

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NÜMERİK YÖNTEMLER KULLANILARAK SIKLON MERKEZLERİNİN
KONUMLARININ TESPİTİ VE YÖRÜNGELERİNİN TAYİNİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İsmail SEZEN**

Anabilim Dalı : Meteoroloji Mühendisliği

Programı : Atmosfer Bilimleri

EYLÜL 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NÜMERİK YÖNTEMLER KULLANILARAK SIKLON MERKEZLERİNİN
KONUMLARININ TESPİTİ VE YÖRÜNGELERİNİN TAYİNİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İsmail SEZEN
(511061103)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Eylül 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Eylül 2011

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ali DENİZ (İTÜ)
Eş Danışman : Prof. Dr. Kasım KOÇAK (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Fevzi ERDOĞMUŞ (İÜ)
Prof. Dr. Yunus BORHAN (İTÜ)
Doç. Dr. Sibel MENTEŞ (İTÜ)**

EYLÜL 2011

Anneme ve Babama,

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, sadece ızgaralanmış jeopotansiyel yükseklik verileri kullanılarak, siklon merkezlerinin konumlarının kesin olarak tespiti ve bu konumların zaman içerisindeki hareketlerini ifade eden yörüngelerinin tayini için tutarlılığı yüksek nümerik bir yöntemin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Klimatolojik araştırmalara yardımcı olmak niyetiyle yukarıdaki amaca yönelik yapılmış daha önceki çalışmaları titizlikle inceledim ve çalışmalardaki eksiklikler ya da günümüzdeki yeni veriler ışığında geliştirilmesi gerektiğini düşündüğüm noktalar sebebiyle böyle bir çalışma içerisine girdim.

Tezimde ortaya koyduğum fikirler aslında oldukça temel ve basit olmasına rağmen, bu fikirlerin olgunlaşması bir hayli zaman aldı. Bu olgunlaşma sürecinde yaşadığım en temel iki zorluk, tezimde genişçe bahsedeceğim makaleleri anlamak ve bu çalışmanın belkemiği olan C dilini öğrenerek temel denklemleri parameterize edip gerekli algoritmayı yazmak olmuştur. Bu nedenle, yöntemin temelini oluşturan denklemler ve algoritmayı anlatmadan önce, bu konuda yapılmış temel iki çalışmayı irdeledim.

Bu konuya beni yönlendiren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ali DENİZ'e, sonsuz hoşgörüsü ile desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof.Dr. Kasım KOÇAK'a, biparabolik interpolasyon metodunun algoritmasını 3 boyutlu olarak kurmamda büyük yardımı dokunan Algarve Üniversitesi Fizik Bölümünden Yrd. Doç. Dr. Orlando Camargo Rodriguez' e, tezimi bitirmem için günlerce yanımda kalıp bana destek olan sevgili anne ve babama çok teşekkür ederim.

Eylül 2011

İsmail SEZEN

(Fizikçi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGELER	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Objektif Analiz Yöntemi I.....	3
2.1.1 Konum tespiti.....	3
2.1.2 Yörünge tayini.....	4
2.2 Objektif Analiz Yöntemi II	8
2.2.1 Konum tespiti.....	8
2.2.2 Yörünge tayini.....	11
2.3 Objektif Analiz Yöntemi III	16
3. VERİ VE YÖNTEM	19
3.1 Veri.....	19
3.2 Yöntem	20
3.2.1 Siklon adayının tespit edilmesi	20
3.2.2 Siklonun kesin konumunun tespiti	20
3.2.2.1 Kuadratik fonksiyon	21
3.2.2.2 Kuadratik yüzey	27
3.2.2.3 Minimum nokta tespiti	36
3.2.3 Yörünge tayini.....	42
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	45
4.1 Öneriler.....	52
KAYNAKÇA	59
EKLER.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	83

KISALTMALAR

NCEP	: Ulusal Çevre Tahmin Merkezi
NCAR	: Ulusal Atmosfer Araştırma Merkezi
ECMWF	: Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi
GRIB	: Gridded Binary (Veri Formatı)
NetCDF	: Genel Ağ Veri Formatı
CDAS	: Klima Veri Asimilation Sistemi
COADS	: Geniş Kapsamlı Okyanus Atmosfer Veri Seti
WMO	: Dünya Meteoroloji Organizasyonu
Σ	: Toplam Sembolü
Π	: Çarpım Sembolü

ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge 4.1: 2001-2010 Aylara göre 1000 km ‘den fazla yerdeğiştirmeye sahip siklon sayıları.....	48
Çizelge 4.2: 1948-2010 Aylara göre 1000 km ‘den fazla yerdeğiştirmeye sahip siklon sayıları.....	49

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : (a) Objektif (b) subjektif yöntem ile tespit edilmiş siklon yörüngeleri....	7
Şekil 2.2: Güney yarıkürede kartezyen düzlem için ζg ve basınç arasındaki ilişkinin gösterimi	9
Şekil 2.3 : 1200UTC 28 Eylül ve 0000UTC 2 Kasım 1984 tarihinde güney Hint Okyanusunda bir siklonun gelişimi.	16
Şekil 2.4: Asgari yaşam süresi $T=3$ gün olan siklon yörüngeleri	18
Şekil 3.1: Kuadratik fonksiyonun kartezyen koordinat sisteminde gösterimi	21
Şekil 3.2: Kuadratik Yüzey Grafiği	27
Şekil 3.3: Kartezyen koordinatlardaki ızgara üzerindeki jeopotansiyel yükseklik değerlerinin gösterimi.	28
Şekil 3.4: İlk parabolik interpolasyon eksenini	38
Şekil 3.5: İkinci interpolasyon eksenini.....	40
Şekil 3.6: İnterpolasyon sonucu bulunan minimum noktanın betimlemesi.....	41
Şekil 4.1: 30N enlemi ve 30E boylamı için jeopotansiyel yüksekliğin zamanla değişimi	47
Şekil 4.2: Eleme Yarıçapı ve Elenen Siklonların sayısının bulunan toplam siklon sayısına yüzde olarak oranı (7000 km ‘ye kadar).....	52
Şekil 4.3: Eleme Yarıçapı ve Elenen Siklonların sayısının bulunan toplam siklon sayısına yüzde olarak oranı (100 km ‘ye kadar).....	54
Şekil 4.4: $t=0$ anında sistemin durumu	55
Şekil 4.5: $t=1$ anında sistemin durumu	56
Şekil 4.6: $t=0$ ile $t=1$ sistemleri arasındaki fark (tandans değerleri).....	57

NÜMERİK YÖNTEMLER KULLANILARAK SIKLON MERKEZLERİNİN KONUMLARININ TESPİTİ VE YÖRÜNGELERİNİN TAYİNİ

ÖZET

Bu çalışmada 2,5 derece uzaysal ve 6 saat zamansal çözünürlüğe sahip 1000 mb. jeopotansiyel seviyesi için NCEP/NCAR yeniden analiz I verileri kullanılmıştır. Bu veri setinin seçilmesinde erişim kolaylığı ve veri formatı göz önünde bulundurulmuştur. Bununla birlikte, bu çalışmada önerilen yöntemin uygulanabilir olması için belirli çözünürlük kıstasları mevcuttur. Siklon merkezlerinin hızlarına dayalı olarak uygun uzaysal ve zamansal çözünürlük değerleri seçilmelidir.

Konum tespiti için, arama işleminin gerçekleştirileceği her bir ızgara noktasındaki jeopotansiyel yükseklik değeri etrafındaki 8 nokta ile karşılaştırılmış; bu sekiz noktaya göre düşük ya da en az eşit yükseklik değerine sahip olan noktalar siklon merkez adayı olarak kabul edilmiştir. Siklon adayının gerçekten kapalı bir siklon merkezi olup olmadığının belirlenmesi için parabolik ve biparabolik interpolasyon yöntemlerindeki gerekli sınır koşullarını sağlayıp sağlamadığına bakılmıştır. Bu sınır testlerini geçen ve parabolik/biparabolik interpolasyon ile gerçek konumları hesaplanabilen adaylar siklon merkezi olarak kabul edilmiştir. Konum tespiti algoritmasının doğasından kaynaklanan ve aynı siklonun tekrar tespit edilmesine neden olan hatayı bertaraf etmek için, bulunan siklon merkezleri etrafında 300 km'lik yarıçaplı dairesel bir alanda başka herhangi bir siklon olup olmadığı araştırılmış, eğer siklon bulunmuş ise daha yüksek jeopotansiyel yükseklik değerine sahip siklon yoksayılmıştır. Bu sayede siklonların %5,16 'sı elenmiştir.

Yörünge tespiti için, 6 saatlik zamansal çözünürlüğe sahip olan jeopotansiyel verileri doğrusal interpolasyon ile 1 saatlik çözünürlüğe indirgenmiştir. Tespit edilen siklonu, bir önceki saat diliminde civarındaki siklonlar ile eşleştirmek için, siklonların 1 saatlik süre içerisinde en çok ne kadar mesafe katedebileceklerinin belirlenmesine ihtiyaç vardır. Buna benzer yapılmış çeşitli çalışmalarda siklonların 80km/h ve 100km/h hız değerlerini geçmeyeceği öngörülmüştür. Lakin yapılan subjektif incelemede bazı siklon merkezlerinin 1 saatlik zaman periyodu içerisinde 200km 'yi aşkın mesafeler kat ederek yer değiştirdikleri gözlenmiştir. Bu durum her ne kadar bazı siklonların yörüngelerinin tespitini kesintiye uğratsa da, üzerlerinde yapılan mevsimlere ve aylara göre frekans incelemesinde büyük bir hataya yol açmayacaktır. Bu çalışmada 150 km' lik yarıçaplı dairesel bir alan içerisinde bir önceki zaman dilimindeki en yakın komşu siklon eşleştirmesi kullanılmıştır.

Bu tür hataları bertaraf etmek için, en yakın komşu yönteminden ziyade, siklonun bulunduğu 3x3 'lük ızgara üzerindeki tandans fonksiyonu kullanılarak, tandansın negatif ve mutlak değerce en büyük olduğu noktaya doğru bir arama işlemi yapmak uygun olacaktır. Lakin zaman kısıtından dolayı bu çalışmada, siklon eşleştirmesi 150km 'lik dairesel alan kullanılarak yapılmıştır.

Yukarıda özetlenen yöntem, 63 yıllık 1000 mb jeopotansiyel yüzey verisi üzerinde uygulanmış; çalışma alanı olarak Türkiye'nin de içinde bulunduğu 25-55N enlemi ve 10-50E boylamı arasındaki bölge seçilmiştir. Tespit edilen siklon yörüngeleri Hysplit programının yörünge çizme ve frekans hesaplama arayüzleri kullanılarak incelenmiştir.

Elde edilen yörüngeler kullanılarak mevsimlere ve aylara göre frekans haritaları çıkarılmıştır. Temel frekans haritalarının çıkarılmasında yaşam süresi 1 saat ve yukarıdaki siklon yörüngeleri tercih edilmiş; ek olarak yaşam süresine bakılmaksızın 1000 km ve üstü yerdeğiştirmeye sahip siklon yörüngeleri kullanılarak da frekans haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalar, yerel kısa süreli siklon oluşumlarını ve uzun yaşam süresine sahip fakat durağan siklonları gözardı etmemize olanak sağlar. Ayrıca frekans haritalarını anlamamıza yardımcı olması amacıyla, aynı veriler kullanılarak siklonların yörüngeleri de çizdirilmiştir.

Frekans haritalarının incelenmesi neticesinde, kış mevsiminde Türkiye'nin en çok Akdeniz üzerinden güneybatılı-batılı ve karadeniz üzerinden kuzeyli siklonik aktiviteye maruz kaldığı görülmektedir. İlkbahar'da ise siklon yörüngeleri biraz daha kuzeye kaymıştır ve ege denizinden tüm Türkiye 'yi etkileyen batılı bir siklonik faaliyet gözlenmiştir. Yaz mevsiminde Kıbrıs 'ın batısındaki siklonik faaliyet artışı, bu bölgedeki kısa süreli siklonların yazın oldukça aktif olduğuna işaret eder. Buna ek olarak, Muson alçak basınç merkezinin yaz mevsiminde gösterdiği faaliyet artışı dikkate değerdir. Sonbahar mevsiminde Kıbrıs'ın batısındaki aktivite bölgesi hala mevcut olmakla birlikte etkisini azaltmış ve Cenova körfezi merkezli, Yunanistan üzerinden ülkemize gelen siklonların sayısında artış olmuştur.

Bahsedildiği üzere, bulunan siklon yörüngelerindeki kesintilerin iyileştirilmesi için algoritmada iyileştirmeler yapılması gerekmektedir. Bu iyileştirmelerin ardından elde edilen sonuçları daha net ve kesin biçimde yorumlamak mümkün olacaktır.

LOCATION DETECTION AND TRAJECTORY DETERMINATION OF CYCLONE CENTERS USING NUMERICAL METHODS

SUMMARY

In this study, It has been used NCEP/NCAR Reanalysis-I 1000 mb geopotential data has 2.5 degree spatial and 6 hours temporal resolution. It has been considered access ease and data format to choose this set. However, There is some resolution criteria to apply the method suggested in this study. It must be chosen proper spatial and temporal resolution values based on cyclone center's velocity.

For location detection, it had been compared to eight neighboring-grid point of the each grid point that will be used to search process; The grid points that have equal or lower value according to eight neighboring grid points value accepted as cyclone center candidate. It had been taken into account required boundry conditions in parabolic and biparabolic interpolation for whether if cyclone candidate is a closed cyclone center indeed or not. Canditates that passes the boundry tests and has the real positions calculated by parabolic/biparabolic interpolations had been accepted cyclone center. It's investigated whether if there is another one around detected cyclone center in a circle with 300 km radius. The cyclone which has higher geopotential height value is ignored if cyclone was detected, to eliminate the error originated from the nature of location detection algorithm and causes the same cyclone is detected again. 5.16% of cyclones is eliminated by this way.

For track determination, the six hours temporal resolution raised to one hour by linear interpolation. It's required to determine the maximum travelled distance of a cyclone in a hour to match the detected cyclone with the one around in previous time step. It's predicted that the cyclones does not exceed the 80 km/h and 100 km/h velocity values in previous studies like this. However, it's observed that some of cyclone centers had travelled more than 200 km in one hour time period in this subjective study. In spite of fact that some of cyclone tracks are interrupted caused by this error, it does not cause a large error on frequency analysis by seasons and months. The matching of most close cyclone in previous time step in a circle with 150 km Radius is used in this study.

To avoid such errors, It's good idea to accomplish a search procedure through the point that tendency is negative and it's absolute value is maximum by using the tendency function created on 3x3 grid that cyclone is located in. However, the matching of cyclones is implemented by a circle with 150 km because of lack of time.

The summarized method above is implemented on the 63 years geopotential height data; the area between 25-55N latitude and 10-50E longitude that Turkey is inside is choosen as working area. The detected cyclone tracks are examined by using track plotting and frequency calculation of Hysplit application.

The frequency maps by seasons and months are generated by using obtained cyclone tracks. to generate basic frequency maps, cyclone tracks that has a life time is one hour and over had been preferred; additionally, the frequency maps had been generated by using cyclone tracks has distance 1000 km and over by ignoring life time. These maps makes it possible to ignore the local cyclones has short life time and the stationary cyclones has long life time. The cyclone tracks also is plotted to help us understand the frequency maps.

As a result of examination of the frequency maps, Turkey is exposed by cyclonic activity mostly from southwest and west over Mediterranean and north over blacksea. The cyclone tracks are moved to North in the spring and a western cyclonic activity is observed from Aegean Sea. The increase of cyclonic activity over west of Cycprus is sign that cyclones are very active around there in summer season. Additionally, It's important that the increase of activity of Muson low center in summer time. The increase of activity over North of Cycprus is still exist but acitivity values is decreased and The number of cyclones comes through Turkey from Genova gulf passing by Greece had increased.

As mentioned before, some improvements is needed to decrease the number of interruptions in cyclon tracks. It will be possible to interpret the the obtained results more exact and clear after these improvements.

1. GİRİŞ

Günümüzde birçok klimatolojik amaçlı çalışma, çeşitli modeller sonucu hesaplanmış ızgaralanmış verileri kullanmaktadır. Bu yöntemin tercih edilmesinin temel sebebi, kullanılan verilerin hatadan mümkün olduğunca arındırılmış olması ve veri düğümlerinin ızgaralar üzerinde sunuluyor olmasıdır. İstasyon verileri ile uğraşmak yerine, bu biçimdeki bir veri yığını ile uğraşmak, bize matematiksel olarak hesaplamalarda büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Öncelikle istasyon verisindeki en büyük zorluk, istasyon bulunmayan bir konumdaki herhangi bir parametrenin hesaplanmasında ortaya çıkmaktadır. Çünkü farklı enlem ve boylam değerlerine sahip rastgele konum seçimi yapılmış istasyonlardaki veriler kullanılarak istasyon bulunmayan bir noktaya enterpole edilmesi, matematiksel olarak büyük zorluklar içermektedir. İşte çeşitli modeller kullanılarak ortaya çıkartılmış olan ızgaralanmış veri yığınları bizi bu tarz zorluklardan kurtararak, birbirlerine uzaklıkları sabit ve belli aralıklarla dizilmiş konumlardaki veri değerleri üzerinde kolayca işlem yapabilme kolaylığı sağlamaktadır.

Her ne kadar, ızgaralanmış veriler üzerinde çalışmak, istasyon verileri üzerinde çalışmaya nazaran daha kolay olsa da, ızgaralanmış verilerden azami fayda sağlayabilmek için, gerekli matematiksel denklemlerin dikkatle kurulması ve buna bağlı olarak algoritmaların ciddiyeyle yazılması büyük önem arz eder. Çünkü algoritmada yapılacak, fark edilemeyecek kadar çok küçük bir mantık hatası, araştırılan konuyu sonuçlarını toplamda rahatlıkla saptırabilir.

Bu çalışmada, NCEP ve NCAR ortaklığı ile yürütülen proje kapsamında üretilmiş olan NCEP/NCAR yeniden analiz I verileri tercih edilmiştir.¹ Bunun temel sebebi, verilere erişimin ECMWF 40 yıl yeniden-analiz verilerine göre daha kolay olması ve daha geniş bir zaman aralığını kaplamasıdır. Bununla birlikte ikili olarak kaydedilen verilerin kolayca okunması/yazılması için gerekli kütüphanelerin kullanılması zorunluluğudur. ECMWF verileri temelde GRIB formatında sunulurken,

¹ <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>

NCEP/NCAR yeniden analiz I verileri doğrudan NetCDF formatında sunulmaktadır. Yine NCAR tarafından sunulan NetCDF Kütüphanesi² ister fortran diliyle ister C diliyle, dosyalardaki verilere ulaşmak için oldukça doğal ve temel yöntemler sunmaktadır. NCEP/NCAR projesi kapsamında sunulan verilerin 2.5x2.5 derecelik uzaysal çözünürlüğü de ulaşmak istediğim hedef için oldukça yeterli bir çözünürlüktür. İlerleyen bölümlerde uzaysal çözünürlüğün, algoritmanın sağlıklı çalışması açısından önemine değinilecektir.

Yukarıdaki bahsedilen noktalar ışığında ilerleyen bölümlerde ızgaralanmış jeopotansiyel yükseklik değerleri üzerinde siklon merkezlerinin konumlarının bulunması ve bu konumların zaman içerisinde yörüngelerinin tayin edilmesi hususunda bir algoritmanın nasıl hazırlandığı, hangi fiziksel ve matematiksel denklemlere dayandığı, sebepleri ile birlikte açıklanmıştır.

Bu açıklamalardan önce bu konu ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalara göz atmak oldukça faydalı olacaktır. Sonraki bölümde siklon konumlarının belirlenmesi ve takip yöntemleri üzerinde daha önce yapılan çalışmalara değinilecektir.

² <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yapısı itibariyle siklon merkezlerinin konumlarının tespit edilmesi ile antisiklon merkezlerinin konum tespiti arasında çok az fark vardır. Lakin bizleri etkileyen hava olaylarının büyük oranda siklonlara bağlı olması, öncelikle bunların araştırılmasına ön ayak olmuştur. Bu konuda yapılan çalışmalar yeni bir konu değildir. Buna bağlı olarak, siklon konumları doğru bir şekilde tespit edildiğinde, antisiklonların konumlarının da rahatlıkla tespit edilebileceğini söyleyebiliriz.

Siklon merkezlerinin objektif olarak konum tespiti ile ilgili literatürdeki en temel çalışma, ECMWF verisi ile akdeniz siklonlarının araştırılması konusunda yapılmıştır (Alpert ve diğ., 1990). Makalede bahsi geçen yöntem birçok atıf almış, benzer yöntem NCEP/NCAR yeniden-analiz verileri vasıtasıyla akdeniz siklonlarının uzaysal ve zamansal dağılımlarının incelenmesinde de kullanılmıştır (Sinclair, 1994; Blender ve diğ., 1997; Trigo ve diğ., 1999; Maheras ve diğ., 2001).

Alpert' in çalışmasında kullandığı yöntem, temelde matematiksel olarak Koehler' in 1977' deki "A test of seven methods which perform grid to observation interpolations. Meteorological applications of satellite indirect sounding II" isimli yayınına dayanmaktadır. Lakin bu yayına ulaşım incelenmesi mümkün olmamıştır. Fakat yöntem oldukça temel bir matematiksel yaklaşım olduğundan açıklamak çok zor değildir. Şimdi Alpert' in makalesinde bahsettiği siklon konumlarının tespitine ilişkin objektif yöntem adımlarını inceleyelim.

2.1 Objektif Analiz Yöntemi I

2.1.1 Konum tespiti

Siklon konumlarının kesin tespiti istatistiksel siklon çalışmalarında büyük önem arz eder. Bu nedenle konumları büyük bir kesinlikle tespit edebilmek için aşağıdaki yöntem uygulanmıştır:

1. Bir siklon adayı ilk olarak ECMWF 1000 mb ızgarasındaki bir noktanın etrafındaki 8 noktaya eşit ya da az değere sahip olması ile tanımlanır. Bu adayın kesin konumu takip eden diğer adımlar vastasıyla hesaplanır (Alpert ve diğ., 1990).
2. Siklon adayına ait konum merkezde olmak kaydıyla gerçek merkezin x-konumunu tespit edebilmek için x-doğrultusunda parabolik interpolasyon uygulanır (Alpert ve diğ., 1990).
3. x-konumundaki yükseklik değeri, x-doğrultusundaki komşu grid noktalarındaki yükseklik değerlerinin oldukça hassas bir şekilde biparabolik interpolasyona tabi tutulmasıyla tespit edilir (Alpert ve diğ., 1990).
4. 3. Adımdakine benzer şekilde pozitif ve negatif y-doğrultusundaki yükseklik değerleri hesaplanır (Alpert ve diğ., 1990).
5. 2. adımdaki yöntem y-doğrultusunda tekrarlanır (Alpert ve diğ., 1990).

Yukarıdaki yöntem uygulandıktan sonra makalede bahsi geçen istatistiksel inceleme amacıyla 500x500 km' lik alanda herhangi başka bir siklon merkezinin olup olmadığına bakılır. Eğer başka bir siklon merkezi mevcut ise, daha derin olan kabul edilir ve diğeri elenir. Bu eleme sonucunda bulunan siklonların %6' sı elenmiştir (Alpert ve diğ., 1990).

Yukarıdaki siklon konum tespit yöntemine ek olarak ikinci bir yöntem daha denenmiştir. Bu yaklaşım asgari yüzey basınç gradyanının (0.5mb/500km.) doğu, batı, kuzey ve güney yönlerde 500km' lik mesafede kontrol edilmesine dayanmaktadır. Fakat bu yöntem ile elde edilen sonuçlar, yaz gecelerindeki frekanslarda dikkate değer bir düşüşe neden olmuştur (Alpert ve diğ., 1990).

2.1.2 Yörünge tayini

Yörünge tayini için birleştirilecek siklonların konumlarını arama işlemi grid noktasındaki 300 km' lik ana eksene sahip eliptik bir domain üzerinde yapılmıştır. Yapılan çeşitli eksen uzunluğu denemeleri sonucunda aşağıdaki yöntemler tercih edilmiştir (Alpert ve diğ., 1990):

1. Eliptik alana ait ana eksen yönü tespit edilmiş olan siklon merkezindeki 700 mb rüzgâr vektörü ile tayin edilmiştir. 700 mb seviyesinin çeşitli sinoptik ve dinamik çalışmalarda steering seviyesine yakın olduğu gösterilmiştir (Alpert ve diğ., 1990).
2. Ana eksenin başlangıç noktasından olan 700 mb rüzgâr vektörü doğrultusundaki parçası c aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır (Alpert ve diğ., 1990):

$$c = \max(300km, 1.8A) \quad (2.1)$$

$$A = |V_{700mb}(km/h) - 12h| \quad (2.2)$$

3. Ana eksenin rüzgâr yönünün tersi istikametindeki parçası, b, sabit olarak 300km seçilmiştir. Böylece elips denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir (Alpert ve diğ., 1990):

$$x^2 + \frac{c}{b}y^2 - (c - b)x = bc \quad (2.3)$$

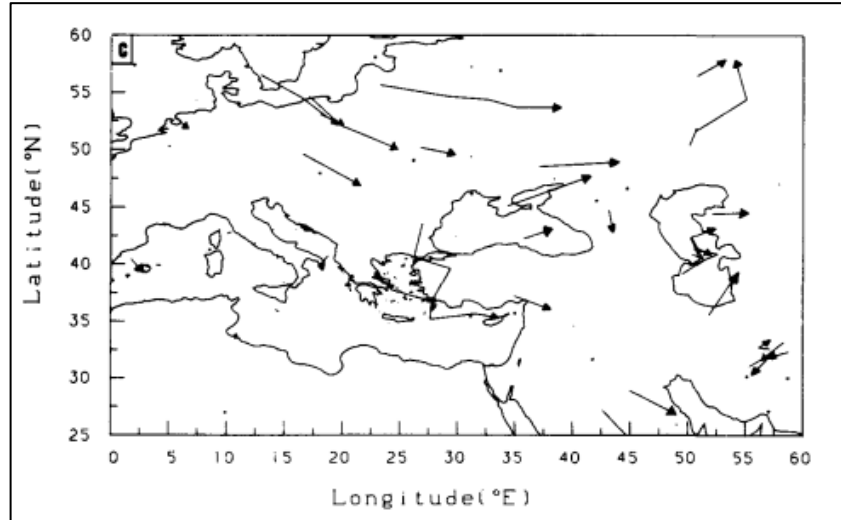
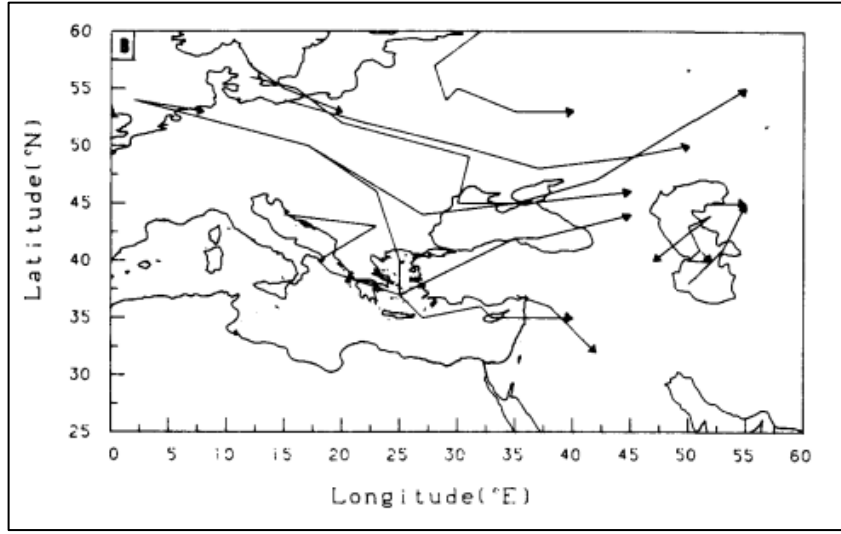
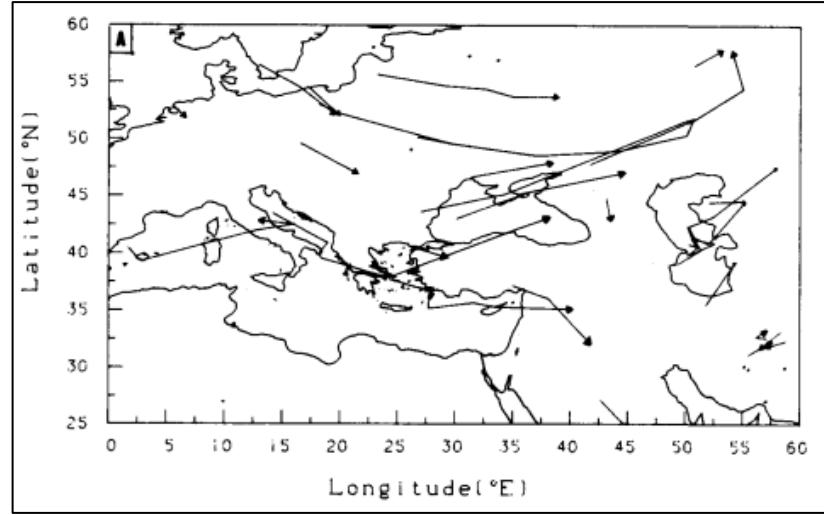
Burada x değeri, başlangıç noktası koordinat sisteminin orjini olmak üzere, ana eksen boyunca olan mesafedir. Eğer bir sonraki veri dizisi için (12 saat sonraki) elips içinde bir diğer siklon merkezi tespit edilmiş ise, ilk başlangıç noktası bulunan yeni nokta ile birleştirilir ve yörünge oluşturulmaya başlanır. Bir sonraki veri dizisi için aynı algoritma tekrarlanır. Eğer bir sonraki veri dizisinde iki ya da daha fazla siklon merkezi mevcutsa, bir önceki konumdaki siklon merkezi her bir yeni siklon konumuna tek tek birleştirilir. Bu durum yörüngenin ayrıldığına işarettir. Benzer olarak, farklı siklon konumlarına ait iki elips kesişiyorsa ve ilgili yörüngeler aynı noktada birleşiyorsa, yörüngelerin tek noktaya yakınlaştığı söylenebilir (Alpert ve diğ., 1990).

