bölgesel POD uygulamasının genelde daha başarılı olduğunu göstermiştir.

Bölgesel POD yöntemi gözlem verilerinin güvenilir olduğu durumlarda WRF-Var (3DVAR) yöntemiyle yapılan veri asimilasyonu sonuçlarına göre gözlem verilerinin etkisini çok daha baskın bir şekilde hava tahmini hesaplarına yedirebilmektedir. Dolayısıyla asimilasyonda kullanılacak gözlem verilerinin farklı yöntem ve birden fazla ölçümle doğrulanması gereklidir. Bununla birlikte geliştirilen bu yöntemin daha detaylı bir doğrulama sürecinden geçmesi ve gözlem istasyonları çevresindeki dar bölge alanlarının her istasyon için ayrı ayrı belirlenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- BECKERS, J. M. And Rixen, M. Eof calculations and data filling from incomplete oceanographic datasets. *J Atmos Ocean Tech*, 20(12):1839-1856, (2003).
- BERGTHORSSON, P. and Döös, B., *Numerical Weather Map Analysis*, Tellus, Vol. 7, pp. 329-340, (1955)
- BUI-THANH, T., Damodaran, M. and Willcox, K., *Aerodynamic Data Reconstruction and Inverse Design Using Proper Orthogonal Decomposition*, AIAA Journal, Vol. 42, No:8, pp. 1505-1516, (2004).
- CHAI, T., *Four-Dimensional Variational Data Assimilation Using Lidar Data*, PhD Thesis, Univ. of Iowa, pp. 26-34 (2002).
- DEMUTH, H. and Beale, M., *Neural Network Toolbox - User's Guide*, The MathWorks, Version 4.
- GANDIN, L. S., *Objective Analysis of Meteorological Fields*, Gidrometeorologicheskoe Izdatelstvo, Leningrad, (1963).
- HOKE, J. And Anthes, R., *The Initialization of Numerical Models by a Dynamic Relaxation Technique*, Monthly Weather Review, Vol.104, pp:1551-1556, (1976).
- KALMAN, R., *A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems*, Trans. ASME, Ser. D, J. Basic Eng., Vol. 82, 1960, pp. 35-45.
- KALNAY, E., *Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability*, Cambridge Univ. Pres, (2003).
- KAYA, M., Ahmet, G., Kumru, S., Tuncer, İ.H., Development of a POD Based Data Assimilation Method For Meteorological Flowfields, 5th Ankara International Aerospace Conference, METU Ankara, (2009)
- LEE Mi-Seon, shin Hyun-Cheol, Youn Ki-Han, Barker D. M., Rizvi S. W-Huang, and Guo Y.-R. Development of Unified 3DVAR for Global and Regional Application in KMA. 7th WRF Users Workshop, NCAR. Boulder, CO. (2006)
- LIANG, Y.C., Lee, H.P., Lim, S.P., Lin, W.Z., Lee, K.H. and Wu, C.G., Proper Orthogonal Decomposition and Its Applications - Part I, Theory, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 252, No:3, pp:527-544, (2002)
- LORENC, A., *Analysis Methods for Numerical Weather Prediction*, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., Vol. 112, pp. 1117-1194, (1986).

- LUCIA, D.J. and Beran, P.S., Reduced-Order Model Development Using Proper Orthogonal Decomposition and Volterra Theory, *AIAA Journal*, Vol. 42, No:6, pp: 1182-1190, (2004)
- MARCHUK, G. I., *Numerical Method in Weather Prediction*, New York, Academic Pres, (1974).
- Mesoscale and Microscale Meteorology Division, National Center for Atmospheric Research, *PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide*, (2005).
- MURRAY, Nathan E., Ukeiley, Lawrence S., An Application of GAPPY POD for Subsonic cavity flow PIV data, Springer-Verlag Research Article, (2006).
- PARRISH David F. and Derber John C., The National Meteorological Center's Spectral Statistical-Interpolation Analysis System, *Monthly Weather Review*, Vol.120, 1747-1763 (1992).
- QIU, C. and Chou, J., *Four-dimensional data assimilation method based on SVD: Theoretical aspect*, *Theor. Appl. Climatol.* Vol. 83, pp. 51–57, (2006).
- RAMIREZ, M. C. V., Campos Velho, H. F., Ferreira, N. J. *Artificial Neural Network Technique for Precipitation Forecasts Applied to the Sao Paulo Region*, *Journal of Hydrology*, (2004).
- SASAKI, Y., *Some Basic Formalisms in Numerical Variational Analysis*, *Monthly Weather Review*, Vol. 98, pp. 875-883, (1970).
- SIRISUP, S. *Issues in Low-Dimensional Modelling of Unsteady Flows: Convergence, Asymptotic Stability and Reconstruction Procedures*, (2005).
- SIROVICH L., Turbulence and the dynamics of coherent structures. Part I: Coherent structures, *Q Appl Math* 45(3):561–571, (1987).
- SIROVICH, L. and Kirby, M., Low-Dimensional Procedure for the Characterization of Human Face, *Journal of the Optical Society for America*, Vol. 4, No:3, pp:519-524, (1987).
- TALAGRAND, O., *A Study of the Dynamics of Four Dimensional Data Assimilation*, *Tellus*, Vol. 33, pp. 43-60, (1981).

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 107Y105
Proje Başlığı: Meteorolojik Tahminlerde Kullanılan MM5 Programı İçin Paralel Hesaplama Ortamında Veri Asimilasyon Modellerinin Uygulanması ve Geliştirilmesi
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Prof. Dr. İsmail Hakkı TUNCER, Gökhan AHMET, Sezgi KUMRU
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü İnönü Blv. 06531 ANKARA
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: - Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnönü Blv. 06531 ANKARA - TÜBİTAK Atatürk Bulvarı No:221 06100 Kavaklıdere/ANKARA
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.07.2007-30.06.2010
Öz (en çok 70 kelime) Bu çalışmada 3DVAR temelli WRF-Var veri asimilasyon yazılımının MM5 programına paralel hesaplama ortamında entegrasyonu sağlanmıştır. Türkiye'deki gözlem istasyonlarından alınan yerel atmosferik veriler ile 3DVAR programlarından elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Ardından Uyumlu Dik Ayrışım (Proper Orthogonal Decomposition, POD), kullanılarak yeni veri asimilasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan yeni yöntemlerden elde edilen veri asimilasyon sonuçları ve geliştirilmiş hava tahminleri WRF-Var yazılımından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve performansları değerlendirilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Sayısal hava tahmini, MM5, veri asimilasyonu, uyumlu dik ayrışım, paralel hesaplama, bilgisayar kümeleri
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input checked="" type="checkbox"/> Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.

Projeden Yapılan Yayınlar:

- Kaya M., Ahmet G., Kumru S., Tuncer İ.H., *Development of a POD Based Data Assimilation Method For Meteorological Flowfields*, 5th Ankara International Aerospace Conference, METU Ankara, (2009)
- Ahmet G., Kumru, S., Kaya M., Tuncer İ.H., *Meteorolojik Hava Tahminleri İçin Uyumlu Dik Ayrışım (Pod) Yöntemiyle Veri Asimilasyonu*, III. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, Anadolu Üniversitesi Eskişehir, (2010)
- Ahmet G., *Meteorolojik Tahmin Programları ve Navier-Stokes Çözücüler Kullanarak Rüzgar Türbini Tesis Konumunun Belirlenmesi* (Doktora Tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği, (Devam Etmekte)
- Kumru S., *Meteorolojik Akış Alanları İçin POD Temelli Veri Asimilasyon Yöntemlerinin Geliştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği, (Devam Etmekte)