Her bir denemede bulunan siklon sayıları ve bulunan coğrafik konumları kış ve bahar aylarındaki belirli periyodlar için hazırlanmış olan subjektif olarak analiz edilmiş yörüngeler ile karşılaştırılmıştır. Şekil 2.1-(a) objektif yöntemle üretilmiş yörüngeleri ve Şekil 2.1-(b) 1-10 Ocak 1987 zaman aralığı için subjektif olarak üretilmiş yörüngeleri göstermektedir. Şekil 2.1-(b) 'deki izole noktalar yörünge tespit

edilememiş siklon merkezlerini göstermektedir. Bunların çoğunluğu zayıf ya da termal kaynaklıdır. Bu yüzden bu zayıf merkezler günlük çevrimin baskısı altında kalmıştır. İzole noktaların sayısı oldukça çok olmasına rağmen (Tüm periyod için yaklaşık %20) güçlü bir şekilde yıllık ve günlük değişimlere bağlı oldukları gözlemlenmiştir (Alpert ve diğ., 1990).

Şekil 2.1-(b) siklon yörüngelerinin çoğunun gerçeğe yakın bir şekilde tespit edildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, kuzey denizinden karadenize doğru avrupayı keserek geçen gözlenmiş siklon yörüngesi objektif metod ile tespit edilememiştir çünkü siklon yaklaşık 12 saat içerisinde 12° gibi bir mesafeyi çok hızlı kat etmiştir. Bu özel yörüngeyi tespit etmek için c değerinin 2.5A değerine arttırılması diğer yörüngelerin tespitinde bozulmalara neden olmuştur. Bu yüzden, denklem (2.1)' deki 1.8A' nın, hatalı yörünge bağlantılarını en aza indirmesi ve diğer taraftan gerçek yörüngelerin sayısını azami ölçüde arttırması açısından en uygun değer olduğu görülmüştür (Alpert ve diğ., 1990).

Şekil 2.1-(c)' de sonucu gösterilen dairesel alan içerisindeki arama işleminde eliptik aramanın ne kadar önemli olduğu görülmektedir. Aslında uygun olan yörünge parçaları birleştirilememiştir. Örneğin kuzey Avrupa'da, güney İtalyadan Yunanistan' a ve güney Yunanistan' dan Türkiye' nin kuzeyine uzanan yörünge parçaları. Ek olarak, Türkiye' nin kuzeybatısından güneybatısına doğru uzanan yörünge gibi yanlış bağlantılar gözlemlenmiştir. Burada vurgulanmalıdır ki, tüm yörüngeler tespit edilememiş ve bazı yörüngeler yukarıda bahsi geçen yöntem ile yanlış olarak tespit edilmiştir. Lakin yanlış tespit edilen yörüngeler, analizin yapıldığı zaman aralığı göz önüne alındığında yaklaşık olarak %5-15 arasında küçük bir değeri kapsamaktadır (Alpert ve diğ., 1990).



Şekil 2.1: (a) Objektif (b) subjektif yöntem ile tespit edilmiş siklon yörüngeleri (1-10 Ocak 1987 tarihleri için). (c) ile (a) aynıdır. Tek fark (c) şeklindeki siklonlar dairesel bir domain seçilerek hesaplanmıştır. Resimdeki noktalar yörünge bulunamayan siklon merkezlerini göstermektedir.

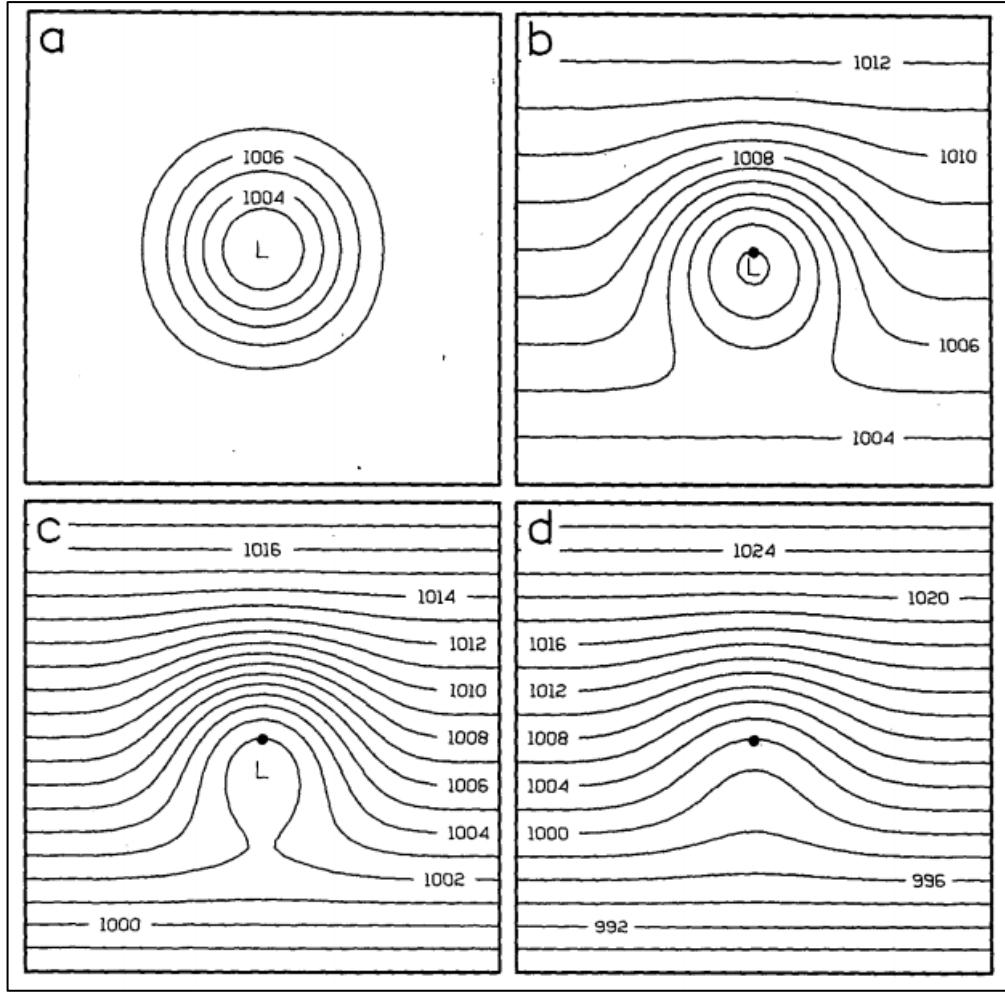
2.2 Objektif Analiz Yöntemi II

Sinclair (1994) makalesinde 1980-1986 yılları arasında günde 2 defa olmak üzere ECMWF 1000 mb jeopotansiyel yükseklik değerlerini kullanarak güney yarı küre üzerinde çalışılmıştır. ECMWF verisi $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ çözünürlüğe sahip olmakla birlikte güney kutbun civarında meydana gelebilecek problemlerden kaçınabilmek için, veri 63×63 polar stereografik ızagara formuna dönüştürülmüştür (Sinclair, 1994).

2.2.1 Konum tespiti

Daha önceki analiz yöntemlerinden farklı olarak, burada siklonik bozulmayı tespit etmek için siklonik ζ_g 'nin merkezleri kullanılmıştır. Bu fiziksel bir temele dayamaktadır, dönme merkezi basınç minimumuna kıyasla vortisiti ile daha yakından ilişkili olduğundan, ζ_g merkezleri uydu görüntülerinde görünen girdaplar ile daha iyi bir uyum içinde olacaktır. Siklon terimi genelde kapalı basınç merkezlerini belirtmek için kullanılmasına rağmen, bu makalede herhangi bir ζ_g merkezini ifade etmek için kullanılmıştır. Ayrıca ζ_g 'nin kullanılması tek başına basıncın aksine siklon yoğunluğunun ölçülebilmesine olanak tanımıştır. Bununla birlikte, siklon konum tespitinde basınç yerine vortisitinin kullanılmasını zorunlu kılan bir sebep mevcuttur. Basınç minimum yöntemi kullanıldığında meydana gelen iki önemli etki olduğu görülebilir (Sinclair, 1994).

Şekil 2.2' de, siklonik jeostrofik vortisinin durağan dairesel bölgesi ile ilişkili basınç dağılışı görülebilir. ζ_g değiştirilmeksizin, az bir zonal jeostrofik rüzgar eklendiğinde, "L" ile gösterilen yerel basınç minimumu hafifçe siklonik ζ_g maksimumunun (Şekil 2.2 'de koyu nokta ile işaretlenmiş) kutup tarafına doğru göç eder. Bu, fırtına hattını tanımlamak için jeopotansiyel dalgalanmalar akış fonksiyonunun yerine kullanıldığında kuzey yarıkürede baroklinik bir fırtına hattının kutba doğru kayması ile benzerdir (Wallace ve diğ., 1988). Batılı bileşenin kuvvetlenmesi, basınç minimumunun kutba doğru yer değiştirmesini arttırmaktadır. Bununla birlikte, çok daha güçlü bir batılı akış durumunda (veya daha zayıf vortisiti merkezi) gözden kaybolmaktadır. Şekil 2.2 son resimcik, özellikle gelişimin erken safhalarında mobil bozulmanın karakteristiğidir (Sinclair, 1994).



Şekil 2.2: Güney yarıkürede kartezyen düzlem için ζ_g ve basınç arasındaki ilişkinin gösterimi (a) Basınç, durağan dairesel negatif ζ_g bölgesi ile ilgili olarak 1 mb. aralıklar ile çizilmiştir. (b) a şekline benzer fakat ek olarak irrotasyonel batılı jeostrofik akış eklenmiştir. Basınç minimumu “L” ile gösterilirken, ζ_g minimum konumu koyu renkli nokta ile işaretlenmiştir. (c) b şeklindeki gibidir lakin 2 kat fazla batılı akış eklenmiştir. (d) b şekli gibidir fakat 3 kez batılı akış eklenmiştir ve kontur aralığı 2 mb. olarak değiştirilmiştir. Son şekilde bir basınç minimumu mevcut değildir.

Şekil 2.2, siklonları tespit etmek için minimum MSL basınç kullanımı sonucunda, siklon konumunda alçak basınca doğru küçük bir yerdeğiştirme meydana geldiğini göstermektedir. Bu siklon konumlarının klimatolojik ortalama akış ile ilişkilendirileceği çalışmalarda önemli olabilir. Bununla birlikte, en büyük etki, daha derin ve/veya yavaş hareket eden sistemlere doğru meyildir ve yerel bir minimumun bulunamadığı birçok mobil sistemin tamamen kaçırılmasıdır. Bu tür mobil siklonlar için, basınç minimum noktası kayda değer bir siklojenesis ve/veya yavaşlama olma durumundan sonrasına kadar görülemeyebilir. Böylece, basınç minimum noktasına

dayalı istatistikler, siklonların yoğun ve ortalama temel akışın zayıf olduğu “graveyards” ana siklonuna doğru etkilenecek meylederler. Genelde güney yarı küredeki siklonik bozulmalar yarıkürenin tamamında oldukça hareketlidir (Sinclair, 1994).

Jeostrofik bağıl vortisiti ζ_g 1000 mb. jeopotansiyeli Φ üzerinden aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\zeta_g = \frac{1}{f} \left[\frac{1}{(a \cos \phi)^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \lambda^2} + \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \phi^2} \right] \quad (2.4)$$

Burada iki küçük terim $u_g \tan(\phi)/a$ ve $u_g \cot(\phi)/a$ ihmal edilmiştir. 75° civarı ekvator bölgesinde bu terimlerin ihmal edilmesi genelde $1 \times 10^{-5} s^{-1}$ hataya neden olur. (2.4) denkleminde türevleri hesaplamak için bikübik splines metodu kullanılmıştır. Kübik splines’in kullanılması ζ_g ‘nın grid noktaları arasında yumuşak bir şekilde değişen ve extrema noktaların grid noktaları arasında daha kesin olarak konumlanmasını sağlayan bir yüzey gibi olduğunu ortaya koymaktadır. Ek olarak, (2.4) denklemindeki ikinci dereceden türevler sonlu farklar yöntemine göre daha az kesme hatası ile hesaplanmıştır. Siklon konumlarının doğrudan ızgara düğümleri üzerinde konuşlandığı durumlarda, sonuç yörüngeler sarsak bir hareket göstermektedir (Sinclair, 1994).

Eğer bir ızgara düğümündeki değer etrafındaki 4 değerden küçük ise ζ_g minimum değerinin yakın olduğu farz edilebilir. Arama işlemi ızgara aralığının 0,1 defa hassas bir tanımlaması olan daha hassas yerel minimum için etraftaki ızgara hücreleri içinde yapılır. Bu arama işlemi, istenen kesinlik elde edilene kadar hücrenin ardışık alt bölümlere ayrılmasıyla gerçekleştirilir (Sinclair, 1994).

Bu çalışmanın bir amacı basınç yerine ζ_g ‘nin kullanılmasının etkisini ortaya koymaktır. Bunu sağlamak için ayrıca minimum basınç konumları da elde edilmiştir. Bir siklon (yukarıda ζ_g ile tanımlanan), eğer bir minimum basınç noktasına merkezi olarak yakınsa ve ondan enlemsel olarak 5° daha azsa *kapalı* olarak farzedilebilir. Bu neredeyse tüm minimum basınç konumlarını kapalı merkezler olarak göstermektedir fakat tespit edilmiş merkez mevcut basınç minimum noktasından hafifçe kaymaktadır. Murray ve Simmonds (1991) bu tarz bir minimum bulunduğunda bir

siklonu basıncın minimum olduğu noktada ve tersi durumda ζ_g merkezinde konuşlandırırken bu çalışmada siklon konumu sürekli olarak ζ_g 'nin konumu olarak tanımlanmıştır (Sinclair, 1994).

Dâhil etmek açısından, merkezdeki $\zeta_g - 2 \times 10^{-5} s^{-1}$ 'den küçük olmalıdır. Bu, Murray ve Simmonds tarafında uygulanan “Konkavite” kıstasına göre, ζ_g 'nin büyüklüğü ızgara aralığına bağlı olduğundan buradaki daha küçük grid aralığı ile uyumlu olarak yaklaşık %50 daha fazla merkeze izin verir (Murray ve Simmonds, 1991). Bu eşik, çok sayıdaki zayıf orografik özelliklerin üstesinden gelebilmek için karalar üzerinde daha kısıtlayıcı hale getirilmiştir. İlk önce, $z_s/300 \times 10^{-5} s^{-1}$ (z_s metre cinsinden arazi yüksekliğidir) değeri, hatalı deniz seviyesine basıncın indirgenmesinden kaynaklı suni ζ_g merkezlerin potansiyel etkisini en aza indirmek için çıkarılmaktadır. Karalar üzerindeki ısınma kaynaklı alçaklar sıcak aylarda $2.0 \cos^2[\max(1.6\alpha, 90)] \times 10^{-5} s^{-1}$ in çıkarılmasıyla sınırlandırılmaktadır. Burada $\alpha = |\phi - 23.5 \cos[2\pi(m - 1)/12]|$, m ayı için ve ϕ enlemindeki öğle solar zenit açısıdır. Bu filtreye rağmen, büyük sayıdaki orografik özellikler yine de devam etmiştir. Sonunda, merkezler, gezici siklonlar ile alakalı olması pek mümkün gözükmeyen tropiklerde basınç alanındaki suni zayıf pertürbasyonları 30° 'nin kuzeyinden sınırlandırılmıştır (Sinclair, 1994).

Vortisiti kullanımının mevcut dezavantajları olabilir. Vortisiti uçdeğerleri analiz hatalarına karşı çok daha duyarlıdır. Ayrıca, yöntem uzatılmış jeostrofik shear ya da genelde siklon olarak düşünülmeyen eğrilik bölgelerine meyledebilir. Tarama algoritması, siklon pozisyonunu, zamanı, ζ_g merkezini, MSL basıncını ve siklonun kapalı olup olmadığını kaydeder. Bu parametreler siklonların jeografik dağılımını ve siklon sayılarındaki yıllık ya da uzun süreli değişimleri tanımlamada kullanılabilir. Bununla birlikte siklon yörüngelerinin kurulması ilaveten silon hareketini, derinleşme oranını ve siklon oluşumunun konumunu, yoğunlaşmasını ve dağılmasını tanımlamayı mümkün kılar. Siklon istatistikleri ayrıca bu parametreler temel alınarak sınıflandırılabilir (Sinclair, 1994).

2.2.2 Yörünge tayini

Siklon takibi, mevcut t zamanındaki siklonları $t + \delta t$ analiz zamanı için elde edilen merkezler ile eşleştirme girişimi ile yapılır. Algoritma yakın bir biçimde Murray ve

Simonds (1991)' un algoritmasını takip eder. Mevcut zamandaki her bir siklon için bir konum, basınç ve vortisiti tahmini bir sonraki yörünge için yapılır. Bu tahmin bir önceki hareket, basınç ve vortisiti tahminini temel almaktadır. Ardından, bir sonraki analiz zamanında uygun olan merkezlerden her bir tahmin sonucu ile bir eşleşme denenir. Bu eşleşme genelde konumu, basıncı ve vortisitinin sonraki takip değerlerinden olan ayrılma miktarını asgari seviyeye indirir (Sinclair, 1994).

Sonraki takip konumu için değerlendirmeye tabi tutulan konum vektörü r_{est} önceki yerdeğiştirmenin $r(t) - r(t - 2\delta t)$ ağırlıklı bir kombinasyonuna ve bağımsız bir siklon hızı V_{av} hesabına dayalıdır (Sinclair, 1994).

$$r_{est}(t + \delta t) = r(t) + \frac{w_m[r(t) - r(t - 2\delta t)]}{2} + (1 - w_m)V_{av}\delta t \quad (2.5)$$

Burada V_{av} , 3° üzerinde ortalanan jeostrofik rüzgârdır, w_m 1' den küçük bir ağırlıktır ve $r(t - 2\delta t)$ iki sefer önceki konum vektörüdür. [sadece $r(t)$ ve $r(t - 2\delta t)$ 'nin mevcut olduğu üçüncü takip noktası hariç] Önceki iki zaman üzerinde ortalama vektör hareketinin buradaki kullanımı, önceki hatalı hareketin etkisini yumuşatmaktadır. Murray ve Simmonds (1991) kullanılan bir önceki konum hariç benzer bir formül kullanıyorlar ve kullandıkları V_{av} klimatolojik steering akımıydı. İzlemeye ilk konumdan başlamak için, (2.5) denkleminde w_m 'i sıfıra eşitlemek suretiyle yalnızca V_{av} 'ye dayanan tahminler yapılabilir. Takip işlemine başlamak için temel yüzey akışının kullanımı, Murray and Simmonds' un yaptığı gibi ardışık iterasyonların ortalaması alınarak veri dizisi için steering klimatolojisi oluşturmak suretiyle iyileştirilebilir (Sinclair, 1994).

w_m ' nin seçimi geçmiş hareketteki güven derecesini niteler. Eğer analizler mevcutsa, diyelim ki, her saat, w_m 1 değerine yakın ve geçmiş harekete dayalı takip neredeyse tam olacaktır. 12 saatlik analiz için, geçmiş hareket, gelecek hareketin güvenilir bir göstergesi değildir ve steering'in (V_{av}) bazı bağımsız hesaplamaları göz önüne alınmalıdır. w_m için, Murray ve Simmonds (1991)'un 24 saatlik analiz için kullandığı 0.36 değeri için uyumlu 0.6 değeri kullanılmış ve (12) eşitliğinde tavsiye olduğu üzere 12/24'ün kuvvetine yükseltilmiştir (Sinclair, 1994).

Murray ve Simmonds (1991)'un makalesinde (11) eşitliğinde gösterdikleri üzere bir sonraki takip noktası için tahmin edilen basınç aşağıdaki gibidir.

$$p_{est}(t + \delta t) = p(t) + w_p[p(t) - p(t - \delta t)] \quad (2.6)$$

Burada $w_p = 0.55$ 'dir ve Murray ve Simmonds 'un 24 saatlik analizlerinde kullandıkları 0.3 değeri ile uyum içerisindedir (Murray ve Simmonds, 1991).

Murray ve Simmonds (1991) 'un yöntemine uygulanana bir düzeltme vortisiti tahmininin ek olarak burada kullanılmasıdır (Sinclair, 1994):

$$\zeta_{est}(t + \delta t) = \zeta(t) + w_v[\zeta(t) - \zeta(t - \delta t)] \quad (2.7)$$

Burada $w_p = 0.55$ 'dir. Bu, hareket ve basınca ek olarak vortisitinin sürekliliğini göstermek için yeni takip konumlarını gerektirir. Tekil basınç ve ζ_g haritaları, benzer basınçta bu merkezlerin geniş bir şekilde değişen vortisiye sahip olmasına rağmen, bir tek karmaşık alçak basınç alanında bazen birçok vortisiti merkezi olduğunu ortaya çıkarmıştır. (2.7) denklemi ile ortaya çıkan ζ_g 'nin süreklilik gereksinimi, şemanın, takip vortisitinde gerçekçi olmayan bir atlamayı içeren bir merkezin kabul edilmesini engellemeye yardımcı olmuştur (Sinclair, 1994).

Prensipite w_m, w_{mp} ve w_v , Ağırlıklarına verilen değerler, sonuç istatistiklere göre yeniden revize edilmiştir. Bu değerler, hatanın (gerçek ve tahmin edilen yörünge özellikleri arasındaki fark) varyansının minimize edilmesi için sonuçları optimize etmeye çalışan Murray ve Simmonds (1991) tarafından kullanılan değerler ile uyum içindedir. Murray ve Simmonds (1991), bir 10 günlük test süresi üzerinden her 3 saatlik GCM sonuçlarını ayıklayarak yörüngelerin gerçek konumlarını tanımlamışlardır. Bu çıktı çözünürlüğünde, ardışık konumların ilişkilendirilmesi neredeyse kesindir. 24 saatlik çözünürlükte takip şemasının performansı 3 saatlik takip ile değerlendirilmiştir. Maalesef, yüksek çözünürlüklü veri, bağımsız analizler, ya da uydu görüntüsü bu çalışma için mevcut değildi. Bununla birlikte, şemanın çeşitli kısıtlı çalıştırılmalarında, sonuçlar bu ağırlıklardaki küçük değişimlere (%20) fazlaca hassas değildir (Sinclair, 1994).

t zamanındaki her bir siklon için, aday olan bir sonraki takip konumları için (2.6) denklemi ile tahmin edilmiş olan bir sonraki takip konumundan 9° 'lik enlemsel bir yarıçap içinde $t + \delta t$ zamanında bulunmuş olan tüm merkezlerden bir arama işlemi gerçekleştirilir. İlişkinin olasılığı aşağıdaki denklem ile verilir (Sinclair, 1994).

$$P = 1.0 - \frac{[\delta d]^2 + (\delta p/1.7)^2 + (\delta \zeta/0.85)^2}{9^2} \quad (2.8)$$

Bu olasılık her bir mümkün eşleşmede kullanılabilir. Burada δd , δp ve $\delta \zeta$ sırasıyla aday merkezin r_{est} , p_{est} ve ζ_{est} ‘den enlem derecesi, hectopascal ve $10^{-5}s^{-1}$ birimlerinde mesafe, basınç ve vortisiti sapmasıdır. En yüksek eşleşme olasılığı, r_{est} , p_{est} ve ζ_{est} tahminlerine en yakın konum, basınç ve vortisiye sahip olan aday merkezler için ortaya çıkar. Eğer $P < 0$ ise eşleşme yoktur. Çünkü δd , δp ve $\delta \zeta$ (2.8) denkleminde karesi alınmış bir ifade içindendir, tahmin edilmiş olan merkez özelliklerinin herhangi birisinden aşırı sapma, eşleşme nin benzerliğini büyük ölçüde azaltacaktır. δp ve $\delta p'$ ye verilmiş olan ağırlıklar, bir basıncın (vortisitinin) 1.7hPa ($0.85 \times 10^{-5}s^{-1}$) değerinden olan sapmasının δd ‘nin 1° enlemi kadar etki yaratacağı anlamına gelmektedir. Bu bağıl ağırlıklar, kısıtlı denemeler için başarılı şekilde kurulmuş olan yörüngeler için ortalama sapma hesaplamaları ile tanımlanmıştır. (2.8) denklemindeki payda kare parantezleri içindeki “sapmanın yarıçapı” 9° ‘lik enlem değerini aştığında $P=0$ olmasını gerektirir (Sinclair, 1994).

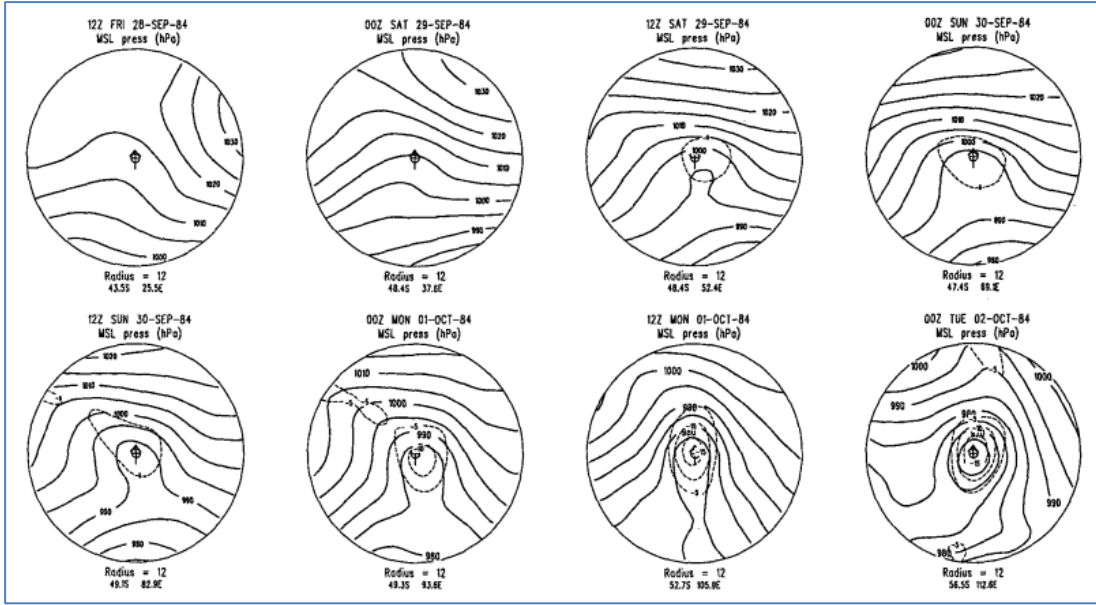
Çoğunlukla, t zamanında, $t + \delta t$ zamanındaki bir sonraki birçok aday takip konumları ile eşleşebilen birçok merkez vardır. Her bir pozisyon sadece bir sefer kullanılabilir olduğundan, özellikle ilişkili iki konumun kullanımı diğer birçok eşleşmeleri engelliyorsa kısmi bir eşleşme için 1.0 değerindeki bir P , ilişki kurulabilmesini garantilemez. Böylece tüm mümkün eşleşmiş çiftler en yüksek toplam olasılığı verecek şekilde eşleşmiş çiftler topluluğuna dönüştürülür (Murray ve Simmonds, 1991).

Bu süreç yardımıyla $t + \delta t$ zamanında eşleşmesi bulunamayan t zamanındaki bir siklon bir yörüngenin sonu olarak farz edilebilir. Diğer aday merkezlerin yakın olabilme durumuna rağmen, yörüngeye eklenecek olan yörünge parçası, basınç ya da vortisitide gerçekçi olmayan atlamalara gereksinim duyarlar. Böylece, bir yörünge parçası sadece bir tek noktaya sahip olabilir. Ayrıca günden güne görülen siklon sayılarındaki yerel değişimler “yetim” merkezlere sebep olur. Bazen, bir yörünge parçası bir siklon kuvvetlenmesi periyodunu takip ederek sonlanabilir çünkü bir sonraki analiz zamanında uygun bir vortisiti merkezi bulunamayabilir. Açıkça söylemek gerekirse, bu gibi yoğun siklon durumları büyük siklonik vortisiti ile başlayan yeni siklonlar olarak devam eder ve zamanla zayıflarlar. Örneğin, siklonun

olgunluk döneminde, orjinal bir ζ_g merkezi ortam büyük ölçüde siklonik kalsa bile kimliğini kaybedebilir. Sıklıkla, belki alçak basınç alanı içinde yeniden düzenlenerek ya da kuzeye doğru olan ilişki cephe üzerinde bir dalga olarak yakınında yeni bir merkez oluşur. Bu yeni merkez takip şeması ile önceki yörünge izine bağlanmaz çünkü takip işleminde ani bir değişikliğe gereksinim duyar. Analiz belirsizliği siklon gelişimi boyunca yörünge parçalarını kesintiye uğratabilir. Bu sebeple, her bir yörünge parçası içindeki ilk noktanın siklon oluşum konumunu ya da siklojenezi göstereceğinin bir garantisi yoktur (Sinclair, 1994).

Bu nedenlerden dolayı, yörünge'nin ilk başlangıç noktasını siklon oluşumu ya da siklojenezin konumu farzeden benzer çalışmalar hatalı olacaktır. Başlangıç noktaları diğer daha olgun merkez ile birlikte yeni başlangıç gelişimlerinin bir karışımını içerir. Mevcut yöntemde, her bir yörünge parçası ile ilişkili ζ_g değerleri oluşumun ya da siklojenezin konumunu daha kesin bir şekilde belirlemede kullanılabilir. Basıncın tek başına kullanılması siklon yoğunluğunun göstergesi değildir (Sinclair, 1994).

Şekil 2.3, Eylül-Kasım 1984 esnasında güney Hindistan Okyanusunu geçen tipik bir siklon için siklonik ζ_g ile birlikte bir dizi MSL basınç analizini göstermektedir. İlk iki durumda çizimin çizimin ortasında ζ_g minium noktası mevcut olmasına rağmen basınç minimum noktası mevcut değildir. (Kontur çizimi için eşiğin altında) Siklojenezin devamında, 3. resimcikte yerel bir basınç minimumu görünmüştür, 4. resimcikte yok olmuş ve dizinin devamında tekrar görünmüştür. Eğer siklon bir basınç minimumu olarak tanımlandıysa, gelişmenin ilk birkaç aşaması farkedilmeyecektir. Bu mobil siklon zayıf olarak kaldıysa tamamen gözden kaçır. Siklonları gelişimlerinin erken aşamalarında tanımlayarak, oluşum konumları daha kesin olarak belirlenebilir (Sinclair, 1994).



Şekil 2.3: 1200UTC 28 Eylül ve 0000UTC 2 Kasım 1984 tarihinde güney Hint Okyanusunda bir siklonun gelişimi. MSL basıncı (Sürekli çizgiler) 5 hPa ve siklonik vortisiti ζ_g (noktalı çizgiler) $5 \times 10^{-5} s^{-1}$ aralıklarla çizilmiştir.

2.3 Objektif Analiz Yöntemi III

Blender ve diğ. (1997) çalışmasının temel amacı ise yüksek çözünürlüklü ECMWF verisine dayanarak Kuzey Atlantik siklonlarının Lagrangian tipindeki klimatolojisini ortaya koymaktır. Bunun için öncelikle orta-enlem siklonlarını ve yörüngelerini mümkün mertebe az sınır koşulu kullanarak tanımlamak için bir algoritma ortaya konmuştur. Bu algoritma ile elde edilen bağıl siklon yerdeğiştirme mesafeleri siklon yörünge kümelerini oluşturmak için incelenmiş ve temsili kümeler içinde dâhili Lagrangian istatistikleri hesaplanmıştır (Blender ve diğ., 1997).

Bir siklon takip algoritması ile elde edilen sonuçların yüksek güvenilirliğini sağlamak için yüksek zamansal ve uzaysal çözünürlüğe ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla 1990 ve 1994 yılları arasında, 6 saatlik zaman aralığına ve T106 yatay çözünürlüğe (yaklaşık $1.1^\circ \times 1.1^\circ$) sahip ECMWF analiz verileri kullanılmıştır. Bu veri seti göreceli olarak kısa olsa da, uzun dönem klimatolojik ortalama sapma göstermemektedir. Fırtına takip analiz işlemi için seçilen alan, Kuzey Atlantik'i doğu Kuzey Amerika' dan batı Avrupa' ya kadar $80^\circ W - 30^\circ E$ boylamı ile $30^\circ N - 80^\circ N$ enlemi arasında ikiye ayırmaktadır. Kış sezonu Kasımdan Mart ayına kadar genişletilmiştir. İlk kış Ocak-Mart 1990 ile sınırlandırılmıştır (Blender ve diğ., 1997).

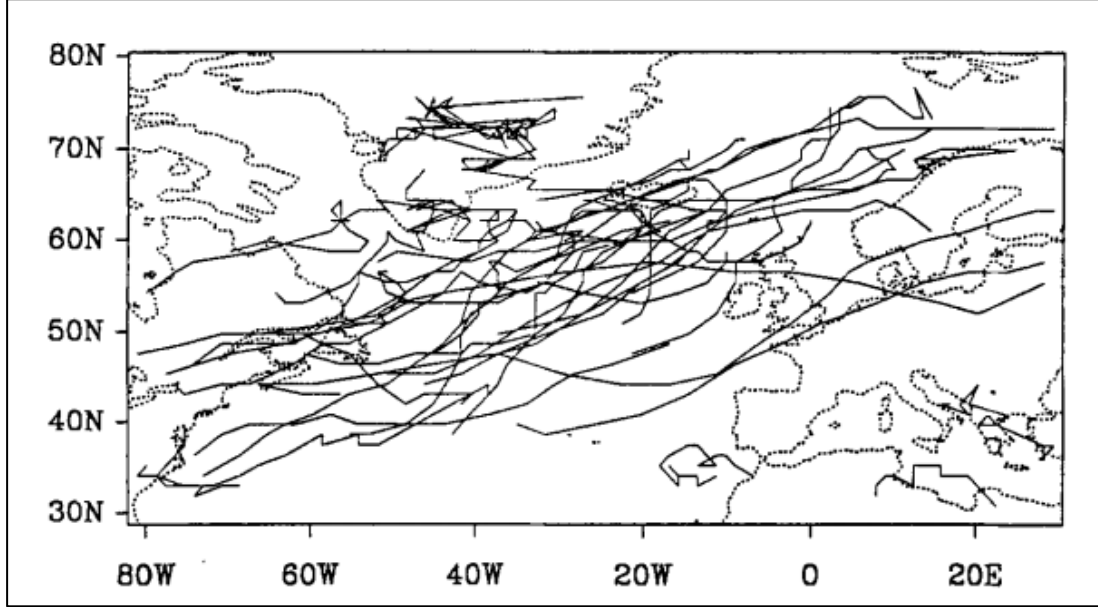
Siklon tanımlama algoritması standart olan ve iki adımdan oluşan asgari bir süreci takip etmektedir (Bell ve Bosart, 1989; Alpert ve diğ., 1990; Koenig ve diğ., 1993; Ueno, 1993; Lambert, 1988): (1) Siklon yüzey-basınç alçağı ile tanımlanır ve buna göre z1000 ile tanımlanan 1000 hPa jeopotansiyel-yüksekliğin yerel olarak en düşük olduğu nokta ile tayin edilir. Bu yerel minimum 3x3'lük ızgara noktalarını kapsayan bir alan içerisinde olmalıdır. (2) Bu minimum nokta üzerindeki ilave tek koşul yoğunluğun bir ölçüsüdür. Yani Rossby-deformasyon ölçeğine ilişkin minimum civarındaki $1000 \times 1000 km^2$ 'lık bir alan içinde z1000 yüksekliğine ait ortalama bir pozitif gradyanının gerekliliğidir. Bu oldukça zayıf şartlar, siklonların yaşam döngülerinin başlangıç aşamalarında tespit edilmesine olanak sağlamıştır (Blender ve diğ., 1997).

Yükse yatay çözünürlüğe sahip veri nedeniyle, Alpert ve diğ. (1990) ile Murray ve Simmonds (1991) 'un ihtiyaç duyduğu siklonların en uygun alt-ızgara konumlarını tanımlamak için uzaysal interpolasyon şemasına ihtiyaç yoktur. Vortisitideki azami değer göz önüne alınmamıştır çünkü bu alanın yapısı çok detaylı ve yüksek çözünürlüklü veride oldukça gürültü içermektedir. Bu, jeopotansiyel alanda karşılaşılmayan takip prosedüründe ciddi sorunlara yol açmaktadır. Bununla birlikte, vortisiti alanı, Koenig ve diğ. (1993) tarafından T21-analiz' de ya da Hodges (1994) tarafından T42-analiz' de açıklandığı üzerinde düşük çözünürlükler için kullanışlı gibi görünmektedir. Burada yüzey jeopotansiyel yüksekliği kullanmanın bir dezavantajından bahsedilmelidir. Bir vortisi maksimumu mevcut olsa bile, Sinclair (1994) 'in bahsettiği üzere geniş ölçekli akış tarafından üstüste bindirilmiş geniş basınç gradyanına bağlı olarak kesik izobarlar meydana gelebilir. Bu siklonik aktivitenin küçük genlikli başlangıç fazı ile ilgilidir. Bununla birlikte, bu etki yüzeyde zayıf olarak kabul edilmiş ve böylece siklon takip prosedüründe göz önüne alınmamıştır (Sinclair, 1994).

Yörüngeler, z1000 alanında tercih edilen bir yayılma yönü ve hızı varsayımı olmadan basit bir en yakın-komşu arama yöntemi ile tespit edilmiştir. Yaklaşık **80km/h** 'lık azami bir yerdeğiştirme hızı hareketin menzilini kısıtlamaktadır, fakat bu şart oldukça nadir gereklidir (Sinclair, 1994).

Tekil bir j siklonunun yörüngesi X_j , başlangıç tespitinden başlayarak 6-saatlik zaman aralıklarında gözlemlenmiş ve başarı ile sonuçlanmış $t=0, \dots, T$, zaman adımları için ardışık siklon konumlarını $[x_j(t), y_j(t)]$ içerir (Sinclair, 1994).

$$X_j = [x_j(t = 0), y_j(t = 0), \dots, x_j(t = T), y_j(t = T)] \quad (2.9)$$



Şekil 2.4: Asgari yaşam süresi $T=3$ gün olan siklon yörüngeleri (Kasım 1990 – Mart 1991)

Tanımlama algoritmasının beş kışa uygulanması, yaşam süresi $T=3$ gün ve fazlası olan 449 siklon ortaya çıkarmıştır. En büyük çoğunluk Greenlands civarında ve Akdeniz bölgesinde konuşlanmıştır. Şekil 2.4 ikinci kıştaki (Kasım 1990 ile Mart 1991 arası) tüm siklonların yörüngelerini göstermektedir. Kuzey Atlantik ile sınırlı coğrafik alan nedeniyle, sınırları aşan siklonların (yaşam sürelerinin başında ya da sonunda) $T=3$ gün eşiğini aşamadıklarına dikkat etmek gerekir. Bu nedenle, sınır yakınlarındaki (doğu Kuzey Amerika ve batı Avrupa üzerindeki bölge) siklon frekanslarının eksik tahmini göz ardı edilemez. Çalışmada yaşam döngüsü, Kuzey Atlantik bölgesinin klimatolojisini etkileyen siklonlar ile ilgilenildiği için, bu sınır etkileri ihmal edilmiştir (Sinclair, 1994).

3. VERİ VE YÖNTEM

3.1 Veri

Bu çalışmada sadece NCEP/NCAR Yeniden-Analiz I' den 1000mb seviyesi jeopotansiyel yükseklik verileri kullanılmıştır. Yükseklik verisinin birimi metre'dir ve 2.5x2.5 derece uzaysal ve 6 saat zamansal çözünürlüğe sahiptir.³ İlerde ayrıntıları açıklanacak olan yöntemin en önemli avantajı sadece jeopotansiyel yükseklik verisine ihtiyaç duymasıdır.

NCEP/NCAR Yeniden-Analiz I, 1989 yılında NCEP tarafından başlatılmış olan Klima Veri Asimilasyon Sistemi (CDAS) projesinin bir kolu olarak, NCEP ve NCAR 'ın birleşmesiyle ortaya çıkmıştır. Yeniden-Analiz sistemi 1990-1994 yıllarında geliştirilmiştir. Proje kara, deniz, ravinsonda, balon, uçak, uydu, Geniş Kapsamlı Okyanus Atmosfer Veri Seti (COADS) ve diğer verilerin geri kazanımı içerir; fakat birçok farklı kaynaktan gelen verilerin birleştirilmesi ve asimile edilmesi oldukça zahmetli olmuştur. Diğer taraftan, proje çıktı ürünleri bir insan tarafından kontrol edilemeyecek kadar büyük olduğundan bunun için otomatik bir gözlemleme sistemi geliştirilmiştir (Kalnay ve diğ., 1996).

Yeniden-Analiz I 209 km. 'lık çözünürlüğe tekabül eden T62 küresel spektral modeli kullanılarak 28 düşey seviye için çalıştırılır. İlk başta 1948-1997 arasındaki verileri asimile etmeyi hedef edinen projede, şu anda günümüzde de devam etmekte ve asimilasyon ürünleri halen güncellenmektedir. Modelin veri girdisi açısından belirtilmesi gereken önemli bir nokta, 1 Haziran 1957 yılında WMO 'nun kararıyla yukarı atmosfer gözlemleri 03UTC, 09UTC, 15UTC ve 21UTC' den 00UTC, 06UTC, 12UTC ve 18UTC' ye kaydırılmıştır. Bu nedenle 1948-1957 yılları arasındaki ürünlerde model sonuçlarını çıkarmak yerine, bu sonuçlardan elde edilen 00UTC, 06UTC, 12UTC ve 18UTC verilerinin de bu veri setine eklenmesi uygun görülmüştür (Kalnay ve diğ., 1996).

³ <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>

3.2 Yöntem

3.2.1 Siklon adayının tespit edilmesi

Siklon konumunu tespitinde ilk adım siklon adayının tespit edilmesidir. Bu standart yöntem birçok çalışmada kullanılmıştır (Lambert, 1988; Bell ve Bosart, 1989; Alpert ve diğ., 1990; Koenig ve diğ., 1993; Ueno, 1993). Çalışma alanı içerisindeki her bir ızgara düğümü üzerindeki jeopotansiyel yükseklik değeri etrafındaki 8 düğüm üzerindeki jeopotansiyel yükseklik değerleri ile karşılaştırılır. Eğer bu değer etrafındaki 8 noktanın her birinden küçük veya en azından bunlara eşit ise *siklon adayı* olarak tanımlanır (Alpert ve diğ., 1990).

Bu çalışmada, seçili çalışma alanına giriş yapan siklonların konumunu tam olarak tespit edebilmek adına, çalışma alanı sınırı üzerindeki ızgara düğümleri de aday tespit işlemine tabi tutulmuştur. Bu durum, seçili çalışma alanının sınır değerlerinin enlemsel ve boylamsal olarak +2 düğüm fazla olmasını gerektirir. (Batıdan, doğudan, kuzeyden ve güneyden +1 düğüm) Uzaysal çözünürlük 2.5° olduğu için, bu çalışma alanının istenenden 5° derece daha geniş ve yüksek olacağı anlamına gelir. Bu nokta, veri açısından sınırlı bir çalışma alanı seçildiğinde önem arz etmektedir. Çünkü sadece istenen çalışma alanındaki ızgara düğümlerinden ibaret verilerin bulunduğu bir veri dosyası için algoritma çalışmayacaktır.

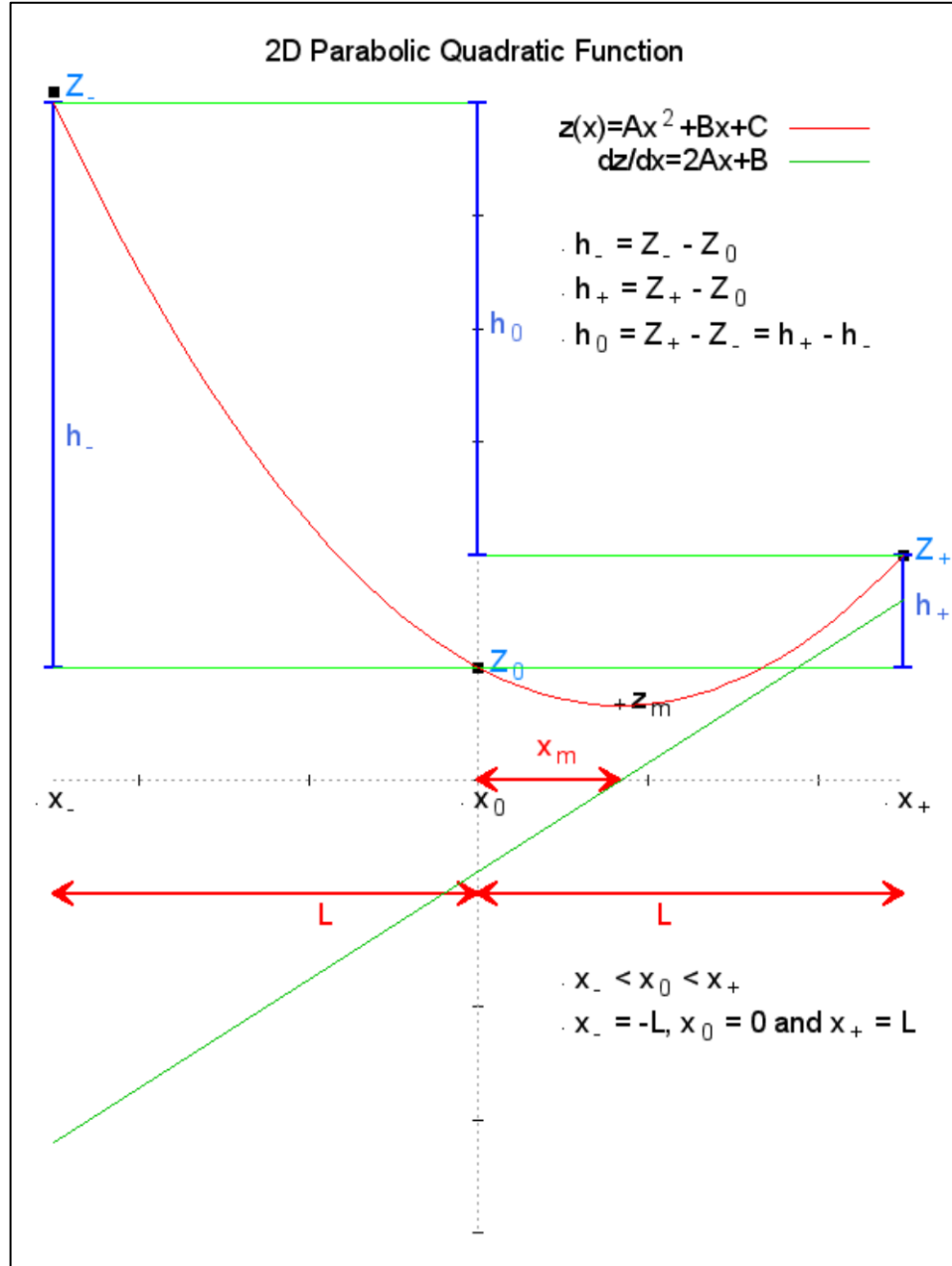
Bu tez kapsamında geliştirilen *Siklon projesi*, çalışma alanı parametrelerini dışarıdan alabilecek şekilde tasarlandığı için, yukarıdaki koşul altında veri dosyasındaki enlem ve boylam sınırları dâhilinde istenen çalışma alanını seçmek mümkündür.

3.2.2 Siklonun kesin konumunun tespiti

Aday siklon konumlarından ve bu konumun etrafındaki jeopotansiyel yükseklik dağılımından yola çıkarak, tamamen doğru ve gerçek siklon konumunu belirlemek mümkün olmasa da, siklon merkezinin yapısının parabolik olmasından yola çıkılarak muhtemel merkez noktası, verilerin uzaysal çözünürlüğün izin verdiği ölçüde gerçeğe en yakın biçimde tespit edilebilir. Bunun için 3×3 ' lük ızgara üzerinde jeopotansiyel yükseklik dağılışının parabolik olduğu varsayılmıştır (Alpert ve diğ., 1990). Kartezyen koordinat sisteminde çalışıldığı için bu temelde ikinci dereceden tek değişkenli bir polinomun çözülmesi problemidir. Şimdi 3×3 ' lük jeopotansiyel

matrisi üzerinden kuracağımız kuadratik yüzeyi elde edebilmek için tek değişkenli 2. dereceden polinomu inceleyelim (Wikipedia, 2011).

3.2.2.1 Kuadratik fonksiyon



Şekil 3.1: Kuadratik fonksiyonun kartezyen koordinat sisteminde gösterimi

$$z(x) = Ax^2 + Bx + C \quad (A \neq 0) \quad (3.1)$$

Şekil 3.1 ‘de kuadratik bir fonksiyon olan denklem (3.1) ‘in kartezyen koordinatlardaki betimlemesi gösterilmektedir. Bir kuadratik fonksiyon simetrisi düşey eksene (burada z-ekseni) paralel olan bir paraboldür. Lakin genel formdaki

kuadratik bir fonksiyonu çözmek bir insan için kolay olsa da, bilgisayar yardımıyla böyle bir denklemi çözebilmek için denklemin faktörlü halini kullanmak gerekir.

$$z(x) = \sum_{i=1}^{n=3} Z_i \quad (3.2)$$

Kuadratik fonksiyon üzerindeki $z(x)$ değerleri, belli olduğu üzere x' e bağlı olarak değişir. Lakin x_1, x_2 ve x_3 konumlarındaki $z(x)$ değerleri (Z_1, Z_2 ve Z_3) bu konumlardaki jeopotansiyel yükseklik değerlerine eşit olmak zorundadır. Bu şartları sağlayan değerler aynı zamanda kuadratik fonksiyonun çözümü olacaklardır.

$$Z_i = a_i \prod_{k \neq i} (x - x_k) \quad (3.3)$$

Z_i değerlerinin sabit bir a_i katsayısına ve x konumuna bağlı olacağı aşikardır. Faktörlenmiş biçime geçiş yapmak için (3.3) eşitliği $z(x)$ fonksiyonunda yerine yazılırsa,

$$z(x) = \sum_{i=1}^{n=3} a_i \prod_{k \neq i} (x - x_k) \quad (3.4)$$

elde edilir. 3x3' lük jeopotansiyel matrisini tek boyutta incelediğimizden tek boyutlu bir kuadratik fonksiyon için 3 adet kök bulmamız gerekmektedir. Burada n kuadratik fonksiyonun kök sayısı, a_i parametre katsayılarını, k ise i' ye eşit olmayan diğer kökleri ifade etmektedir. Yukarıdaki eşitliği 3 köklü bir kuadratik fonksiyon için açarsak aşağıdaki denklemi elde ederiz.

$$\begin{aligned} z(x) = & a_1(x - x_2)(x - x_3) \\ & + a_2(x - x_1)(x - x_3) \\ & + a_3(x - x_1)(x - x_2) \end{aligned} \quad (3.5)$$

Burada x_1, x_2 ve x_3 kuadratik fonksiyonun kökleridir. Bu seçtiğimiz 3x3 'lük jeopotansiyel matrisinde ızgara üzerindeki düğümlerin x konumlarına karşılık gelmektedir. a_1, a_2 ve a_3 katsayı sabitleri ise ızgara üzerindeki düğüm noktalarındaki jeopotansiyel değerlerine (Z_1, Z_2 ve Z_3) bağlıdır. Kuadratik yüzey fonksiyonunu kurduğumuzda bu katsayıların yüzey üzerinden eksenini ile ilişkili

olacağı görülecektir. Jeopotansiyel yükseklik değerleri elimizde olduğundan katsayıların jeopotansiyel yüzeyler ile olan ilişkisini veren temel denklem (3.3) denkleminin değiştirilmiş hali olacaktır.

$$a_i = \frac{Z_i}{\prod_{k \neq i} (x - x_k)} \quad (3.6)$$

(3.2) denklemini çözebilmek için (3.6) denklemi ile verilen katsayıların bulunması gerekmektedir. (3.6) denklemini her üç kök için açarsak;

$$a_1 = \frac{Z_1}{(x_1 - x_2)(x_1 - x_3)} \quad (3.7)$$

$$a_2 = \frac{Z_2}{(x_2 - x_1)(x_2 - x_3)} \quad (3.8)$$

$$a_3 = \frac{Z_3}{(x_3 - x_1)(x_3 - x_2)} \quad (3.9)$$

katsayıları elde edilir. a_1, a_2 ve a_3 katsayıları temelde sadece kuadratik fonksiyonun köklerine $(x_1, x_2$ ve $x_3)$ ve ızgara düğümlerindeki jeopotansiyel yükseklik değerlerine $(Z_1, Z_2$ ve $Z_3)$ bağlıdır. (3.7), (3.8) ve (3.9) denklemleri ile ifade edilen katsayılar, $z(x)$ fonksiyonunda x_1, x_2 ve x_3 kök değerleri için yerine konursa, Z_1, Z_2 ve Z_3 değerlerini vereceği doğrulanabilir. Böylece katsayılar kolayca bir bilgisayar algoritması ile bulunarak, aynı x-ekseni üzerindeki herhangi bir x noktasındaki $z(x)$ jeopotansiyel yükseklik değeri, ızgara düğümleri üzerindeki Z_1, Z_2 ve Z_3 değerlerine bağlı olarak bulunabilir.

Bununla birlikte, parabolik bir eğri grafiği verecek olan tek değişkenli kuadratik fonksiyon üzerinde minimum noktanın tespit edilmesi tamamen ayrı bir algoritma ile yerine getirilmektedir. Sırasıyla x_1, x_3 ve x_3 konumlarındaki her Z_1, Z_2 ve Z_3 değerine sahip sıralı 3 noktanın her zaman kuadratik bir fonksiyon olmayacağı (Bunun için temel koşul $Z_1 > Z_2 < Z_3$) unutulmamalıdır. Minimum bulma algoritması fonksiyonun bir minimuma sahip olmasını garantilemenin yanında kuadratik olmasını da garantiler. Kuadratik bir fonksiyonun her hangi bir x konumundaki Z jeopotansiyel yükseklik değeri de yukarıdaki denklemler kullanılarak tespit edilebilir.

(3.5) denklemini açılarak 3.1 denkleminde verilen A,B ve C katsayıları ile a_1, a_2 ve a_3 arasındaki ilişkiler çıkarılabilir.

$$\begin{aligned}
z(x) &= a_1(x - x_2)(x - x_3) + a_2(x - x_1)(x - x_3) \\
&\quad + a_3(x - x_1)(x - x_2) \\
&= a_1(x^2 - xx_3 - xx_2 + x_2x_3) + a_2(x^2 - xx_3 - xx_1 + x_1x_3) \\
&\quad + a_3(x^2 - xx_2 - xx_1 + x_1x_2) \\
&= a_1(x^2 - x(x_3 + x_2) + x_2x_3) \\
&\quad + a_2(x^2 - x(x_3 + x_1) + x_1x_3) \\
&\quad + a_3(x^2 - x(x_2 + x_1) + x_1x_2) \\
&= a_1x^2 - a_1x(x_3 + x_2) + a_1x_2x_3 \\
&\quad + a_2x^2 - a_2x(x_3 + x_1) + a_2x_1x_3 \\
&\quad + a_3x^2 - a_3x(x_2 + x_1) + a_3x_1x_2 \\
&= x^2(a_1 + a_2 + a_3) \\
&\quad - x[a_1(x_3 + x_2) + a_2(x_3 + x_1) + a_3(x_2 + x_1)] \\
&\quad + (a_1x_2x_3 + a_2x_1x_3 + a_3x_1x_2)
\end{aligned} \tag{3.10}$$

(3.10) denkleminin katsayılarına bakıldığında (3.1) denklemi ile olan benzerliğe dikkat edilirse, buradan aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$A = (a_1 + a_2 + a_3) \tag{3.11}$$

$$B = -[a_1(x_3 + x_2) + a_2(x_3 + x_1) + a_3(x_2 + x_1)] \tag{3.12}$$

$$C = (a_1x_2x_3 + a_2x_1x_3 + a_3x_1x_2) \tag{3.13}$$

Yukarıdaki (3.1) ile (3.5) denklemleri arasındaki katsayı dönüşümlerini gösteren (3.11), (3.12) ve (3.13) eşitlikleri, algoritmanın doğruluğunun test edilmesinde kullanılmıştır. Bununla birlikte takip algoritmasının çalışma yöntemini açıklamak açısından önemlidirler. Her ne kadar sayısal hesaplama algoritmalarında yukarıdaki denklemlerin kullanılması yeterli olsa da, bir insanın çözmesi için halen karmaşıktırlar. Bu denklemleri duruma özel koşullar uygulanarak basitleştirmek mümkündür.

Bunun için x_0 noktasının x -ekseni üzerinde sıfır noktasına çekildiği durumu göz önüne alalım. Bu durumda x_1 , x_2 ve x_3 konumları için aşağıdaki dönüşüm geçerli olsun.

$$x_- = x_1, x_0 = x_2 \text{ ve } x_+ = x_3 \tag{3.14}$$

$$Z_- = Z_1, Z_0 = Z_2 \text{ ve } Z_+ = Z_3 \tag{3.15}$$

$$a_- = a_1, a_0 = a_2 \text{ ve } a_+ = a_3 \quad (3.16)$$

Bu dönüşüme istinaden aşağıdaki kabulleri yapalım.

$$x_- < x_0 < x_+ \quad (3.17)$$

$$x_- = -\mathcal{L}, x_0 = 0 \text{ ve } x_+ = \mathcal{L} \quad (3.18)$$

x_- ve x_+ konumlarının orjinden uzaklıkları sabit olduğu için bu değerlerin mutlak değerlerini $\mathcal{L}$ 'ye eşit kabul etmek gayet mantıklıdır. Yukarıdak kabuller altında (3.5) denklemini aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} z(x) = & a_-(x - x_0)(x - x_+) \\ & + a_0(x - x_-)(x - x_+) \\ & + a_+(x - x_-)(x - x_0) \end{aligned} \quad (3.19)$$

(3.7)-(3.9) denklemleri (3.16)-(3.18) koşullarına göre yeniden yazılırsa;

$$a_- = \frac{Z_-}{(x_- - x_0)(x_- - x_+)} = \frac{Z_-}{2\mathcal{L}^2} \quad (3.20)$$

$$a_0 = \frac{Z_0}{(x_0 - x_-)(x_0 - x_+)} = -\frac{Z_0}{\mathcal{L}^2} \quad (3.21)$$

$$a_+ = \frac{Z_+}{(x_+ - x_-)(x_+ - x_0)} = \frac{Z_+}{2\mathcal{L}^2} \quad (3.22)$$

elde edilir. Buradan (3.11)-(3.13) denklemlerinin yeni biçimi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$A = \frac{1}{2\mathcal{L}^2} (Z_- - 2Z_0 + Z_+) \quad (3.23)$$

$$B = \frac{1}{2\mathcal{L}} (Z_+ - Z_-) \quad (3.24)$$

$$C = Z_0 \quad (3.25)$$

Yukarıdaki katsayı takımını aşağıdaki kabuller altında daha da basitleştirmek mümkündür.

$$Z_- - Z_0 = h_- \quad (3.26)$$

$$Z_+ - Z_0 = h_+ \quad (3.27)$$

$$Z_+ - Z_- = h_+ - h_- \quad (3.28)$$

Yukarıdaki koşullar altında A,B ve C katsayılarını tekrar yazalım:

$$A = \frac{1}{2\mathcal{L}^2}(h_- + h_+) \quad (3.29)$$

$$B = \frac{1}{2\mathcal{L}}(h_+ - h_-) \quad (3.30)$$

$$C = Z_0 \quad (3.31)$$

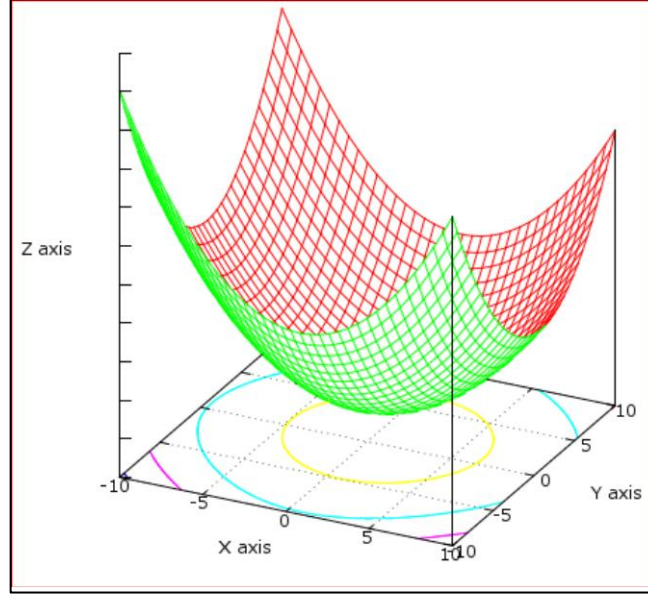
Bu kabullere göre oluşan A, B ve C katsayılarını **(3.1)** denkleminde yerine koyup yazacak olursak aşağıda iki ayrı biçimde yazılmış olan denklem elde edilir.

$$z(x) = \frac{x^2}{2\mathcal{L}^2}(h_+ + h_-) + \frac{x}{2\mathcal{L}}(h_+ - h_-) + Z_0 \quad (3.32)$$

$$z(x) = \frac{x}{2\mathcal{L}^2}\{x(h_+ + h_-) + \mathcal{L}(h_+ - h_-)\} + Z_0 \quad (3.33)$$

(3.32) ve **(3.33)** denklemleri aynıdır. **(3.33)** denklemi iki boyutlu quadratik fonksiyonun en sade halini ifade eder. Burada yapılan basitleştirme işlemleri Şekil 3.1'de görülebilir.

3.2.2.2 Kuadratik yüzey



Şekil 3.2: Kuadratik Yüzey Grafiği

Bir siklonun kesin konumunun aranması işleminin değerleri 3x3' lük bir matris üzerinde olan bir yüzeyde yapıldığı yukarıda anlatmıştı. Şimdi bir önceki bölümde bahsedilen kuadratik fonksiyonu kullanarak biparabolik interplasyon işleminin yapıldığı kuadratik yüzey kavramını inceleyelim. Şekil 3.2 Kuadratik bir yüzeyin nasıl görüldüğü hakkında fikir vermek için gnuplot⁴ yardımıyla çizdirilmiştir. Tek bir eksen üzerindeki bir parabol denklemi $z(x)$, $z(x,y)$ şeklindeki bir yüzey denklemine genişletilebilir. Aşağıdaki eşitlikler, Z jeopotansiyelinin x ve y koordinat eksenleri boyunca değişim denklemleridir.

$$z(x) = Ax^2 + Bx + C \quad (3.34)$$

$$z(y) = Dy^2 + Ey + F \quad (3.35)$$

Burada $z(x,y)$ yüzey fonksiyonunu bulmak için dx ve dy yüzey elemanları üzerinden tüm eksenler boyunca integre edilirse,

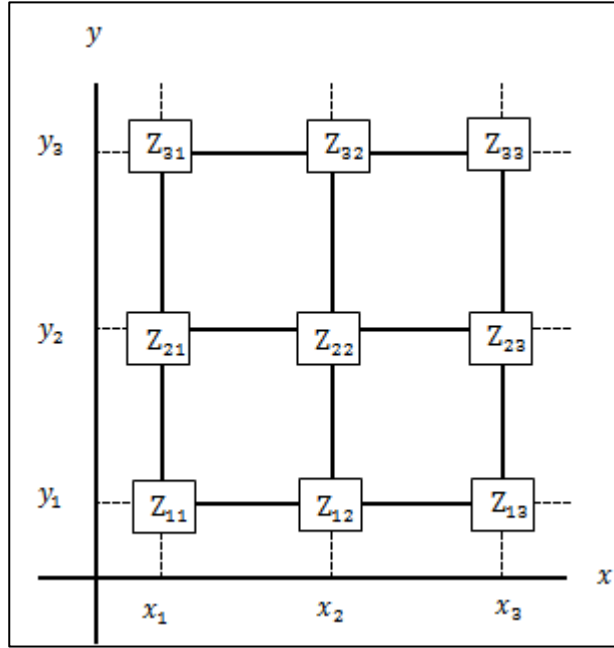
$$z(x, y) = (Ax^2 + Bx + C)(Dy^2 + Ey + F) \quad (3.36)$$

⁴ <http://www.gnuplot.info/>

$$z(x,y) = ADx^2y^2 + AEx^2y + AFx^2 + BDxy^2 + BExy + BFx + CDy^2 + CEy + CF \quad (3.37)$$

elde edilir. (3.37) denklemi karesel bir alan üzerinde sınır değer problemi çözülerek de elde edilebilir. Bu denklem aynı zamanda Zevenbergen ve Thorne, (1987) tarafından yayınlanmıştır (Zevenbergen ve Thorne, 1987).

$z(x,y)$ fonksiyonu kuadratik bir yüzey fonksiyonudur ve aşağıdaki ızgara ile ifade edilebilir.



Şekil 3.3: Kartezyen koordinatlardaki ızgara üzerindeki jeopotansiyel yükseklik değerlerinin gösterimi.

Şekil 3.3, denklem (3.37) ile belirtilen kuadratik jeopotansiyel yüzeyinin xy-düzlemindeki betimlemesidir. Burada z-ekseni sayfa düzleminden içeriye doğrudur. Yüzeydeki ızgara karelerinin merkezindeki Z_{ij} değerleri ızgara düğümlerindeki jeopotansiyel değerlerini göstermek üzere, (3.37) denklemi ile bu yüzey üzerindeki herhangi bir noktanın jeopotansiyel yükseklik değeri Z_{ij} , x_{ij} ve y_{ij} değerlerine bağlı olarak bulunabilir. $z(x,y)$ yüzey fonksiyonunun faktörlenmiş formuna geçiş yapmak istersek

$$z(x) = \sum_{i=1}^{n=3} Z_i \quad z(y) = \sum_{j=1}^{n=3} Z_j \quad (3.38)$$

olmak üzere;

$$Z(x, y) = \sum_{i,j=1}^{n=3} Z_i Z_j \quad (3.39)$$

şeklinde kurulabilir. Z_i ve Z_j değerlerini yerine koyarsak;

$$Z_i = a_i \prod_{k \neq i} (x - x_k) \quad Z_j = a_j \prod_{k \neq j} (y - y_k) \quad (3.40)$$

Buradan $Z(x,y)$ fonksiyonunun jeopotansiyel yükseklik değerlerine bağımlılığı aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$Z_{ij} = a_{ij} \prod_{k \neq i} (x - x_k) \prod_{k \neq j} (y - y_k) \quad (3.41)$$

(3.41) denkleminde $Z(x,y)$ kuadratik yüzey fonksiyonu aşağıdaki şekilde kurabiliriz:

$$Z(x, y) = \sum_{i,j=1}^{n=3} a_{ij} \prod_{k \neq i} (x - x_k) \prod_{k \neq j} (y - y_k) \quad (3.42)$$

Tek boyutlu bir kuadratik fonksiyon için 3 adet kök bulmamız gerekiyordu. 3x3' lük jeopotansiyel matrisi için ise 3 tane x ve 3 tane de y eksenini için olmak üzere toplamda 6 tane kök mevcut olmalıdır. Yani **(3.42)** denkleminin kurulabilmesi için gerekli kök sayısı 6'dır. Burada n kuadratik fonksiyonun kök sayısı, a_{ij} parametre katsayılarını, k ise i ya da j' ye eşit olmayan diğer kökleri ifade etmektedir. Yukarıdaki eşitliği 6 köklü bir kuadratik fonksiyon için açarsak aşağıdaki denklemi elde ederiz.

$$\begin{aligned} Z(x, y) = & a_{11}(x - x_2)(x - x_3)(y - y_2)(y - y_3) \\ & + a_{12}(x - x_2)(x - x_3)(y - y_1)(y - y_3) \\ & + a_{13}(x - x_2)(x - x_3)(y - y_1)(y - y_2) \\ & + a_{21}(x - x_1)(x - x_3)(y - y_2)(y - y_3) \\ & + a_{22}(x - x_1)(x - x_3)(y - y_1)(y - y_3) \\ & + a_{23}(x - x_1)(x - x_3)(y - y_1)(y - y_2) \\ & + a_{31}(x - x_1)(x - x_2)(y - y_2)(y - y_3) \\ & + a_{32}(x - x_1)(x - x_2)(y - y_1)(y - y_3) \\ & + a_{33}(x - x_1)(x - x_2)(y - y_1)(y - y_2) \end{aligned} \quad (3.43)$$

Denklem **(3.41)** 'den a_{ij} katsayılarının ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$a_{ij} = \frac{Z_{ij}}{\prod_{k \neq i} (x - x_k) \prod_{k \neq j} (y - y_k)} \quad (3.44)$$

(3.37) denklemini çözebilmek için a_{ij} katsayılarının bilinmesi gerekir. (3.44) denklemini $n=3$ için tüm i ve j ler üzerinden yazarsak aşağıdaki katsayı ifadeleri elde edilir.

$$a_{11} = \frac{Z_{11}}{(x_1 - x_2)(x_1 - x_3)(y_1 - y_2)(y_1 - y_3)} \quad (3.45)$$

$$a_{12} = \frac{Z_{12}}{(x_1 - x_2)(x_1 - x_3)(y_2 - y_1)(y_2 - y_3)} \quad (3.46)$$

$$a_{13} = \frac{Z_{13}}{(x_1 - x_2)(x_1 - x_3)(y_3 - y_1)(y_3 - y_2)} \quad (3.47)$$

$$a_{21} = \frac{Z_{21}}{(x_2 - x_1)(x_2 - x_3)(y_1 - y_2)(y_1 - y_3)} \quad (3.48)$$

$$a_{22} = \frac{Z_{22}}{(x_2 - x_1)(x_2 - x_3)(y_2 - y_1)(y_2 - y_3)} \quad (3.49)$$

$$a_{23} = \frac{Z_{23}}{(x_2 - x_1)(x_2 - x_3)(y_3 - y_1)(y_3 - y_2)} \quad (3.50)$$

$$a_{31} = \frac{Z_{31}}{(x_3 - x_1)(x_3 - x_2)(y_1 - y_2)(y_1 - y_3)} \quad (3.51)$$

$$a_{32} = \frac{Z_{32}}{(x_3 - x_1)(x_3 - x_2)(y_2 - y_1)(y_2 - y_3)} \quad (3.52)$$

$$a_{33} = \frac{Z_{33}}{(x_3 - x_1)(x_3 - x_2)(y_3 - y_1)(y_3 - y_2)} \quad (3.53)$$

a_{ij} katsayıları sadece kuadratik yüzey fonksiyonunun köklerine (x_1, x_2 ve x_3, y_1, y_2 ve y_3) ve ızgara düğümlerindeki jeopotansiyel yükseklik değerlerine ($Z_{11}, Z_{12}, Z_{13}, Z_{21}, \dots, Z_{31}, Z_{32}, Z_{33}$) bağlıdır. (3.45) – (3.53) arasındaki denklemler ile ifade edilen katsayılar, $z(x,y)$ yüzey fonksiyonunda x_1, x_2 ve x_3 ve y_1, y_2 ve y_3 kök değerlerinin kombinasyonları için yerine

konursa, $Z_{11}, Z_{12}, Z_{13}, Z_{21} \dots Z_{31}, Z_{32}, Z_{33}$ değerlerini vereceği doğrulanabilir. Örneğin; (3.45) denklemi $x = x_1$ ve $y = y_1$ için (3.43) denklemine yerine konulursa;

$$\begin{aligned} Z(x_1, y_1) &= Z_{11} \frac{(x_1 - x_2)(x_1 - x_3)(y_1 - y_2)(y_1 - y_3)}{(x_1 - x_2)(x_1 - x_3)(y_1 - y_2)(y_1 - y_3)} \\ &\quad + Z_{12} \frac{(x_1 - x_2)(x_1 - x_3)(y_1 - y_1)(y_1 - y_3)}{(x_1 - x_2)(x_1 - x_3)(y_1 - y_1)(y_1 - y_3)} \\ &\quad + \text{Diğer bütün terimler sıfır ...} \\ Z(x_1, y_1) &= Z_{11} \end{aligned} \quad (3.54)$$

Bununla birlikte x ya da y ' nin herhangi birisinin sabit olduğu durumda yüzey fonksiyonunun tek parametrelili kuadratik fonksiyona indirgeneceğine dikkat edilmelidir. Örneğin $y = y_2$ için:

$$\begin{aligned} Z(x, y_2) &= a_{12}(x - x_2)(x - x_3)(y_2 - y_1)(y_2 - y_3) \\ &\quad + a_{22}(x - x_1)(x - x_3)(y_2 - y_1)(y_2 - y_3) \\ &\quad + a_{32}(x - x_1)(x - x_2)(y_2 - y_1)(y_2 - y_3) \end{aligned} \quad (3.55)$$

şeklinde yazılırsa, tek değişkenli kuadratik fonksiyon ile (3.55) denklemi arasındaki dönüşüm katsayıları aşağıdaki gibi olacaktır. Buradaki en dikkat çekici nokta, $z(x, y)$ kuadratik yüzey fonksiyonunun, tek değişkenli kuadratik fonksiyona indirgendiği durumda, katsayıların y değerlerine olan bağımlılığıdır. Bu minimum bulma algoritmasında tüm matris yüzeyindeki Z_{ij} jeopotansiyel yükseklik değerlerinin kullanıldığına matematiksel kanıttır. Bu özellik, siklon yörünge tayini şemasında bir δt zaman aralığındaki Z_{ij} değişimleri ile yönelim vektörü arasındaki ilişkiyi ortaya koyması açısından önemlidir.

$$a_1 = a_{12}(y_2 - y_1)(y_2 - y_3) \quad (3.56)$$

$$a_2 = a_{22}(y_2 - y_1)(y_2 - y_3) \quad (3.57)$$

$$a_3 = a_{32}(y_2 - y_1)(y_2 - y_3) \quad (3.58)$$

Artık kuadratik yüzey fonksiyonumuz için katsayı denklemlerini kurduğumuza göre, $z(x, y)$ kuadratik yüzey fonksiyonunu sağlayan x_i, y_j ve Z_{ij} değerlerini kullanarak, yüzey üzerindeki herhangi bir xy noktasındaki jeopotansiyel değerini hesaplayabiliriz. Bununla birlikte yine kuadratik yüzey fonksiyonunun faktörlü hali

(3.42) denklemi ile (3.37) denklemi arasındaki ilişkiyi ortaya koymak önemlidir.

(3.42) denklemini açmak biraz zahmetli olsa da aşağıdaki gibi özetlenebilir.

$$\begin{aligned} Z(x, y) = & a_{11}(x - x_2)(x - x_3)(y - y_2)(y - y_3) \\ & + a_{12}(x - x_2)(x - x_3)(y - y_1)(y - y_3) \dots \end{aligned} \quad (3.59)$$

$$\begin{aligned} Z(x, y) = & a_{11}[x^2 - x(x_3 + x_2) + x_2x_3][y^2 - y(y_3 + y_2) + y_2y_3] \\ & + a_{12}[x^2 - x(x_3 + x_2) + x_2x_3][y^2 - y(y_3 + y_1) + y_1y_3] \\ & + a_{13} \dots \end{aligned} \quad (3.60)$$

$$\begin{aligned} Z(x, y) = & a_{11}[x^2y^2 - x^2y(y_3 + y_2) + x^2y_2y_3 - xy^2(x_3 + x_2) \\ & + xy(x_3 + x_2)(y_3 + y_2) - xy_2y_3(x_3 + x_2) + y^2x_2x_3 \\ & - yx_2x_3(y_3 + y_2) + x_2x_3y_2y_3] \\ & + a_{12}[x^2y^2 - x^2y(y_3 + y_1) + x^2y_1y_3 - xy^2(x_3 + x_2) \\ & + xy(x_3 + x_2)(y_3 + y_1) - xy_1y_3(x_3 + x_2) + y^2x_2x_3 \\ & - yx_2x_3(y_3 + y_1) + x_2x_3y_1y_3] \dots \end{aligned} \quad (3.61)$$

$$\begin{aligned} Z(x, y) = & x^2y^2(a_{11} + a_{12} + a_{13} + a_{21} + a_{22} + a_{23} + a_{31} + a_{32} + a_{33}) \\ & - x^2y[(y_3 + y_2)(a_{11} + a_{21} + a_{31}) + (y_3 + y_1)(a_{12} + a_{22} + a_{32}) \\ & + (y_1 + y_2)(a_{13} + a_{23} + a_{33})] \\ & + x^2[y_3y_2(a_{11} + a_{21} + a_{31}) + y_3y_1(a_{12} + a_{22} + a_{32}) \\ & + y_1y_2(a_{13} + a_{23} + a_{33})] \\ & - xy^2[(x_3 + x_2)(a_{11} + a_{12} + a_{13}) + (x_3 + x_1)(a_{21} + a_{22} + a_{23}) \\ & + (x_1 + x_2)(a_{31} + a_{32} + a_{33})] \\ & - xy\{(x_3 + x_2)[a_{11}(y_3 + y_2) + a_{12}(y_3 + y_1) + a_{13}(y_1 + y_2)] \\ & + (x_3 + x_1)[a_{21}(y_3 + y_2) + a_{22}(y_3 + y_1) + a_{23}(y_1 + y_2)] \\ & + (x_1 + x_2)[a_{31}(y_3 + y_2) + a_{32}(y_3 + y_1) \\ & + a_{33}(y_1 + y_2)]\} \\ & - x\{(x_3 + x_2)[a_{11}y_3y_2 + a_{12}y_3y_1 + a_{13}y_2y_1] \\ & + (x_3 + x_1)[a_{21}y_3y_2 + a_{22}y_3y_1 + a_{23}y_2y_1] \\ & + (x_1 + x_2)[a_{31}y_3y_2 + a_{32}y_3y_1 + a_{33}y_2y_1]\} \\ & + y^2[x_3x_2(a_{11} + a_{12} + a_{13}) + x_3x_1(a_{21} + a_{22} + a_{23}) \\ & + x_1x_2(a_{31} + a_{32} + a_{33})] \\ & - y\{x_3x_2[a_{11}(y_3 + y_2) + a_{12}(y_3 + y_1) \\ & + a_{13}(y_1 + y_2)] + x_3x_1[a_{21}(y_3 + y_2) + a_{22}(y_3 + y_1) \\ & + a_{23}(y_1 + y_2)] \\ & + x_1x_2[a_{31}(y_3 + y_2) + a_{32}(y_3 + y_1) + a_{33}(y_1 + y_2)]\} \\ & + x_3x_2[a_{11}y_3y_2 + a_{12}y_3y_1 + a_{13}y_2y_1] \\ & + x_3x_1[a_{21}y_3y_2 + a_{22}y_3y_1 + a_{23}y_2y_1] \\ & + x_2x_1[a_{31}y_3y_2 + a_{32}y_3y_1 + a_{33}y_2y_1] \end{aligned} \quad (3.62)$$

(3.61) eşitliğinde sabitler parantez içine alınacak olursa (3.62) eşitliği elde edilir. Bu ifade parametrik yüzey fonksiyonundaki katsayılar (Denklem (3.41)) ile genel kuadratik yüzey formundaki (Denklem (3.37)) katsayılar arasındaki ilişkiyi açıkça ortaya koymaktadır.

Denklem (3.37)' deki katsayıları (3.62) ile eşleştirirsek;

$$AD = a_{11} + a_{12} + a_{13} + a_{21} + a_{22} + a_{23} + a_{31} + a_{32} + a_{33} \quad (3.63)$$

$$AE = -[(y_3 + y_2)(a_{11} + a_{21} + a_{31}) + (y_3 + y_1)(a_{12} + a_{22} + a_{32}) + (y_1 + y_2)(a_{13} + a_{23} + a_{33})] \quad (3.64)$$

$$AF = y_3y_2(a_{11} + a_{21} + a_{31}) + y_3y_1(a_{12} + a_{22} + a_{32}) + y_1y_2(a_{13} + a_{23} + a_{33}) \quad (3.65)$$

$$BD = -[(x_3 + x_2)(a_{11} + a_{12} + a_{13}) + (x_3 + x_1)(a_{21} + a_{22} + a_{23}) + (x_1 + x_2)(a_{31} + a_{32} + a_{33})] \quad (3.66)$$

$$BE = -\{(x_3 + x_2)[a_{11}(y_3 + y_2) + a_{12}(y_3 + y_1) + a_{13}(y_1 + y_2)] + (x_3 + x_1)[a_{21}(y_3 + y_2) + a_{22}(y_3 + y_1) + a_{23}(y_1 + y_2)] + (x_1 + x_2)[a_{31}(y_3 + y_2) + a_{32}(y_3 + y_1) + a_{33}(y_1 + y_2)]\} \quad (3.67)$$

$$BF = -\{(x_3 + x_2)[a_{11}y_3y_2 + a_{12}y_3y_1 + a_{13}y_2y_1] + (x_3 + x_1)[a_{21}y_3y_2 + a_{22}y_3y_1 + a_{23}y_2y_1] + (x_1 + x_2)[a_{31}y_3y_2 + a_{32}y_3y_1 + a_{33}y_2y_1]\} \quad (3.68)$$

$$CD = [x_3x_2(a_{11} + a_{12} + a_{13}) + x_3x_1(a_{21} + a_{22} + a_{23}) + x_1x_2(a_{31} + a_{32} + a_{33})] \quad (3.69)$$

$$CE = \{x_3x_2[a_{11}(y_3 + y_2) + a_{12}(y_3 + y_1) + a_{13}(y_1 + y_2)] + x_3x_1[a_{21}(y_3 + y_2) + a_{22}(y_3 + y_1) + a_{23}(y_1 + y_2)] + x_1x_2[a_{31}(y_3 + y_2) + a_{32}(y_3 + y_1) + a_{33}(y_1 + y_2)]\} \quad (3.70)$$

$$CF = +x_3x_2[a_{11}y_3y_2 + a_{12}y_3y_1 + a_{13}y_2y_1] + x_3x_1[a_{21}y_3y_2 + a_{22}y_3y_1 + a_{23}y_2y_1] + x_2x_1[a_{31}y_3y_2 + a_{32}y_3y_1 + a_{33}y_2y_1] \quad (3.71)$$

Yukarıdaki katsayı denklemlerinin vurgulanmasının temel nedeni, sonraki bölümlerde göreceğimiz takip algoritması için verilen denklemin faktörlü denkleme olan bağımlılığını vurgulamak içindir.

Kuadratik yüzey fonksiyonumuzu, ızgara düğüm konumlarına ve Z_{ij} değerlerine bağlı olduğunu bildiğimize göre, yüzeyin kuadratik olması koşuluyla; (3.45) – (3.53) katsayı denklemleri ile hesaplanan katsayılar $Z(x,y)$ yüzey fonksiyonundan yerine konarak biparabolik interpolasyon yapılabilir ve istenen xy konumundaki $Z(x,y)$ jeopotansiyel yükseklik değeri elde edilebilir. Şimdiye kadar 3×3 'lük yüzey matrisi için kurulan faktörlü denklemler, temelde 2 boyutlu yüzey için biparabolik

interpolasyon işlemlerini gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Bununla birlikte (3.5) denklemi minimum konum bulma algoritması içerisinde seçilen $y = y_1$ çizgisi üzerindeki tek faktörlü kuadratik fonksiyonun adımlanması esnasında kullanılmaktadır.

(3.63)-(3.71) katsayıları (3.37) denkleminin katsayılarıdır. (3.37) denklemi aşağıdaki iki ayrı şekilde de ifade edilebilir.

$$z(x, y) = x^2(Ay^2 - By + C) - x(Dy^2 - Ey + F) - y(Hy - G) + I \quad (3.72)$$

$$z(x, y) = y^2(Ax^2 - Dx + H) - y(Bx^2 - Ex + G) + x(Cx - F) + I \quad (3.73)$$

Şimdi yukarıdaki denklemleri daha da basitleştirmek için kuadratik yüzey fonksiyonunu aşağıdaki biçimde yazalım:

$$z(x, y) = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I \quad (3.74)$$

(3.74) denklemi, (3.37) ile gösterilen kuadratik yüzey fonksiyonunun katsayılarının açılmış halidir. Daha önc 2 boyutlu kuadratik fonksiyonu sadeleştirirken yaptığımız kabullerin benzerini burada da yapalım.

$$x_1 < x_2 < x_3 \quad (3.75)$$

$$x_1 = -\mathcal{L}, x_2 = 0 \text{ ve } x_3 = \mathcal{L} \quad (3.76)$$

$$y_1 = -\mathcal{L}, y_2 = 0 \text{ ve } y_3 = \mathcal{L} \quad (3.77)$$

Yukarıdaki kabuller altında (3.45)-(3.53) katsayıları aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$a_{11} = \frac{Z_{11}}{(x_1 - x_2)(x_1 - x_3)(y_1 - y_2)(y_1 - y_3)} = \frac{Z_{11}}{4\mathcal{L}^4} \quad (3.78)$$

$$a_{12} = \frac{Z_{12}}{(x_1 - x_2)(x_1 - x_3)(y_2 - y_1)(y_2 - y_3)} = -\frac{Z_{12}}{2\mathcal{L}^4} \quad (3.79)$$

$$a_{13} = \frac{Z_{13}}{(x_1 - x_2)(x_1 - x_3)(y_3 - y_1)(y_3 - y_2)} = \frac{Z_{13}}{4\mathcal{L}^4} \quad (3.80)$$

$$a_{21} = \frac{Z_{21}}{(x_2 - x_1)(x_2 - x_3)(y_1 - y_2)(y_1 - y_3)} = -\frac{Z_{21}}{2\mathcal{L}^4} \quad (3.81)$$

$$a_{22} = \frac{Z_{22}}{(x_2 - x_1)(x_2 - x_3)(y_2 - y_1)(y_2 - y_3)} = \frac{Z_{22}}{\mathcal{L}^4} \quad (3.82)$$

$$a_{23} = \frac{Z_{23}}{(x_2 - x_1)(x_2 - x_3)(y_3 - y_1)(y_3 - y_2)} = -\frac{Z_{23}}{2\mathcal{L}^4} \quad (3.83)$$

$$a_{31} = \frac{Z_{31}}{(x_3 - x_1)(x_3 - x_2)(y_1 - y_2)(y_1 - y_3)} = \frac{Z_{31}}{4\mathcal{L}^4} \quad (3.84)$$

$$a_{32} = \frac{Z_{32}}{(x_3 - x_1)(x_3 - x_2)(y_2 - y_1)(y_2 - y_3)} = -\frac{Z_{32}}{2\mathcal{L}^4} \quad (3.85)$$

$$a_{33} = \frac{Z_{33}}{(x_3 - x_1)(x_3 - x_2)(y_3 - y_1)(y_3 - y_2)} = \frac{Z_{33}}{4\mathcal{L}^4} \quad (3.86)$$

Yukarıdaki katsayılar kullanılarak (3.63)-(3.71) katsayıları yeniden düzenlenirse;

$$A = \frac{1}{4\mathcal{L}^4} [(h_1 + h_2) - 2(h_3 + h_4) + (h_5 + h_6)] \quad (3.87)$$

$$B = \frac{1}{4\mathcal{L}^3} [(h_1 + h_2) - (h_5 + h_6)] \quad (3.88)$$

$$C = \frac{1}{4\mathcal{L}^3} [(h_2 - h_1) - 2(h_4 - h_3) + (h_6 - h_5)] \quad (3.89)$$

$$D = \frac{1}{2\mathcal{L}^2} (h_3 + h_4) \quad (3.90)$$

$$E = \frac{1}{2\mathcal{L}^2} (h_{10} + h_9) \quad (3.91)$$

$$F = \frac{1}{4\mathcal{L}^2} [(h_2 - h_1) + (h_6 - h_5)] \quad (3.92)$$

$$G = \frac{1}{2\mathcal{L}} (h_4 - h_3) \quad (3.93)$$

$$H = \frac{1}{2\mathcal{L}} (h_{10} - h_9) \quad (3.94)$$

$$I = Z_{22} \quad (3.95)$$

Denklem (3.74) ve (3.87)-(3.89) katsayılarının değişik bir gösterimi Zevenbergen ve Thorne (1987) tarafından yayınlanmıştır. Zevenbergen' in katsayı denklemleri sadece Z_{ij} değerlerini içerecek biçimde düzenlenmiştir. (3.87)-(3.89) denklemleri ise Z_{ij} değerlerinin bağıl farklarını içerecek biçimdedir ve el ile hesaplama yapması çok daha kolaydır.

3.2.2.3 Minimum nokta tespiti

Burada bahsi geçen *minimum nokta tayini* karesel kuadratik bir jeopotansiyel yüzey üzerindeki minimum jeopotansiyel değerinin bulunması işlemini ifade etmektedir. Bir siklonun kesin konumunun tespit edilmesindeki en önemli adım minimum jeopotansiyel konumunun bulunmasıdır. Bu adım aynı zamanda jeopotansiyel yüzeyin kuadratik olma koşulunu sağlamasını garantiler. Şimdi minimum nokta tayininin nasıl gerçekleştirildiği hususunda bazı noktalara değinelim.

$y = ax^2 + bx + c$, $a \neq 0$ Eşitliği için bir parabolün extremum noktası $x^* = -\frac{b}{2a}$ konumundadır. Eğer $a < 0$ ise extremum bir maksimum noktası $a > 0$ ise extremum bir minimum noktasıdır.

$$f: [\alpha, \beta] \rightarrow R \quad , \quad \alpha < \beta$$

şeklinde göreceli bir minimum noktası aradığımız türevlenebilir bir fonksiyon olduğunu düşünelim. Ek olarak, başlangıç verisinin de aşağıdaki gibi olduğunu farz edelim.

$$[x_1 f(x_1)] , [x_2 f(x_2)] , [x_3 f(x_3)]$$

Burada $\alpha \leq x_1 < x_2 < x_3 \leq \beta$ ve $f(x_1) > f(x_2) < f(x_3)$ 'tür. Bu durumda 3 noktadan geçen parabolün yerel minimumu x^* , x_1 ve x_3 arasında olmalıdır. Bu durumda karşımıza 3 durum çıkmaktadır.

- $x^* = x_2$ Durumu:

Eğer $x^* = x_2$ ise $f(x_1)$ 'in $f(x_3)$ 'den küçük ya da büyük olması durumuna göre çok küçük bir η miktarı kadar x_1 'e veya x_3 'e doğru pertürbe edilir.

- $x^* < x_2$ Durumu:

Eğer $x^* < x_2$ ise $f(x^*) \leq f(x_2)$ veya $f(x^*) > f(x_2)$ olduğu iki durum söz konusudur. Eğer $f(x^*) \leq f(x_2)$ ise, o zaman $x_3 \leftarrow x_2$ ve $x_2 \leftarrow x^*$ ataması yapılır ya da eğer $f(x^*) > f(x_2)$ ise bu durumda $x_1 \leftarrow x^*$ ataması yapılır.

- $x^* > x_2$ Durumu:

Bu durum $x^* < x_2$ duruma benzerdir. Eğer $x^* > x_2$ ise $f(x^*) \geq f(x_2)$ veya $f(x^*) < f(x_2)$ olduğu iki durum söz konusudur. Eğer $f(x^*) \geq f(x_2)$ ise, o zaman

$x_1 \leftarrow x_2$ ve $x_2 \leftarrow x^*$ ataması yapılır ya da eğer $f(x^*) < f(x_2)$ ise bu durumda $x_3 \leftarrow x^*$ ataması yapılır.

Böylece $x^* < x_2$ ya da $x^* > x_2$ olma durumuna göre hangi şart geçerli ise buna göre işleme devam edilir. Bu yinelenen (iteratif) bir süreçtir ve belirsizlik aralığı önceden tanımlanmış bir tolerans değerinden küçük olana kadar tekrar edilir. Belirsizlik aralığı önceden tanımlı tolerans değerine eriştiğinde süreç sonlandırılır (RLH, 2004).

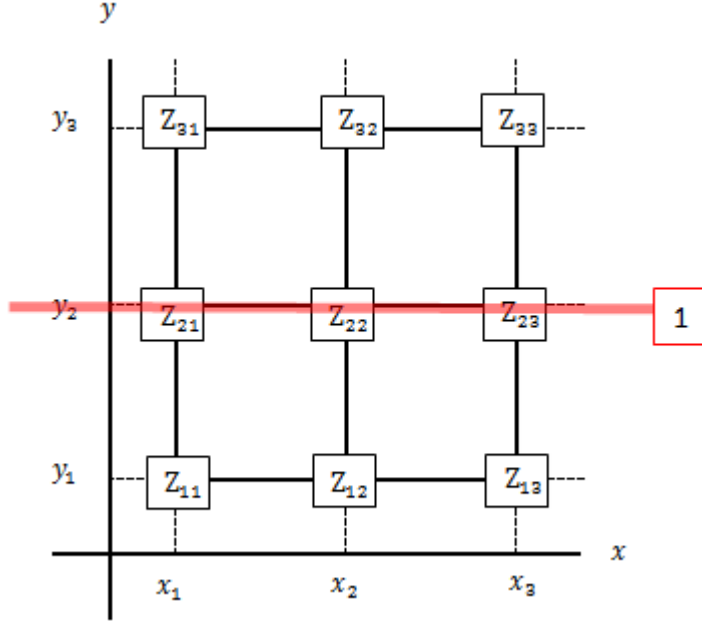
Yukarıda anlatılan şema, minimum nokta tespiti için verilmiş olsa da, başlangıç koşulları değiştirildiğinde maksimum nokta tayini için de geçerlidir. Burada değinmek istediğin önemli bir nokta, Mathematics Source Library sitesinde kullanıma sunulmuş olan *Min_Search_Parabolic_Interpolation* fonksiyonunun kendisine gönderilen başlangıç parametreleri üzerinde değişiklik yaptığıdır. Bu küçük ayırım gözden kaçırıldığında hesaplamalarda büyük hatalara yol açabilmektedir.

Bu çalışmada, minimum nokta tayini için yukarıdaki şema kullanılmıştır. Şimdi bu algoritmanın önceki bölümlerde değindiğimiz kuadratik jeopotansiyel yüzey fonksiyonu üzerinde nasıl işletildiğini inceleyelim.

Şekil 3.4 'de görüldüğü üzere, minimum konum arama işlemi öncelikle 3x3'lük jeopotansiyel yükseklik matrisinin $y = y_2$ parabol eğirisi üzerinde yapılır. (Şekil 3.4 1 numaralı çizgi) Bu durumda kuadratik jeopotansiyel yüzey fonksiyonumuz ((3.43) denklemi) aşağıdaki denkleme indirgenir.

$$\begin{aligned} Z(x, y_2) = & a_{12}(x - x_2)(x - x_3)(y_2 - y_1)(y_2 - y_3) \\ & + a_{22}(x - x_1)(x - x_3)(y_2 - y_1)(y_2 - y_3) \\ & + a_{32}(x - x_1)(x - x_2)(y_2 - y_1)(y_2 - y_3) \end{aligned} \quad (3.96)$$

(3.96) denkleminin $y = y_2$ seçildiği için artık sadece x 'e bağlı olduğuna dikkat edilmelidir. Katsayılar y_2 sabitini içerecek biçimde yeniden yazılacak olursa (3.97), (3.98) ve (3.99) denklemleri elde edilir.



Şekil 3.4: İlk parabolik interpolasyon eksenini

$$a_1 = a_{12}(y_2 - y_1)(y_2 - y_3) \quad (3.97)$$

$$a_2 = a_{22}(y_2 - y_1)(y_2 - y_3) \quad (3.98)$$

$$a_3 = a_{32}(y_2 - y_1)(y_2 - y_3) \quad (3.99)$$

elde edilir. Katsayıları jeopotansiyele bağılı olarak tekrar elde edelim.

$$a_1 = \frac{Z_{12}}{(x_1 - x_2)(x_1 - x_3)} \quad (3.100)$$

$$a_2 = \frac{Z_{22}}{(x_2 - x_1)(x_2 - x_3)} \quad (3.101)$$

$$a_3 = \frac{Z_{32}}{(x_3 - x_1)(x_3 - x_2)} \quad (3.102)$$

Yeni katsayılar (3.96) denkleminde yerine konulursa denklemin son hali elde edilir.

$$Z(x, y_2) = Z_{12} \frac{(x - x_2)(x - x_3)}{(x_1 - x_2)(x_1 - x_3)} + Z_{22} \frac{(x - x_1)(x - x_3)}{(x_2 - x_1)(x_2 - x_3)} + Z_{32} \frac{(x - x_1)(x - x_3)}{(x_3 - x_1)(x_3 - x_2)} \quad (3.103)$$

(3.103) eşitliği, x_1, x_2 ve x_3 ve Z_{12}, Z_{22} ve Z_{32} değerlerine bağlı olarak kuadratik bir fonksiyon olabilir ya da olmayabilir. Hatırlarsak, bir siklon adayı, bir merkez düğümdeki jeopotansiyel yükseklik değerinin etrafındaki 8 ızgara düğümündeki jeopotansiyel değerlerine eşit ya da küçük olması koşuluna bağlıdır. Siklon arama işleminde, mümkün mertebe çok sayıda merkez bulunma ihtimali olabilecek konumların minimum nokta tespit şeması tarafından değerlendirilebilmesi niyetiyle bu derece zayıf koşullar tercih edilmiştir. Eğer siklon adayı $x_1 < x_2 < x_3$ ve $f(x_1) > f(x_2) < f(x_3)$ koşullarına sıkı sıkıya bağlı kalınarak seçilseydi, kuadratik yüzey fonksiyonuna oldukça benzerlik gösteren birçok siklon merkezi tespit edilemeyecekti.

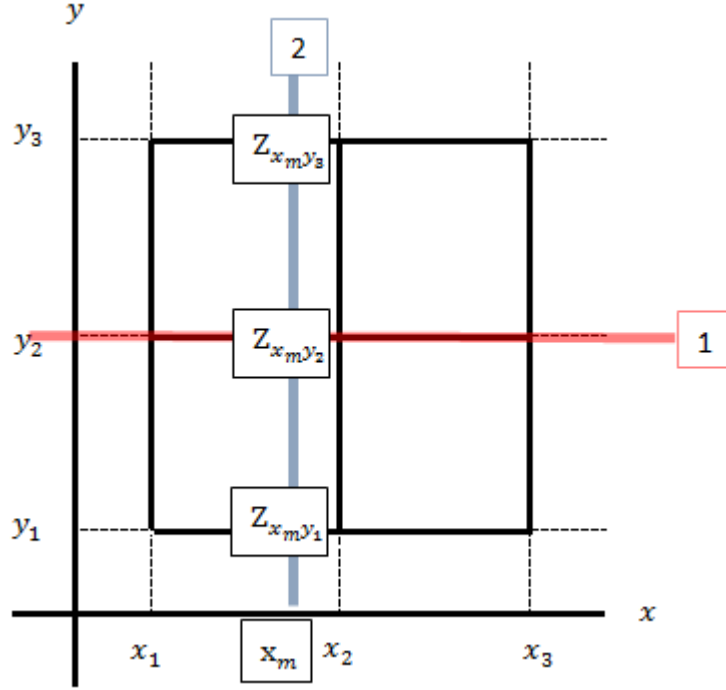
Minimum nokta tespit algoritması aşağıdaki 3 koşulu tespit edebilir.

1. Algoritmaya verilen 3 noktanın kollinear olup olmadığı
2. 3 noktadan geçen parabolün ekstremum noktasının minimum/maksimum olduğu
3. Başlangıç koşullarının $x_1 < x_2 < x_3$ ve $f(x_1) > f(x_2) < f(x_3)$ sağlanıp sağlanmadığı

Bu koşullar aslında içerisinde jeopotansiyel minimum noktalarının kuadratik olduğunu farzetmemizden kaynaklanan problemlerin tespitini içerisinde barındırır. Çünkü algoritma, sadece kuadratik bir fonksiyon üzerinde çalışmak üzere tasarlanmıştır ve fonksiyonun kuadratik olmadığı durum için başka çözüm yolları aramak gerekir. Kuadratik yaklaşımına uymayan fakat bir minimum jeopotansiyel konumu barındırdığına inanılan noktalar konusunda ortaya çıkan sorunlar ve bunlara getirilebilecek çözümler ileride tartışılacaktır.

Denklem **(3.103)**' un kuadratik olduğunu ve minimum bulma algoritmasının uyguladığı testlerden başarıyla geçtiği durumda, Şekil 3.4' de $y = y_2$ alınan eğri üzerindeki minimum x konumu x_m ile gösterilsin. Minimum nokta tespit işlemini daha iyi açıklayabilmek için x_m konumunun $x_1 < x_m < x_2$ olduğunu farz edelim.

Bu durumda, merkez (x_2, y_2) noktasından olan sapma miktarı $\Delta x = x_m - x_2$ olacaktır. Bu 3x3' lük jeopotansiyel matrisinin merkezinden olan bağıl yer değiştirme vektörünün büyüklüğüdür. $\Delta x < 0$ ise sapma negatif x-doğrultusunda, $\Delta x > 0$ ise pozitif x-doğrultusundadır.



Şekil 3.5: İkinci interpolasyon eksenini

Şimdi kuadratik yüzey üzerinde minimum noktanın y eksenini boyunca yerdeğiştirme vektörünün büyüklüğünü bulalım. Bu işlem yukarıda anlatılan sürece temelde benzerdir; fakat bu durumda $x = x_m$ konumunda bulunan kuadratik fonksiyon eğrisi (Şekil 3.5 2 numaralı eğri) üzerindeki (x_m, y_1) , (x_m, y_2) ve (x_m, y_3) noktaları ile ilişkili $Z(x_m, y_1)$, $Z(x_m, y_2)$ ve $Z(x_m, y_3)$ jeopotansiyel yükseklik değerlerini bulmak icab eder. Bu değerlerin hesaplanması, 3.2.2.2 bölümünde anlatılan denklemlere bağlı 2 boyutlu biparabolik interpolasyon işlemiyle yapılır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, 3x3'lük jeopotansiyel yüzey matrisinin tamamen kuadratik olduğu varsayımı üzerine bu işlemin yapıldığıdır. Bununla birlikte, bu varsayım büyük ihtimalle bizi hatalı bir sonuca götürmeyecektir; keza bir önceki minimum nokta tespiti esnasında x-doğrultusundaki Z_{ij} değerleri test edilmiş ve kuadratik olmasına istinaden biparabolik interpolasyon işlemine geçilmiştir. Bu doğruluk testi aynı zamanda, $x = x_m$ konumunda bulunan kuadratik fonksiyon eğrisi minimum nokta tespit şemasına tabi tutulduğunda da gerçekleştirilir. Bu durumda, Şekil 3.5 'de 2 numaralı doğru üzerinde uzanan, temelde $Z(x_m, y_1)$, $Z(x_m, y_2)$ ve $Z(x_m, y_3)$ değerlerine bağlı kuadratik fonksiyon eğrisi, minimum nokta tespit şemasını sağlayamazsa, matris içerisinde minimum nokta bulunamadığı sonucuna varılır.

Çalışmalardan farklı olarak, $Z(x_m, y_m)$ değerlerinin de kayıt altına alınması, alçak basınç merkezlerinin derinleşme/dolma özelliklerinin istatistiksel açıdan incelenmesine olanak tanıyacaktır.

Kuadratik yüzey yaklaşımı altında bulduğumuz $[x_m, y_m, Z(x_m, y_m)]$ değerleri bir siklon merkezinin enlem boylam ve yükseklik değerini göstermektedir. Buradaki izlenen yöntem Alpert'in makalesinde bahsettiği yönteme dayanmaktadır. Tek fark biparabolik interpolasyon işlemi 2 boyutta yapılmaktadır. Minimum nokta tespit algoritması her ne kadar oldukça başarılı sonuçlar verse de, hala siklon merkezlerinin tespit edilemeyeceği durumlar söz konusudur. Tartışma bölümünde bunlara ve çözüm önerilerine değinilecektir. Bir sonraki blmde, tespit edilmiş olan siklon merkezlerinin δt süre sonraki tespit edilmiş merkezler ile ilişkilendirilmesi temeline dayalı yörünge takip şeması açıklanacaktır.

3.2.3 Yörünge tayini

Yapılan nceki çalışmalarda, siklon konumlarının tespitine getirilen çözüm nerileri gibi bu başlıkta da değişik çözüm nerileri getirilmiştir. Gerçekte bu önerilerin hepsinin temeli sıkı sıkıya uzaysal ve zamansal çözünürlüğe bağlıdır.

Alpert δt zaman aralıklarında tespit edilmiş siklon konumlarını ilişkilendirmek için 700 mb seviyesinin çeşitli sinoptik ve dinamik çalışmalarda steering seviyesine yakın olduğu gerçeğine dayanarak 700 mb seviyesi rüzgâr vektörlerinin yönünü temel almıştır (Gill, 1982). Fakat her durumda bu yaklaşımın tutarlı bir sonuç vermeyeceği ilk bakışta tahmin edilebilir. Bu durumun tutarlılığını görmek için 01 Ocak 1948 yılı 00Z ve 01 Ocak 1948 06Z 1000mb seviye haritası ve 700 mb rüzgâr kartı birlikte incelenmiştir. 00Z' de Rodos üzerinde görülen alçak basınç merkezi 700 mb seviyesi rüzgâr yönü doğuyu gösterdiği halde 06Z' de Yunanistan zerine doğru hareket etmiştir. Her ne kadar bu tutarsızlık bütün durumlar için geçerli olmayabilecek olsa da, bunun dışında daha tutarlı bir şema oluşturma girişiminde bulunulmuştur.

Sinclair (1994) ise takip algoritmasında belirlenen bir siklonun bir sonraki konumunu, basıncını ve vortisitisini tahmin etmeye dayalı bir algoritma kullanmıştır. Bu algoritma, siklonun klimatolojik olarak hesaplanmış ortalama hızına, bazı ağırlık parametrelerine ve hareketin bir önceki durumuna bağlı olarak geliştirilmiştir ve bu ağırlık parametreleri deneysel olarak atanmış değerlerdir. Bununla birlikte Sinclair

(1994) 'in önerdiği yöntemde her ne kadar 1000 mb. jeopotansiyel verilerini kullanıldığı söylenmiş olsa da, ζ_g (2.4) denklemi ile hesaplanırken (2.6) denklemindeki p_{est} değerinin hesaplanıp hesaplanmadığı ya da veri olarak kullanılmadığı belirsizdir. Sinclair (1994) 'in makalesi Murray ve Simmonds (1991)'un makalesine dayanmaktadır ve Murray ve Simmonds (1991) makalesinde ortalamada deniz seviyesine indirilmiş basınç değerlerini kullanmıştır (Murray ve Simmonds, 1991). Buna istinaden Sinclair (1994) 'in çalışmasında aynı zamanda deniz seviyesine indirilmiş basıncında kullanıldığı düşünülebilir. Yine Sinclair (1994) 'in konum tespitinde ζ_g minimum noktasının nasıl tespit edildiği hususunda çok ayrıntılı bir açıklama bulunmamakla beraber; ζ_g 'nin hesaplandığı (2.4) denklemi ve bu denklemin hesaplanma yöntemleri üzerinde çalışmaya değerdir.

Blender (1997) ise çalışmasında yüksek çözünürlüklü (yaklaşık $1.1^\circ \times 1.1^\circ$) bir veri kullanmış ve böyle bir veri üzerinde siklonların kesin konumlarının tespitine ya da ilişkilendirme için özel bir algoritma kullanmaya ihtiyaç olmadığına vurgu yapmıştır. Birbirinin devamı olan siklon merkezlerini ilişkilendirmek için δt süresi sonrasında en yakın komşu ızgara düğümlerinde arama işlemi gerçekleştirmiştir. Izgara çözünürlüğü her ne kadar düşük olsa da, bu da tam kesinlikten uzak ve belli varsayımlar altında yapılmış bir çalışmadır (Blender ve diğ., 1997).

Burada, yukarıdaki yöntemlerden farklı ve eldeki verilere uygun bir başka yöntemden önerilecektir. Bu yöntem sadece jeopotansiyel yükseklik verisine ihtiyaç duymakla birlikte herhangi bir ek parametreye ya da klimatolojik ortalamalar ile hesaplanmış değişkenlere ihtiyaç duymaması bakımından önemlidir. Bu yöntem temelde jeopotansiyel verisinin zamansal çözünürlüğünün lineer olarak arttırılmasına ve siklon merkezinin bulunduğu 3x3'lük ızgara üzerindeki jeopotansiyel değerlere bağlı tandans ifadesinin elde edilip merkezin hareket yönünü tayine dayalıdır.

Önerilecek olan yönteme rağmen, bu çalışmada Alpert ve diğ. (1990)'nin kullandığı dairesel bir alanda en yakın komşu arama yöntemi kullanılmıştır. 6 saatlik zamansal çözünürlüğe sahip verilerin 1 saate düşürülmesinin temel sebebi dairesel en yakın komşu arama yönteminin kullanılabilmesine imkân tanımadır. Bu yöntemin uygunluğu siklon merkezlerinin 1 saatte katedecekleri mesafenin çeşitli kaynaklara göre maksimum 80km/h ya da 100km/h değerini geçmeyecek olmasıdır (Gaffney ve diğ., 2007; Hanson ve diğ., 2004; Trigo ve Davies, 1999). Fakat gözle yapılan

incelemede bazı alçak basınç merkezlerinin 1 saatlik zaman dilimin de 200 km ‘den fazla yol kat ettikleri görülmüştür. Dairesel en yakın komşu yöntemine alternatif olarak önerilecek olan tandas yöntemi bu noktada devreye girmiştir. Çünkü 150 km ‘lik dairesele bir alanda bir önceki saat için yakın civarda siklon eşleştirmesi yapılsa bile bazı siklonlar kopuk olarak tespit edilecektir. Bu durum sadece siklonların oluşum noktalarının tayin edilmesinde yan etkilere yol açacaktır. Eğer siklon yörünge frekanslarını incelemek istersek, dairesele en yakın komşu arama yönteminin yan etkileri ortadan kalkar.

Önceki bölümlerde siklonun bulunduğu 3x3’lük ızgaranın düğüm noktalarındaki değerleri kullanarak kuadratik yüzey fonksiyonunu çıkarmıştık. Siklonun nereye doğru hareket edeceğini tespit etmek için, bu yüzey fonksiyonunun 1 saat önceki aynı ızgara üzerindeki yüzey fonksiyonu ile farkının alınması sonucu ortaya çıkan yüzey tandans fonksiyonunun elde edilmesine ihtiyaç vardır. Bu tandas fonksiyonu elde edildikten sonra t_0 anında 3x3’lük ızgara içerisinde tespit edilmiş olan (x_m, y_m) minimum noktasından itibaren tandansın negatif ve mutlak değerce en büyük olduğu noktaya olan yönelim vektörünü bulmak icap eder. Bu vektör tandans denkleminin (x_m, y_m) noktasındaki gradyanını hesaplamakla mümkündür. Çünkü alçak basınç merkezi tandansın negatif ve mutlak değerce en büyük olduğu yöne doğru hareket edecektir. NCEP/NCAR yeniden analiz I verileri üstünde seçilen örnek bazı siklonlar ile yapılan incelemede siklon merkezlerinin negatif ve mutlak değerce en büyük olan yöne doğru hareket ettikleri gözlenmiştir. Lakin aramanın yapılacağı yönü tam olarak belirlemek için tandans denkleminin çıkarılması gerekmektedir. Zaman kısıtından dolayı bu noktaya sadece sözlü olarak değinilmiştir.

Yörünge tayini için önerilen yukarıdaki yöntem henüz tamamlanmamış olmakla birlikte veri setinin zamansal çözünürlüğünün arttırılması işlemi tamamlanmıştır. Tandans yöntemi de alçak basınç merkezlerinin 1 saatlik süre zarfında 200 km’yi aşkın mesafeler kat edebildiği görüldükten sonra ortaya çıkmıştır. Tandans yöntemi uygulandığında dairesele en yakın komşu arama yöntemine nazaran çok daha gerçekçi sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Siklon merkezlerinin konumlarının bulunması ızgaralanmış verilerin üretilmesiyle birlikte 1990'lı yıllardan bu yana oldukça ilgi görmüştür. Bu yönde birçok çalışma yapılmış ve çeşitli yöntemler öne sürülmüştür. Bu çalışmada daha önceki önerilen yöntemler geliştirilerek *siklon projesi* oluşturulmuştur (Sezen, 2010). Bu projenin amacı, ızgaralanmış veri setleri üzerinde çalışan istenen bir alan için siklon merkezlerini bulmak ve bu merkezleri daha yenilikçi bir şema ile takip ederek birleştirmektir.

Proje 3 aşamadan oluşmaktadır.

1. *NC-Retime*: Veri setlerini doğrusal olarak enterpole ederek zamansal çözünürlüğünü arttıran uygulamadır. NCEP/NCAR Yeniden Analiz I verilerini kullanarak birçok dosyadan istenen enlem ve boylam sınırları dâhilindeki verileri zamansal olarak enterpole ederek tek bir dosyaya aynı formatta yazabilmek kapasitesine sahiptir.
2. *Siklon*: Siklon uygulaması, NC-Retime tarafından oluşturulan çözünürlüğü arttırılmış veri dosyasını kullanarak, daha önce bahsedilen yöntemleri temel olarak siklon merkezlerinin konumlarını tespit eder ve bir metin dosyasına kaydeder.
3. *NC-traj*: Bu uygulama, Siklon uygulaması tarafından oluşturulan ve siklon konumlarını ve yüksekliklerini içeren dosyayı kullanarak, siklonların yörüngelerini hesaplar ve isteğe göre iki ayrı dosya formatında bunları diske kaydeder. Bu dosya formatlarından birisi hysplit yörünge formatıdır. Yani burada elde edilen yörünge sonuçları hysplit üzerinde çizdirilip incelenebilir. Aynı zamanda siklonları filtreleme özelliğine de sahiptir. İstenen tarih aralığında ya da belli aylarda uzun yıllarda elde edilen siklonları hesaplayabilme yetisine sahiptir. Ayrıca siklonların yaşam süresine ve yerdeğiştirme miktarına göre filtreleme yeteneğine de sahiptir.

Yukarıda sıraladığım ve tezim süresince 2 yıl boyunca yazdığım 3 ayrı uygulama kullanılarak elde edilen sonuçlar Ekler bölümünde verilmiştir.

1948 yılı için 6 saat aralıklarla 25-55N ve 10-55E enlem ve boylamlarına sahip bir domain içerisinde siklon merkezlerinin konumları için arama işlemi yapılmıştır. Ek A-1000mb seviye haritaları kısmında 01 Ocak 1948 ve 01 Ocak 2010 günleri için 00UTC, 06UTC, 12UTC ve 18UTC 1000mb seviyeleri için bulunan siklon merkezleri konturları ile birlikte harita üzerine çizdirilmiştir (Şekil A. 1). Merkez noktaların yanında bulunan değerler, siklon merkez noktasının deniz seviyesinden olan yüksekliğini göstermektedir.

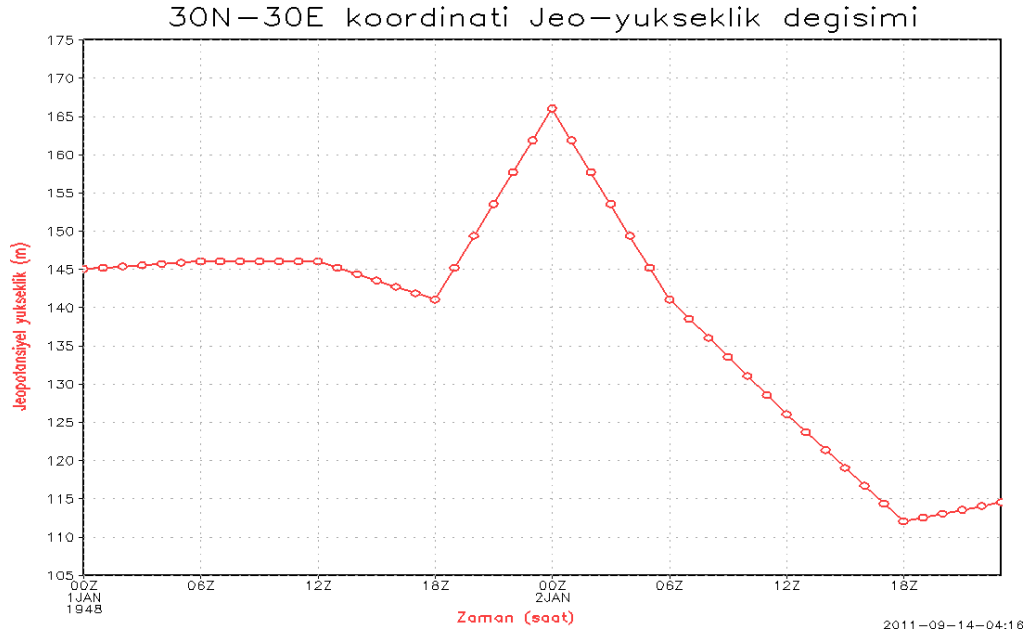
Dikkat edilirse Şekil A.1-a'daki Rodos üzerindeki siklon merkezi 06UTC' de (Şekil A.1-(b)) Yunanistan üzerine doğru hareket etmektedir. Oysa aynı saatteki 700mb seviyesindeki rüzgâr yön vektörleri tamamen doğuyu işaret etmektedir. Bu yüzden Alpert'in kullandığı şemanın kullanılması uygun görülmemiştir. Bu çalışmada diğerlerinden farklı olarak 2 boyutlu bir yüzey üzerinden biparabolik interpolasyon yapılmış ve yörünge tayini için yeni bir yöntem önerilmiştir.

GraDS programı vasıtasıyla, hem bulunan minimum noktalar hem de jeopotansiyel konturları harita üzerine çizdirilmiş, siklon projesinin sağlıklı çalıştığı ve GraDS'in çizdiği alçak basınç merkezleri ile siklon projesi tarafından bulunan merkezlerin uyum içinde olduğu görülmüştür. Ek olarak, çizilen 1000 mb seviye kartlarının gerçek yer kartları ile karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil A.2).

Ayrıca, 63 yıla ait (1948-2010) 25-55N ve 10-55E enlem ve boylamları arasındaki alan üzerindeki 1000mb jeopotansiyel konturları ile birlikte tespit edilmiş alçak basınç merkezlerinin konumları haritalar üzerine işaretlenerek internete yüklenmiştir. (Youtube, 2011). Youtube sitesinde 63 yıla ait 1000mb seviyesi jeopotansiyel kontur hareketleri işaretlenmiş alçak basınç merkezleri ve yükseklikleri ile birlikte hareketli olarak izlenebilir.

Yörünge tayini için, NCEP/NCAR Reanaliz ürünü 6 saatlik zamansal çözünürlüğe sahip veriler, NC-retime programı vasıtasıyla doğrusal interpolasyon uygulanarak 1 saat çözünürlüğe düşürülmüştür. Şekil 4.1' de 30N enlemi ve 30E boylamı için jeopotansiyelin zamana göre değişim grafiği görülmektedir. Dikkat edilecek olursa jeopotansiyel eğrisinin eğimi 6 saatte bir (06Z, 12Z, 18Z...) değişmektedir. Ara

saatlerdeki yükseklik değerleri doğrusal interpolasyon ile elde edilmiş sunî değerlerdir.



Şekil 4.1: 30N enlemi ve 30E boylamı için jeopotansiyel yüksekliğin zamanla değişimi

Geniş bir tarih aralığından elde edilmiş siklon yörüngelerinin tamamının bir tek harita üzerinde gösterilmesi oldukça karmaşık bir sonuç ile karşılaşmamıza sebep olur. Lakin hysplit yardımıyla elde edilmiş siklon frekanslarını doğru şekilde yorumlamak için bu karmaşık haritaların da incelenmesinde fayda vardır. Bu yüzden öncelikle Ek B’ de, NC-traj ile elde edilmiş; 2001-2010 tarih aralığında 1000 km ‘den fazla yerdeğiştirme mesafesine sahip siklon yörüngelerinin aylara göre gösterimlerini incelemek iyi olacaktır. Bu noktada *yerdeğiştirme* teriminin tanımını açıklamakta fayda vardır. Burada yerdeğiştirme terimi, bir siklonun başlangıç noktası ile yaşam döngüsünün son bulduğu nokta arasındaki mesafeyi göstermektedir. Bir siklonun kat ettiği toplam mesafe, en az yerdeğiştirme değerine eşit ya da ondan büyük olabilir. Daha küçük olamaz. Aynı zamanda elde edilen siklonlara yerdeğiştirme terimini içeren bir filtre uygulandığında durağan ve ısınma kaynaklı kısa ömürlü siklonlar filtrelenmiş olacaktır. Örneğin, böyle bir filtre sonucu elde edilen frekans haritalarında Muson alçak basınç merkezinin aktivitesi neredeyse gözlenmeyecektir. Burada yıldız şekli ile işaretlenmiş noktalar yörüngenin başlangıcını göstermektedir. Yörüngeler üzerindeki büyük kare şeklindeki etiketler gün değişimlerini göstermektedir. Küçük kare şeklindeki etiketler ise 6 saat aralıklar ile yerleştirilmiştir.

Şekil B.1 ‘den görüleceği üzere 2001-2010 yılları kış aylarında 1000km ve üstü yerdeğiştirmeye sahip siklonlar Türkiye’nin kuzeyinden ve güneyinden geçme eğilimindedir. Aralık ve ocak ayında uzun mesafe kat eden ve ülkemizi ziyaret eden siklonların ağırlıklı olarak Cenova körfezi kaynaklı olduğu aşikârdır. Burada belirtmek gerekir ki, bu haritalardaki Cenova üzerindeki siklon başlangıç noktaları, Cenova körfezi üzerinde oluşmuş olabileceği gibi, Avrupa ‘dan gelen ve Cenova üzerinden geçen siklonların devamı da olabilir. 10E boylamı çalışma alanını sınırlamaktadır. Cenova körfezi üzerindeki başlangıç noktaları, bu bölgenin siklonlar için bir oluşum ve geçiş noktası olduğu gerçeğini vurgulamaktadır.

Şekil B.1 ‘de 2001-2010 mart, nisan ve mayıs ayları yörünge haritalarında ilkbahar aylarında meydana gelen toz taşınımına büyük katkısı olan, Afrika üzerinden gelerek akdenizi geçen siklonların sayısında görülen artış dikkat çekicidir. Özellikle Mayıs ayında Cenova körfezi merkezli siklonlar bir hayli azalmış ve yerini Afrika ‘dan gelen siklonlara bırakmıştır.

Çizelge 4.1: 2001-2010 Aylara göre 1000km ‘den fazla yerdeğiştirmeye sahip siklon sayıları

Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
49	48	50	41	31	12	8	10	19	22	26	51

Çizelge 4.1, 2001-2010 aylara göre 1000km ve üstünde yerdeğiştirmeye sahip siklon sayılarını göstermektedir. Diğer aylara göre yaz aylarındaki meydana gelen siklon sayılarındaki azalma oldukça fazladır. Bununla birlikte haziran, temmuz ve ağustos aylarına ait yörünge haritaları incelendiğinde siklonik aktivitenin daha çok kuzeye kaydığı görülmektedir.

Sonbahar aylarında özellikle ekim ayından başlamak üzere, Cenova körfezi merkezli siklonların sayısında artma görülmeye başlanmıştır. Bu siklonlar kasım ayında ağırlıklı olarak Yunanistan üzerinden geçerek ülkemizi etkilemişlerdir.

Şekil B.2 ‘de 1948-2010 yılları arasında aylara göre 1000km ve üzeri yerdeğiştirmeye sahip siklon yörüngeleri çizdirilmiştir. Görüleceği üzere bu haritalar üzerinden bir sonuca varmak ve yorum yapmak 10 yıllık (2001-2010) haritalara göre oldukça zordur. Bu noktada frekans haritaları çok işe yarar. Şimdi Şekil B.2 ‘deki

haritalar ile birlikte Şekil B.3’ deki aylara göre yörünge frekanslarını gösteren haritaları inceleyelim.

Çizelge 4.2: 1948-2010 Aylara göre 1000km ‘den fazla yerdeğiştirmeye sahip siklon sayıları

Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
262	313	285	250	176	92	72	67	86	125	191	264

Siklon yörünge frekansı haritaları, mevcut alan 1’er derecelik daha küçük alanlara bölünüp, her bir 1 derecelik karesel alandan geçen siklon sayısının haritadaki toplam siklon sayısına bölümü sonucu o karesel alanın renklendirilmesi sonucu elde edilmiştir. Buradaki frekans haritaları yine hysplit modelinin parçası olan freqplot.exe programcığının bir ürünüdür. Varsayılan olarak bu frekans dağılım aralığı 4 ayrı renk ile ifade edilmiştir ve haritaların yanındaki ıskala üzerinde gösterilmiştir. Frekans haritaları üzerindeki kırmızı kare içerisindeki yıldızlı bölge, siklonların en çok geçtiği noktayı göstermektedir.

Çizelge 4.2’den de görülebileceği üzere seçili bölge üzerindeki 63 yıllık (1948-2010) siklon sayılarındaki değişim, 10 yıllık (2001-2010) haritaları kullanarak yaptığımız incelemeye benzer sonuçlar içermektedir. Kış ayları siklon sayısı bakımından oldukça zengin geçmiştir. Lakin 10 yıllık incelemeye göre, en çok siklon aralık ayında değil şubat ayında gözlenmiştir. Yine bu karşılaştırma yapılırken, bu siklonların 1000km ve üzeri yerdeğiştirmeye sahip siklonlar olduğu akılda tutulmalıdır.

Şekil B.3’ den görüleceği üzere frekans ve yörünge haritaları birlikte incelendiğinde kış aylarında ülkemizi ziyaret eden siklonlar çoğunlukla batı ve güney batıdan gelmiştir. Aralık ve ocak ayına ait frekans haritaları incelendiğinde ocak ayındaki sarı bölge aralık ayına nazaran daha fazla siklon geçtiği gibi yanlış bir görüş yaratabilir. Burada harita renklendirmesi esnasında haritadaki toplam siklon sayısının esas alındığı akılda tutulmalıdır. 10 yıllık inceleme ile karşılaştırıldığında burada Karadeniz üzerindeki siklonik aktivite kayda değerdir. Frekans haritasından yönü tam olarak tayin etmek mümkün olmasa da, karadeniz üzerinden ülkemize siklon girişleri ya da çıkışları olduğu söylenebilir.

İlkbahar aylarında yine bir önceki incelememize benzer olarak, Afrika kaynaklı siklonik faaliyetteki artış bariz bir şekilde görülmektedir. Mart ayında siklonik aktivite merkezi İtalya olarak görülürken, nisan ve mayıs aylarında Sahra çölünün bizim için oldukça faal bir siklonik yörünge çıkış merkezi olduğu görülmektedir.

Yaz aylarında 1000 km ve üstü yerdeğiştirmeye sahip siklonların en çok geçtiği nokta Marmaranın hemen kuzeyidir. Bu durum burasının bir siklon oluşum merkezi olduğu gibi bir yanılgıya sebep olmasın. Şekil B.2 ‘de Haziran ayına ait yörünge haritasına baktığımızda Marmaranın hemen kuzey noktasının aslında siklonların en çok kesiştiği bir ziyaret noktası olduğu hemen anlaşılır. Temmuz frekans haritasında kırmızı merkez noktasının Avrupa ‘nın kuzeyinde çıkması, siklonların yaz aylarında kuzey enlemlerine doğru kaydığının kesin bir göstergesidir.

Sonbahar aylarında özellikle ekim ayında Cenova Körfezi merkezli siklonların yine Türkiye’nin güneyinden geçtikleri bariz bir şekilde görülmektedir. Bu ay içerisinde siklonların Türkiye’nin hemen kuzeyinden yollarına devam ederek Karadeniz üzerinden Ukrayna’ya doğru devam ettikleri net bir şekilde görülebilmektedir. Kasım ayında ise siklon yörüngeleri Türkiye’nin güneyinden ve Marmara bölgesi üzerinden geçmektedir.

EK C ‘de 1948-2010 yılları arasında aylara ve mevsimlere göre 24 saatten fazla devam etmiş siklon yörüngeleri siyah beyaz olarak harita üzerine işlenmiş ve 1 saatten fazla olan siklon yörüngelerine ait frekans haritaları çıkarılmıştır. Hysplit ‘in çizdirebileceği yörünge sayısı sınırlı olduğundan 24 saat ve üstü süre yaşam ömrüne sahip yörüngeler çizdirilmiştir. Buna rağmen, frekans haritalarının çıkarılmasında 1 saat ve üstü yaşam ömrüne sahip yörüngeler kullanılabilmektedir. 1 saat ve üstü yaşam ömrüne sahip yörüngelerin frekans hesaplarında kullanılmasının sebebi, belli bir saatte görünüp hemen kaybolan çok ufak ölçekli siklonları filtrelemek içindir. Çünkü NC-traj’ın şu anda kullandığı dairesel bir alan içerisinde siklon konumlarını birleştirme algoritması tam olarak sağlıklı çalışmadığından bu tarz tekil siklon konumlarının sayısı oldukça çok olacaktır ve frekans haritalarının sonucunu etkileyebilecek sapmalara neden olabilecektir.

Şekil C.1, Şekil C.2 ve Şekil C.3‘den görüleceği üzere siklon yörüngeleri bir önceki incelemelere benzer sonuçlar vermektedir. Lakin burada kısa ömürlü ve durağan siklonik aktiviteler de hesaplamalara dâhil edilmiştir. Şekil C.2 Nisan ayında görüleceği üzere Basra körfezi siklonik faaliyet açısından daha baskın bir hal

almıştır. Bir diğer dikkat çekici nokta yaz aylarında Kıbrıs'ın hemen batısındaki siklonik faaliyet bölgesidir. Bu bölgedeki siklon yörüngelerinin sayısındaki artış, bu noktadaki kısa ömürlü ve yerel siklonik oluşumlardan kaynaklanmaktadır ve bu faaliyet sonbahar mevsiminde de etkisini azaltarak devam etmektedir.

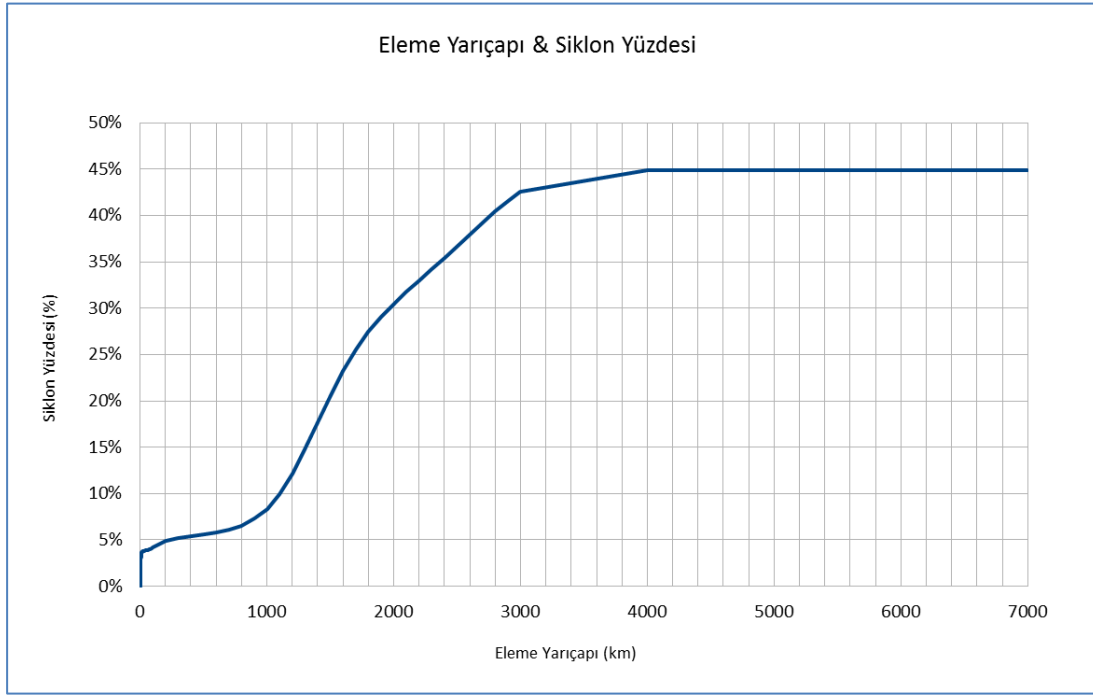
Her ne kadar, ekler bölümünde verilen siklon yörüngelerine ait frekans haritaları bu tezin amacı dışında da olsa, temel verilme amacı, ortaya konulan objektif yöntem ile yapılabilecek çalışmaların çokluğuna dikkat çekmek içindir. Elde edilen sonuçlar Karaca ve diğ. (2000)'nin çalışmalarında ortaya koydukları sonuçlar ile büyük uyum içerisindedir. Buradaki tek fark, siklon yörüngelerinin objektif bir yöntem ile elde edilmiş olmasıdır.

Frekans haritaları Hysplit Model Programı'nın yetenekleri çerçevesinde çizdirilmiştir. Harita üzerinde gösterilen 4 adet frekans eşik değerlerine müdahale etmek mümkün olmamıştır; fakat geniş bir zaman içerisinde çözünürlüğü daha yüksek bir frekans analizi ile elde edilen sonuçların daha tatminkâr olacağı açıktır. Yine Hysplit programına müdahale edilemediği için değişik yönlerden ülkemizi ziyaret eden siklon yörüngelerinin sayılarına dair bir bilgi vermek şu anda mümkün değildir.

Bu çalışma sayesinde, siklon merkezleri üzerinde birçok istatistiksel çalışma yapmak mümkündür. Seçilmiş çalışma alanındaki frekansları, aylara, mevsimlere hatta derinliklerine göre incelenebilir. Bunun yanında yörünge analizi sayesinde, seyahat eden siklonların seçilmiş daha küçük bir alanı ne kadar ziyaret ettiği, hangi bölgelerden geçerek hareketlerine devam ettikleri gibi bilgiler ortaya çıkarılabilir. Bunun için yörüngelerin oldukça kesin bir şekilde hesaplanmış olması gerekir. Bu çalışmada kullanılan yörünge tespit yöntemi her ne kadar tam sağlıklı olmasa da, frekans haritalarının çıkarılmasında kayda değer bir hataya neden olmayacaktır. Çünkü dairesel alanda arama yöntemi ile bazı siklon yörüngelerinin düğümleri tespit edilememiş bile olsa, bir sonraki zaman diliminde yeni başlayan bir siklon olarak tanınmaya devam edecektir. Fakat şu andaki veriler ile siklonların başlangıç konumları üzerine herhangi bir istatistiksel çalışma yapmak mümkün değildir. Böyle bir çalışma için, siklon yörüngelerinin tam ve hatasız olarak belirlenmesi gerekir.

4.1 Öneriler

Siklon projesi, her ne kadar çalışıyor ve frekans haritalarının çıkarılmasında kullanılmış olsa da üzerinde hala yapılabilecek birçok geliştirme seçenekleri mevcuttur. Buna ek olarak, tespit edilen siklonların birbirlerine uzaklıklarına göre elenmesi sonucu elde edilen elenmiş siklon yüzdeleri ile eleme yarıçapı üzerinden çıkarılan bir grafik, siklon konumlarını tespit eden algorithmada hatalı bir noktanın olabileceği fikrini doğurmuştur.



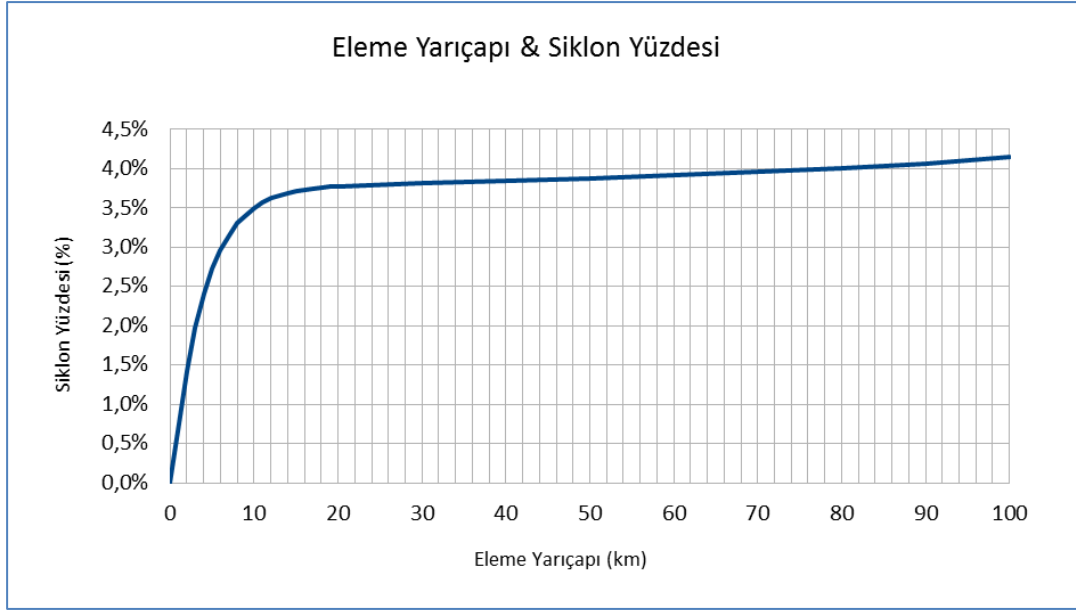
Şekil 4.2: Eleme Yarıçapı ve Elenen Siklonların sayısının bulunan toplam siklon sayısına yüzde olarak oranı (7000 km ‘ye kadar)

Şekil 4.2 ‘de 63 yıllık her saat için 1000mb seviyesi jeopotansiyel yükseklik verileri üzerinde tespit edilmiş siklon merkezlerinin, tanımlı bir yarıçap civarında kendisinden daha fazla jeopotansiyel yükseklik değerine sahip siklonların hesap dışı bırakılması sonucu elde edilmiş grafik görülmektedir. x-ekseni siklonlara uygulanan eleme yarıçapını, y-ekseni ise bu yarıçap dahilinde elenmiş siklonların tespit edilen toplam siklon sayısına yüzde olarak oranını göstermektedir. Bu grafikte dikkat çekici olan nokta, %5’lik eleme oranının hemen altındaki ani yükseliştir. Grafiğin bu kısmı Şekil 4.3 ‘de daha detaylı olarak gösterilmiştir.

Tespit edilmiş olan siklonların %3.5 kadarı ilk 10 ila 15 km ‘lik yarıçaplı bir alan içerisinde bulunmaktadır. Bu yüz siklondan 3.5 tanesinin birbirine 10 ila 15 km

mesafede olduğunu göstermektedir. Elimizdeki verilerin 2.5 derece uzaysal çözünürlüğe sahip olduğu düşünüldüğünde tespit edilen siklon konumlarında ve dolaylı olarak sayısında bir hata olma ihtimali kuvvetle muhtemeldir. Bu hata aslında siklon konum tespit algoritmasının kendisinden kaynaklanmaktadır. Bölüm 3.2.2 'de bahsedildiği üzere 3x3'lük bir ızgara içerisinde bir merkez bulunsa dahi, siklon arama işlemi bir sonraki düğümden devam etmektedir. Bu durumda bir grid noktası yakınında minimum nokta tespit edildiğinde, bir sonraki düğüm noktasına geçilirse, minimum noktanın da bir sonraki 3x3'lük ızgara içerisinde olma ihtimali büyüktür. Bu durumda bir sonraki ızgara değerleri kullanılarak aynı minimum nokta çok küçük bir mesafe farklıyla tekrar tespit edilebilir. Oysa bu minimum nokta bir önceki 3x3'lük ızgara içerisinde tespit edilmiştir. Yani, mevcut algoritma bulnan bir alçak basınç merkezinin tekrar bulunmasına yol açan eksik bir algoritmadır. Alpert ve diğ. (1990) çalışmasında bu nedenle 500x500 km'lik bir alanda başka herhangi bir siklon mevcudiyeti konusunda arama yapmış, ve yüksek değere sahip siklonu elemiştir. Çünkü bu alan içerisinde bulunan her iki siklon merkezi aslında aynıdır ve Alpert ve diğ. (1990) daha düşük jeopotansiyel yükseklik değerine sahip siklon merkezini gerçeğe daha yakın olarak kabul etmişlerdir. Bu durumda Alpert ve diğ. (1990) 'nin takip ettiği yöntem izlenebileceği gibi, bulunan siklonların ızgara düğümlüne yakınlık derecesine göre de eleme yapılabilir. Çünkü parabolik interpolasyon uygulandığı için, birbirine çok yakın herhangi iki siklon merkezinden ızgara düğümlüne daha yakın olan merkezi gerçek kabul etmek de mantıklı bir yaklaşımdır. Izgara düğümlüne eşit mesafe durumunda ise aslında aynı olan merkezlerin yükseklik değerlerine bakılarak her hangi birisi tercih edilebilir.

Bu bölümde elde edilen sonuçlar 300 km'lik bir eleme yarıçapı kullanılarak bulunan 845977 adet siklondan %5.16'sı elenerek filtrelenmiş sonuçlar kullanılmıştır. Alpert ve diğ. (1990) çalışmasında tespit ettiği siklonları 500x500 km'lik karesel bir alanda elemeye tabi tutmuş ve bu siklonların yaklaşık %6' sının elendiğini belirtmiştir. %6 değeri bizim bulduğumuz %5.16 değerine her ne kadar yakın olsa da, Şekil 4.3 'den görüleceği üzere, elenen siklonların %3.5 kadarı aslında ilk 10 km içerisinde elenmektedir.



Şekil 4.3: Eleme Yarıçapı ve Elenen Siklonların sayısının bulunan toplam siklon sayısına yüzde olarak oranı (100 km ‘ye kadar)

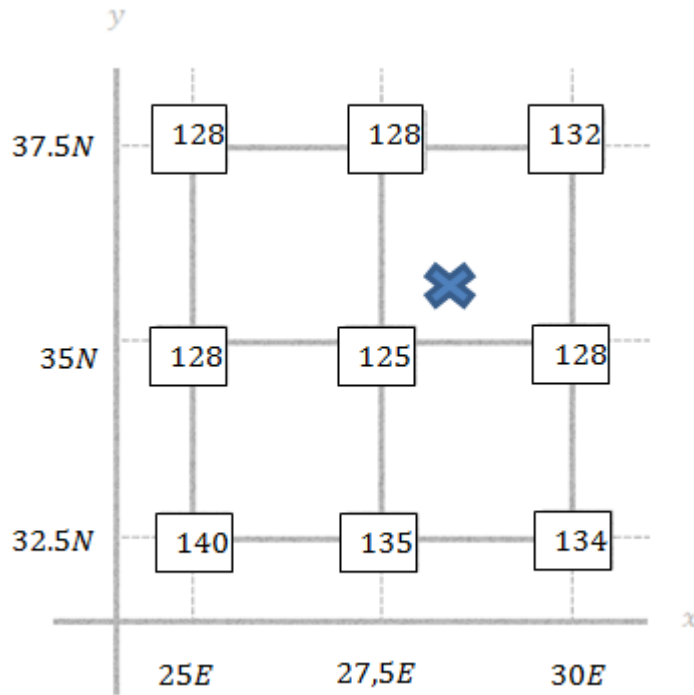
Bu sonuca göre, grafikten de görüleceği üzere elenen siklon yüzdesinin %3.5 değerine karşılık gelen 10 ila 15 km’lik yarıçaplı bir eleme işlemi aslında aynı olan bir çok siklon çiftinin tek’e indirilmesi için yeterli bir mesafedir. Burada yapılan çalışmada 300 km’lik yarıçaplı dairesel bir eleme yarıçapı kullanılmıştır ve bu algoritmadan kaynaklanan çifte siklon tespit hatasını tamamen ortadan kaldırmak için yeterli bir mesafedir.

Tüm bunlara ek olarak, bu hata kaynağı frekans hesaplama gibi istatistiksel çalışmalarda hataya yol açmayacaktır. Çünkü aslında yanlış tespit edilen siklon merkezleri bu eleme esnasında bertaraf edilmişlerdir. Bu hatalı hesaplama yöntemi, sadece eğer ısınma ve mahalli etkilerden kaynaklı siklonların yüzdesini öğrenmek istediğimizde yanlış sonuçlar verecektir.

Daha önce de bahsedildiği gibi bu çalışmada 1 saatlik zamansal çözünürlüğe sahip jeopotansiyel yükseklik veri setleri üzerinde bir önceki zaman dilimi üzerinde dairesel bir alanda en yakın siklon merkezi aranmış, eğer bulunduyorsa, mevcut zaman dilimindeki siklon ile birleştirilmiş ve bu siklonun devamı olduğu varsayılmıştır. İlk başta siklon hareketlerinin maksimum 80 km/h ile 100 km/h hızı geçmeyeceği varsayımı altında bu yöntem benimsenmiştir. Fakar 6 saat zamansal çözünürlüğe sahip verilerin doğrusal interpolasyon ile 1 saate düşürülmesi sonucu elde edilen veri setleri üzerinde yapılan incelemelerde siklon merkezlerinin bir saatte 200 km ‘ yi

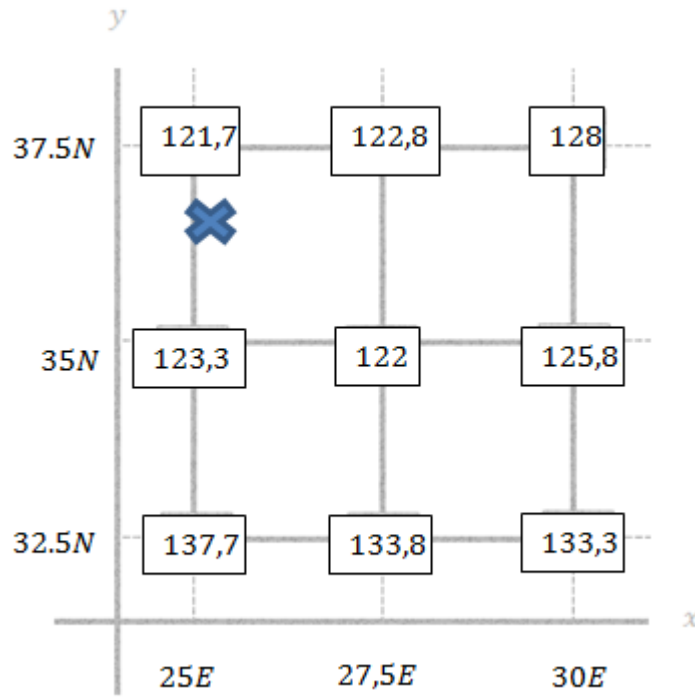
aşan mesafeler katettikleri görülmüştür. Bu nedenle siklonları bir önceki zaman diliminde dairesel alanda arama işlemine tabi tutup birbirlerine iliştime yöntemi çok faydalı sonuçlar vermeyecektir. Dairesel alanın yarıçapı çok geniş tutulduğunda birbiri ile aslında ilişkili olmayan siklonların ilişkilendirme tehlikesi vardır. Eğer yarıçap çok küçük tutulursa da bu sefer gerçekten bir öncekinin devamı olan siklonun kaybedilme ihtimali ortaya çıkacaktır.

Yöntem kısmında bahsedildiği üzere, siklonun hareket yönünü tayin edebilmenin en sağlıklı yolu, siklonun bulunduğu 3x3'lük ızgara üzerinde bir sonraki zaman diliminde aynı ızgara koordinatlarındaki jeopotansiyel yükseklik değerleri kullanılarak yüzey tandas denkleminin çıkartılıp, negatif gradyanının nümerik olarak hesaplanması olacaktır. Tabi bu hesaplama siklonun bulunduğu nokta üzerinde yapılmalıdır. Bu hesaplama sonucu bize siklonun hareket edeceği, tandansın negatif ve en düşük olduğu noktaya olan yerdeğiştirme vektörünü verecektir. Bu tandans vektörü, bir sonraki zaman dilimi için siklonu hangi yönde arayacağımızı gösteren çok değerli bir bilgidir. Yörüngeleri oluşturmak üzere siklon ilişkilendirme işlemi böyle bir yöntemi takip etmelidir. Burada bahsedilen süreç Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 'da açıklanmıştır.

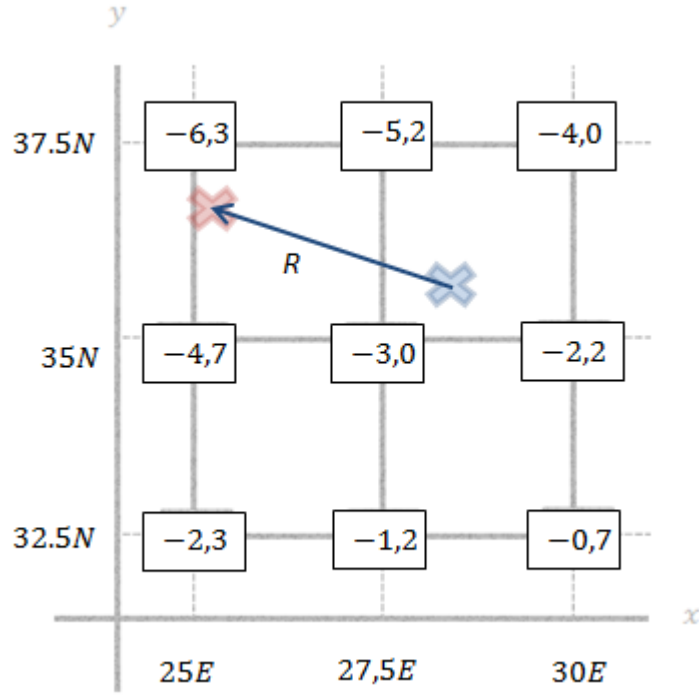


Şekil 4.4: t=0 anında sistemin durumu

Şekil 4.4 3x3'lük ızgaranın $t=0$ anındaki jeopotansiyel değerlerini göstermektedir. Aynı enlem ve boylamdaki ızgaranın $t=1$ anındaki jeopotansiyel değerleri ise Şekil 4.5 'de görüldüğü gibidir. $t=0$ anındaki ilk sistemden $t=1$ anındaki sistemi çıkarttığımızda ızgara düğümleri üzerinde 1 saatlik basınç değişim değerleri olan tandans değerlerini elde ederiz. Izgara içerisinde bulunmuş olan alçak basınç merkezi $t=0$ durumundaki konumundan $t=1$ 'de işaretli olan konuma 1 saat içerisinde hareket etmiştir. Tandans değerleri incelendiğinde alçak basınç merkezinin negatif tandanslara doğru hareket ettiği açıkça görülmektedir. Fakat burada R vektörünün tam olarak yönünü ve büyüklüğünü bilmek önemlidir. Bunu bulabilmek için düğüm noktalarındaki tandans değerlerin göz önüne alınarak Şekil 4.6 'daki sistemin yüzey denkleminin bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu yüzey denklemi ilk iki sistem üzerinde uygulanan kuadratik yüzey denklemlerinin farkına eşittir.



Şekil 4.5: $t=1$ anında sistemin durumu



Şekil 4.6: t=0 ile t=1 sistemleri arasındaki fark (tandans değerleri)

Yukarıda matığı açıklanmaya çalışılan yöntem ile ilgili burada ayrıntıya girilmeyecektir. Fakat bu yöntemin siklon merkezlerinin takip edilmesi hususunda kesin ve oldukça yararlı bir yöntem olacağı kanısındayım. Çünkü bu yöntem yine daha önce bahsedildiği gibi sadece jeopotansiyel yükseklik değerlerine bağlı olacaktır.

Alçak basınç merkezlerinin tam olarak tespitine mani olan bazı özel durumlar söz konusudur. Örneğin, alçak basınç merkezinin bulunmasının muhtemel olan bir alan da merkez ve civarındaki jeopotansiyel dağılışının tam olarak parabolik olmadığı ve kuadratik bir yüzey fonksiyonu ile ifade edilemediği durumlar söz konusu olabilir. Bu duruma verilecek en uygun örnek, tabanı düz fakat genel itibariyle çukur olan tabak formundaki bir yapıdır. Bu tür özel durumların incelenip, onlar için özel çözümler üretilmesi gerekmektedir.

Yine yörünge tayininde, tandans vektörü doğrultusunda arama yapılacak olmasına rağmen, alçak merkezlerin zaman içinde 2' ye ya da daha fazla merkeze ayrıldığı durumlar söz konusu olacaktır. Fakat bu dallanma durumu 2.5 derecelik çözünürlük için muhtemelen 2 rakamını geçmeyecektir. 2.5x2.5 derecelik her bir sektörde sadece bir tek alçak basınç merkezi bulunabileceği için, tandans vektörü doğrultusu civarında herhangi bir komşu 2.5x2.5 derecelik başka bir sektörde siklon merkezi

tespit edilmelidir. 2.5x2.5 derece yaklaşık 500x50 km’lik bir karesel alana denk geldiği için hareket halindeki bir siklonun dallanmasını yakalamak için oldukça büyük bir alandır. Fakat yine de ihtimal dâhilindedir. Bu gibi bir durum da yine arama vektörü doğrultusunda bir alçak merkez bulunamaz ise, aynı yönte bir α açısına sahip daire kesiti içerisinde arama işlemi yapılarak bu sorun bir nebze aşılabilmektedir. Fakat sistemin uzaysal çözünürlüğü düşünüldüğünde bu tip ayrılmaların çok fazla olmayacağı olsa bile 2’ye ayrılmalar şeklinde gözleneceği varsayılabilir.

Yukarıda bahsedilen önerilere ek olarak, bu çalışmanın siklon merkezlerinin sayısını, konumlarını ve yörüngelerini sadece tespit etmenin yanında tahmin unsurlarını da içerecek şekilde geliştirilmesinin önü oldukça açık görülmektedir. Siklon sayılarının tahmin edilmesine yönelik Markov Modellerini kullanan istatistiksel çalışmalar yapılmıştır (Şen ve Koçak, 1999). Kaotik süreç yöntemleri kullanılarak alçak basınç merkezlerinin nereye hareket edecekleri konusunda tahmin çalışmaları yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Alpert P., Neeman B. U. ve Shay-el Y.** 1990. Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data [Dergi] // *Tellus*. - s. 65-77.
- ARL HYSPLIT** - Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model [Çevrimiçi] // Air Resource Laboratory. - alındığı tarih 14 09 2011. - <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>.
- Bell G. D. ve Bosart L. F.** 1989. A 15-year climatology of Northern Hemisphere 500-mb closed cyclone and anticyclone centres [Dergi] // *Meteorol. Zeit.* - s. 361-366.
- Blender R., Fraedrich K. ve Lunkeit F.** 1997. Identification of cyclone-track regimes in the North Atlantic [Dergi] // *Meteorological Society*. - s. 727-741.
- COLA** [Çevrimiçi] // Grid Analysis and Display System (GrADS). - alındığı tarih 14 09 2011. - <http://www.iges.org/grads/>.
- Gaffney, Scott. J.; Robrtson, Andrew W.; Smyth, Padharia; Camargo, Suzana J.; Ghil, Michael** 2007. Probabilistic clustering of extratropical cyclones using regression mixture models [Dergi] // *Climate Dynamics*. - [s.l.] : Springer Verlag, - s. 423-440.
- Gill, A. E.** 1982. Probabilistic clustering of extratropical cyclones using regression mixture models [Dergi] // *Atmosphere-ocean Dynamics*. - New York: Academic Press, 662p.
- Hanson C. E., Palutikof J. P. ve Davies T. D.** 2004. Objective Cyclone Climatologies of the North Atlantic - a comparison between the ECMWF and NCEP Reanalyses [Dergi] // *Climate Dynamics* - [s.l.] : Springer Verlag, - s. 757-769.
- Hodges K. I.** 1994. A general method for tracking analysis and its application to meteorological data. [Dergi] // *Mon. Weather. Rev.* - s. 676-679.
- Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gandin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G.; Woollen, J.; Zhu, Y.; Chelliah, M.; Ebisuzaki, W.; Higgins, W.; Janowiak, J.; Mo, K. C.; Ropelewski, C.; Wang, J.; Leetma, A.; Reynolds, R.; Jenne, Roy; Joseph, Dennis** 1996. The NCEP/NCAR 40 Year Reanalysis Project [Dergi] // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* - Cilt 77. - s. 437-471.
- Karaca Mehmet, Deniz Ali ve Tayanç Mete** 2000. Cyclone Track Variability over Turkey in Association with Regional Climate [Dergi] // *International Journal of Climatology*. - s. 1225-1236.

- Koenig W., Sausen R. ve Sielmann F.** 1993. Objective identification of cyclones in GCM simulations [Dergi] // *Journal of Climate*. - s. 2217-2231.
- Lambert S. J.** 1988. A Cyclone Climatology of the Canadian Climate Centre General Circulation Model [Dergi] // *J. Climate*. - s. 109-115.
- Maheras, P.; Flocas, H. A.; Patrikas, I.; Anagnostopoulou, Chr.** 2001. A 40 year objective climatology of surface cyclones in the Mediterranean region: Spatial and temporal distribution [Dergi] // *International Journal of Climatology*. - s. 109-130.
- Murray Ross J. ve Simmonds Ian** 1991. A Numerical Scheme for tracking cyclone centres from digital data Part I: Development and operation of the scheme [Dergi] // *Aust. Met. Mag.*.
- RLH Mathematics Source Library C & ASM** [Çevrimiçi] // webtrellis.net. - RLH, 2004. - alındığı tarih 02 05 2011. - http://mymathlib.webtrellis.net/optimization/nonlinear/one_dim/parabolic_interpolation.html.
- Sezen İsmail** 2010. Siklon Projesi [Çevrimiçi] // i.sezen Proje Sitesi. - alındığı tarih 02 05 2011. - <http://dev.isezen.com/projects/siklon>.
- Sinclair Mark R.** 1994. An Objective Cyclone Climatology for the Southern Hemisphere [Dergi] // *American Meteorological Society*. - s. 2239-2256.
- Şen Z. ve Koçak K.** 1999. Markov Models and Polygon Diagrams for Climatological Interperations of Cyclones and Anticyclones over the Northern Hemisphere [Dergi] // *Theor. Appl. Climatol.* - s. 233-242.
- Trigo Isabel F. ve Davies Trevor D.** 1999. Objective Climatology of Cyclones in the Mediterranean Region [Dergi] // *Journal of Climate*. - Cilt 12. - s. 1685-1696.
- Ueno K.** 1993. Inter-annual variability of surface cyclone tracks, atmospheric circulation patterns, and precipitation patterns in winter [Dergi] // *J. Meteorol. Soc. Japan*. - s. 655-671.
- Wallace John M., Lim Gyu-Ho ve Blackmon Mauris L.** 1988. Relationship between Cyclone Tracks, Anticyclone Tracks and Baroclinic Waveguides [Dergi] // *J. Atmos. Sci.* - s. 439-462.
- Wikipedia** Quadratic function [Çevrimiçi] // [Wikipedia.org](http://en.wikipedia.org/wiki/Quadratic_function). - alındığı tarih 02 05 2011. - http://en.wikipedia.org/wiki/Quadratic_function.
- Youtube** Cyclone Locations [Çevrimiçi] // Youtube. - Google inc.. - alındığı tarih 14 09 2011. - <http://www.youtube.com/playlist?list=PL559623FF998FA557>.
- Zevenbergen Lyle W. ve Thorne Colin R.** 1987. Quantitative Analysis of Land Surface Topography [Dergi] // *Earth Surface and Landforms*. - s. 47-56.

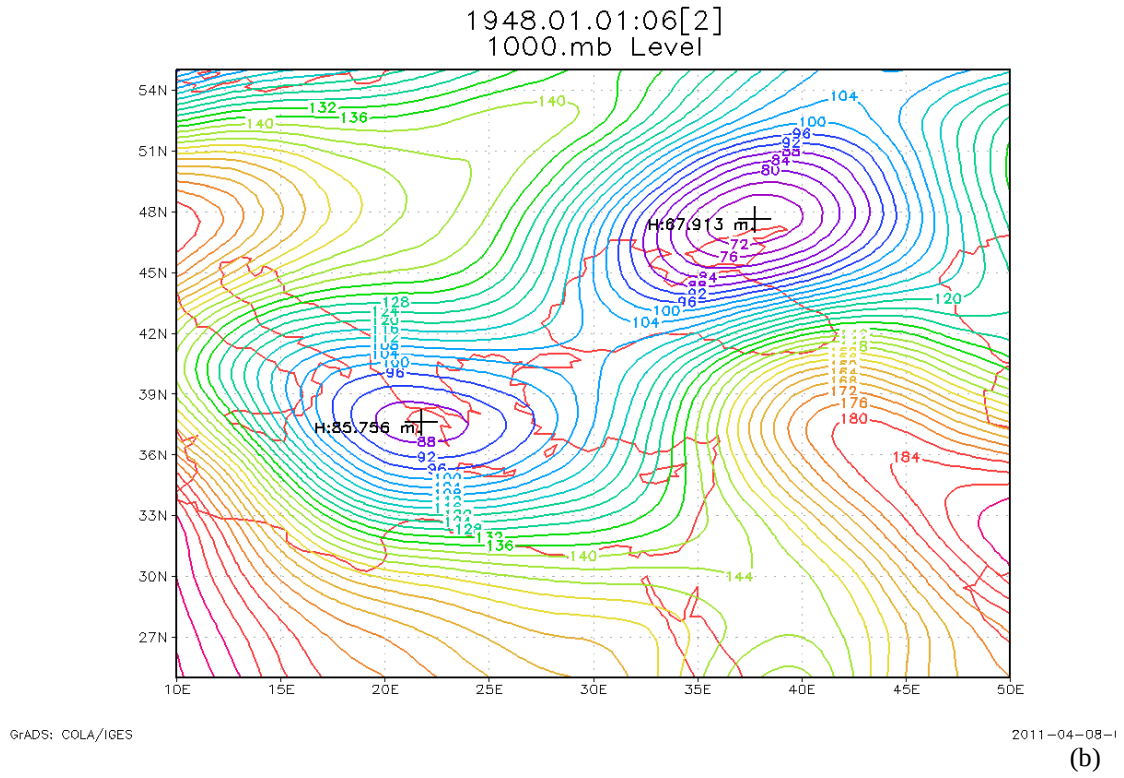
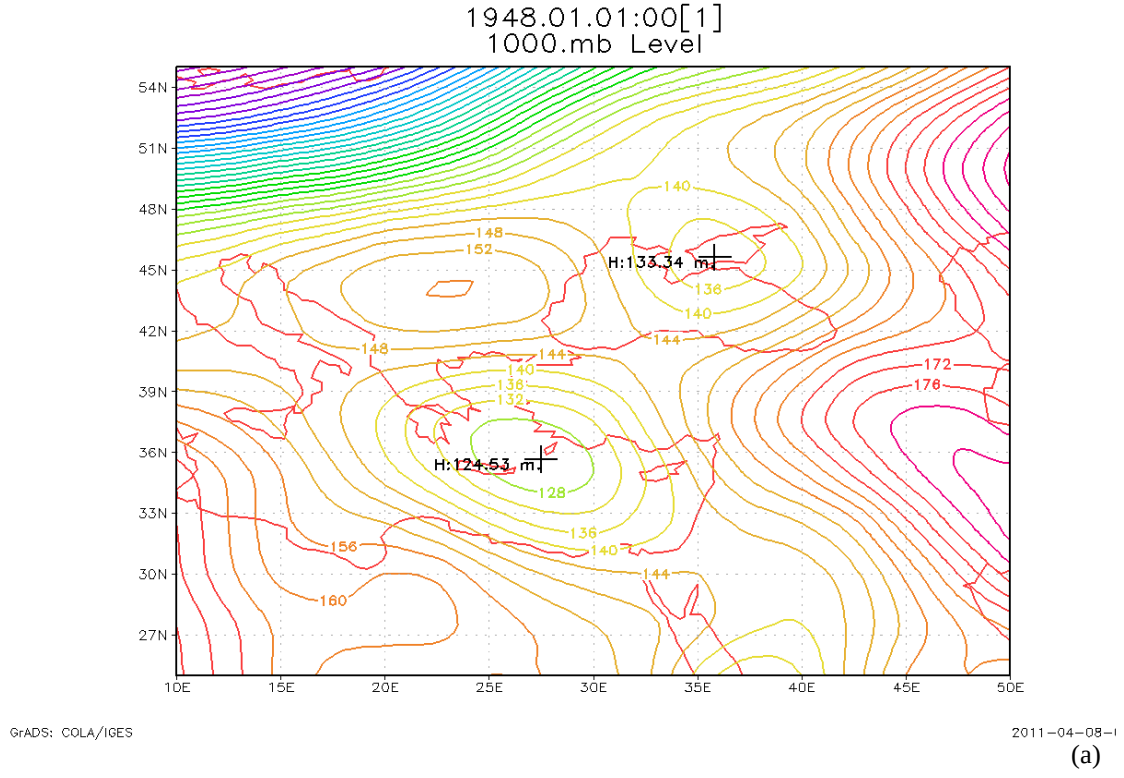
EKLER

EK A: 1000 mb seviye haritaları

EK B: 1000 km ve üstü yerdeğiştirmeye sahip siklon yörüngeleri ve frekansları

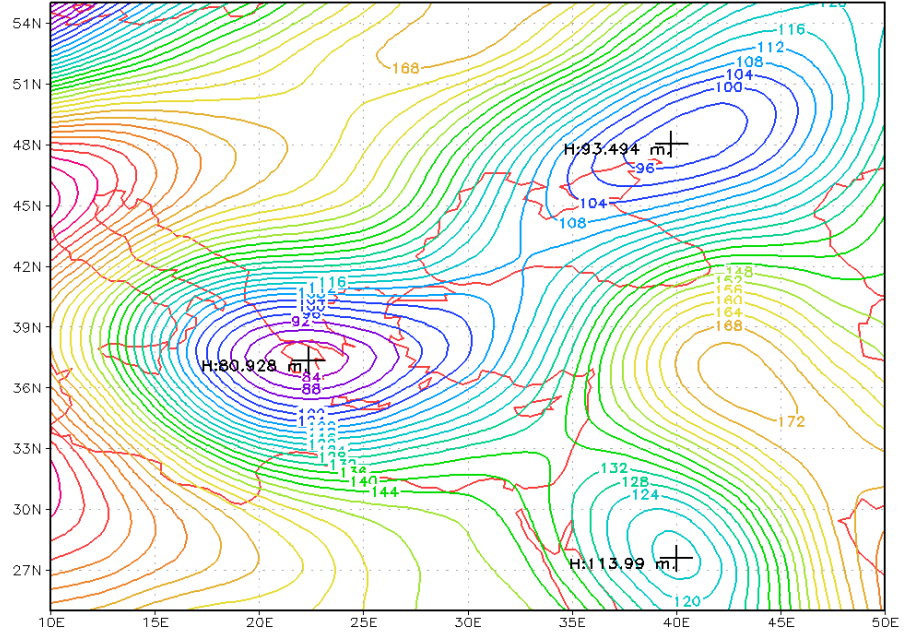
EK C: 1 saatten fazla sürmüş siklon yörüngeleri ve frekansları

EK A



Şekil A. 1: Siklon programı ile bulunmuş siklon merkezleri (1 Ocak,1948 & 2010)

1948.01.01:12[3]
1000.mb Level

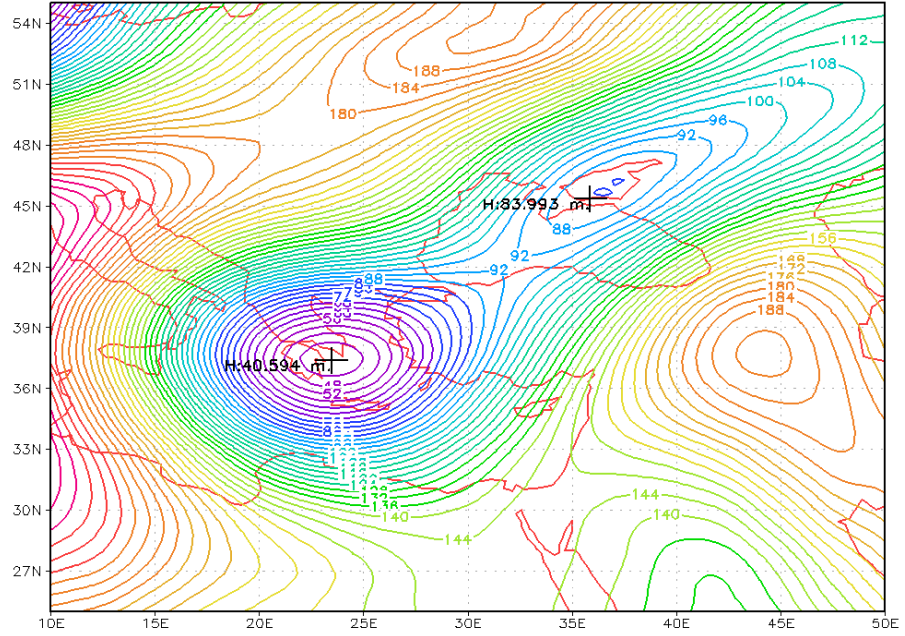


GrADS: COLA/IGES

2011-04-08-1

(c)

1948.01.01:18[4]
1000.mb Level

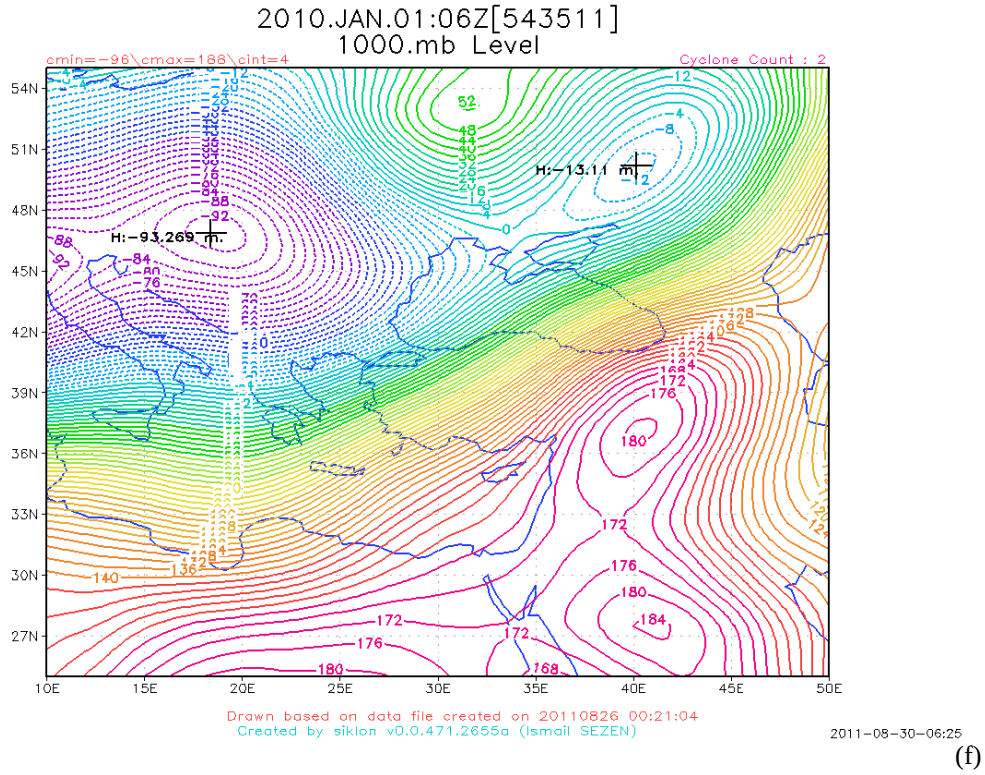
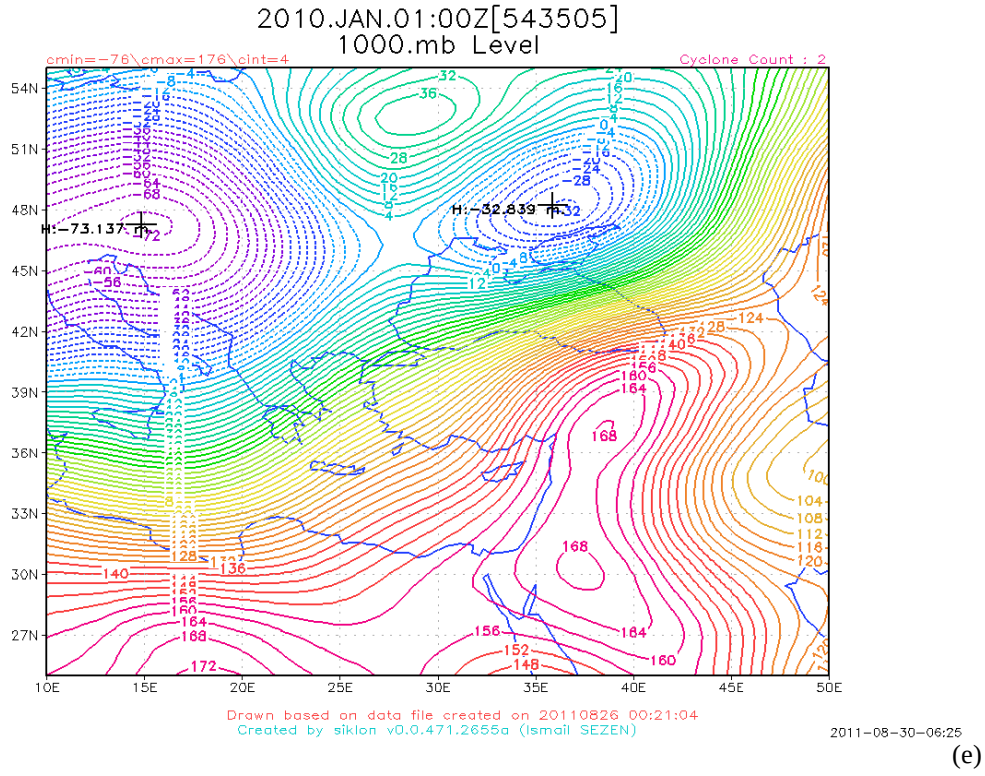


GrADS: COLA/IGES

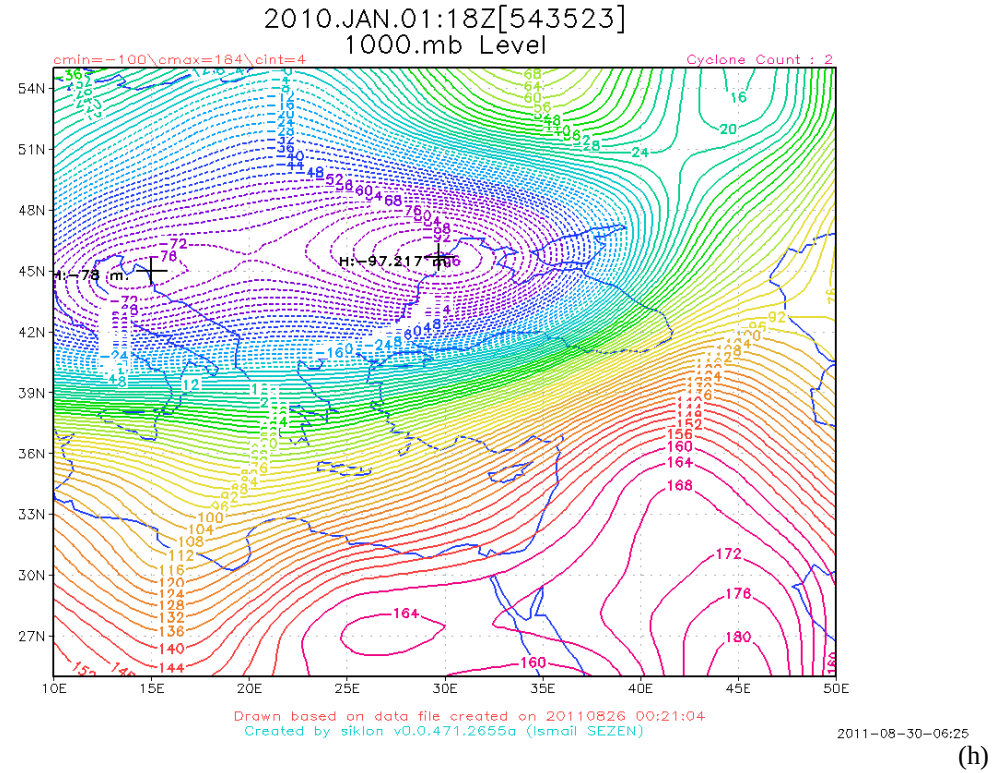
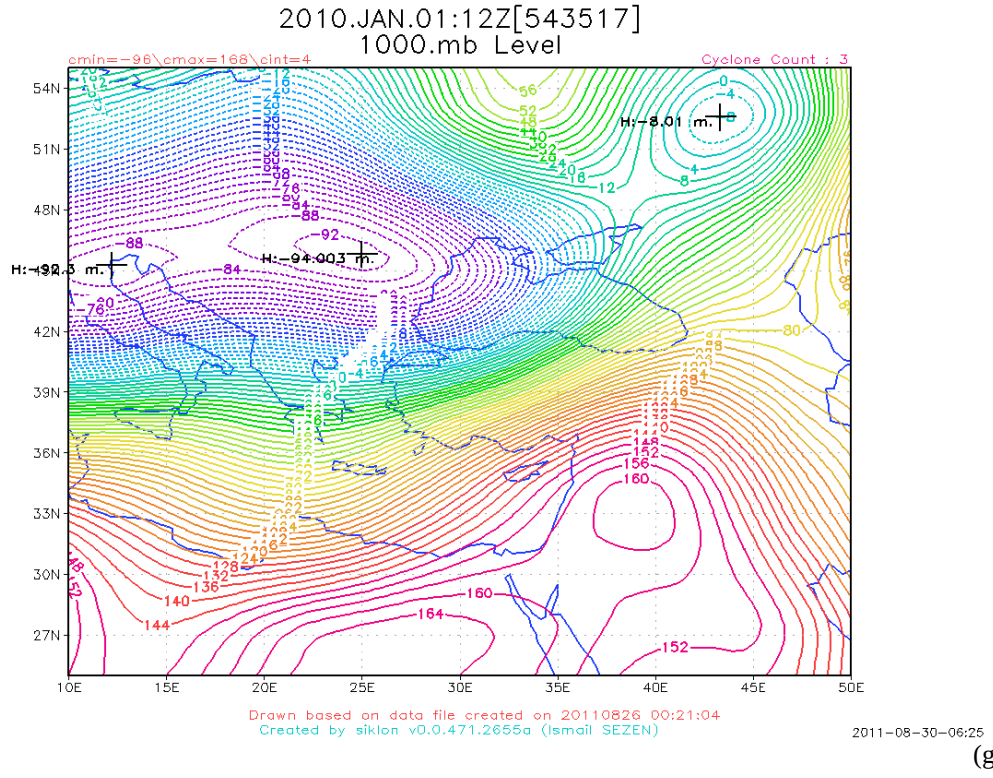
2011-04-08-1

(d)

Şekil A. 1:(devam) Siklon programı ile bulunmuş siklon merkezleri (1 Ocak,1948 & 2010)

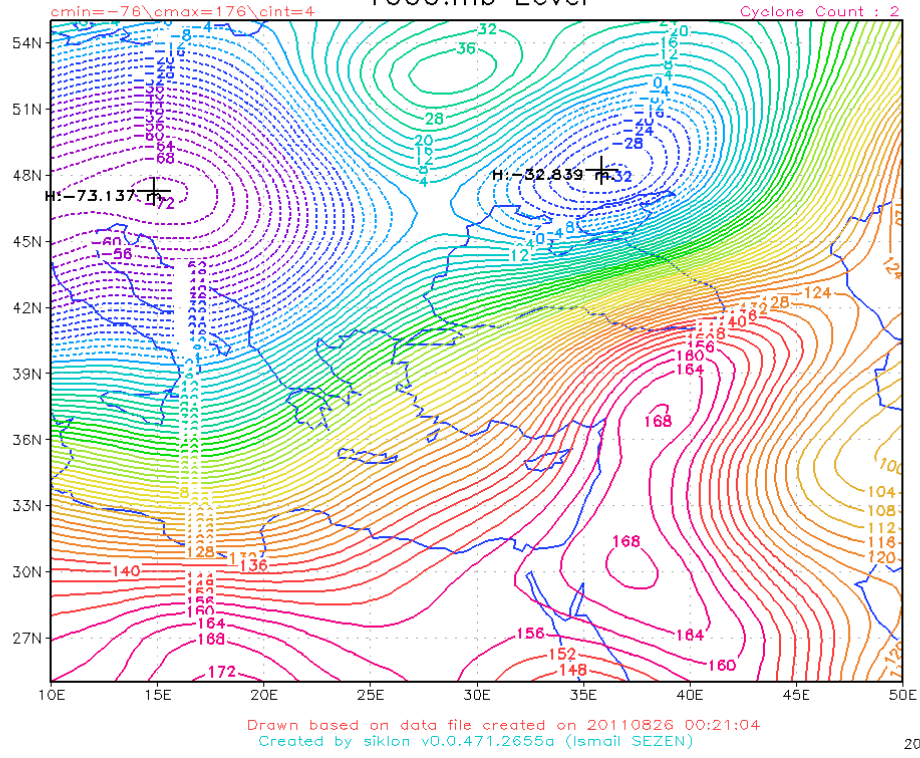


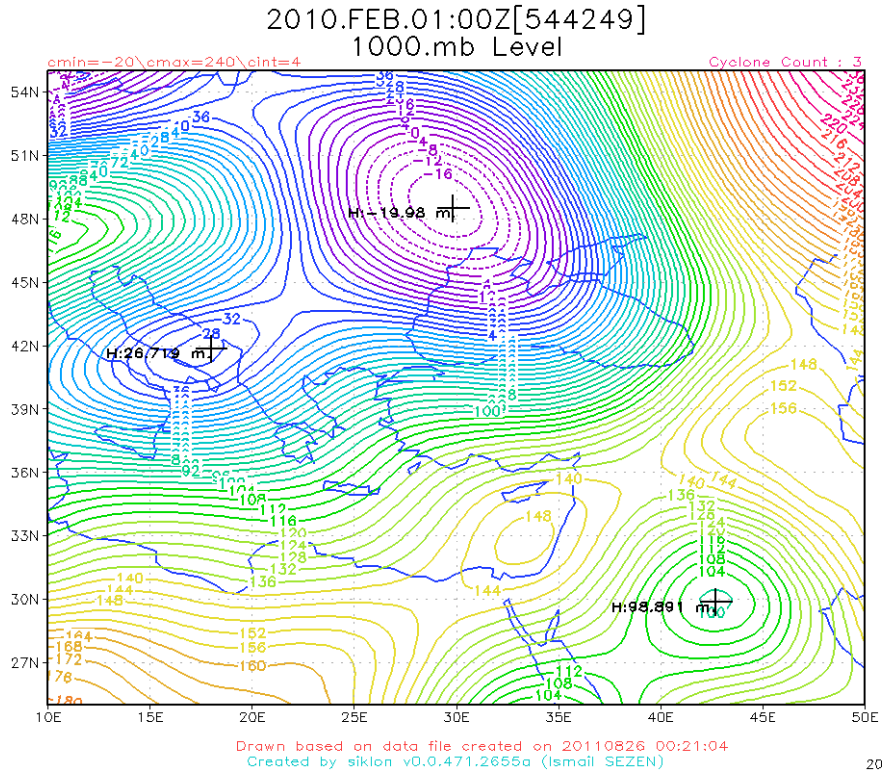
Şekil A. 1:(devam) Siklon programı ile bulunmuş siklon merkezleri (1 Ocak,1948 & 2010)



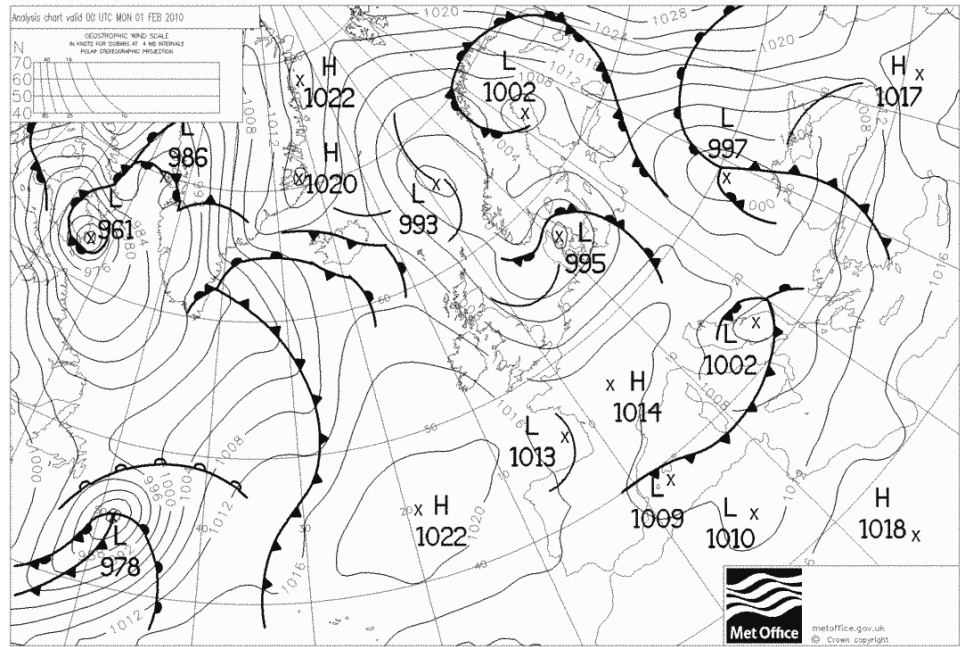
Şekil A. 1:(devam) Siklon programı ile bulunmuş siklon merkezleri (1 Ocak,1948 & 2010)

2010.JAN.01:00Z[543505]
1000.mb Level





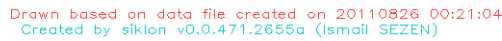
(c)



(d)

Şekil A. 2:(devam) 2010 ocak, şubat, haziran ve temmuz ayları için karşılaştırmalı haritalar

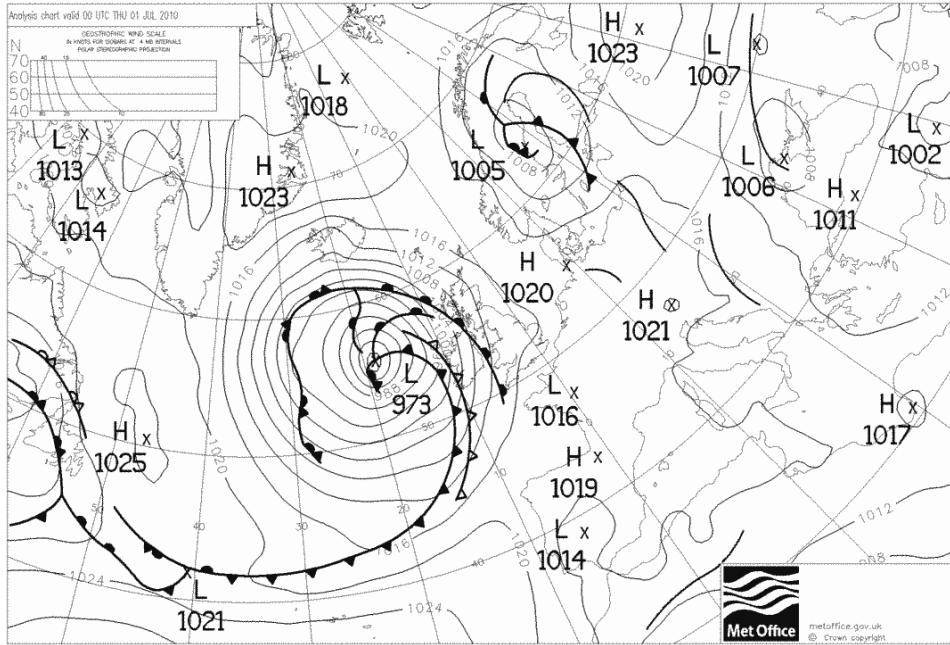
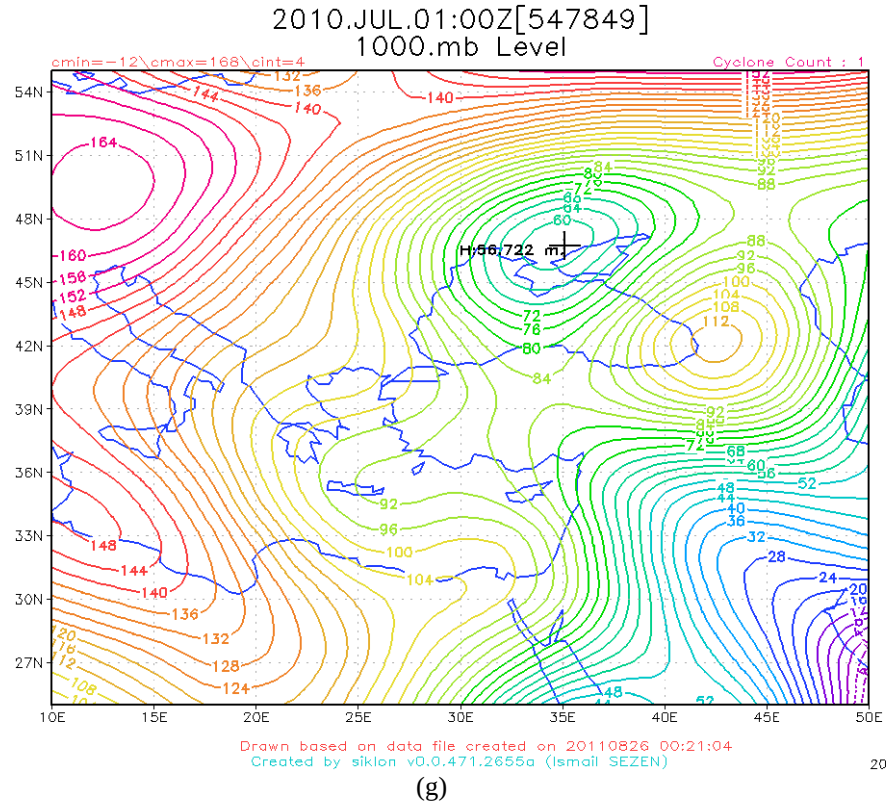
1000.mb Level



(e)

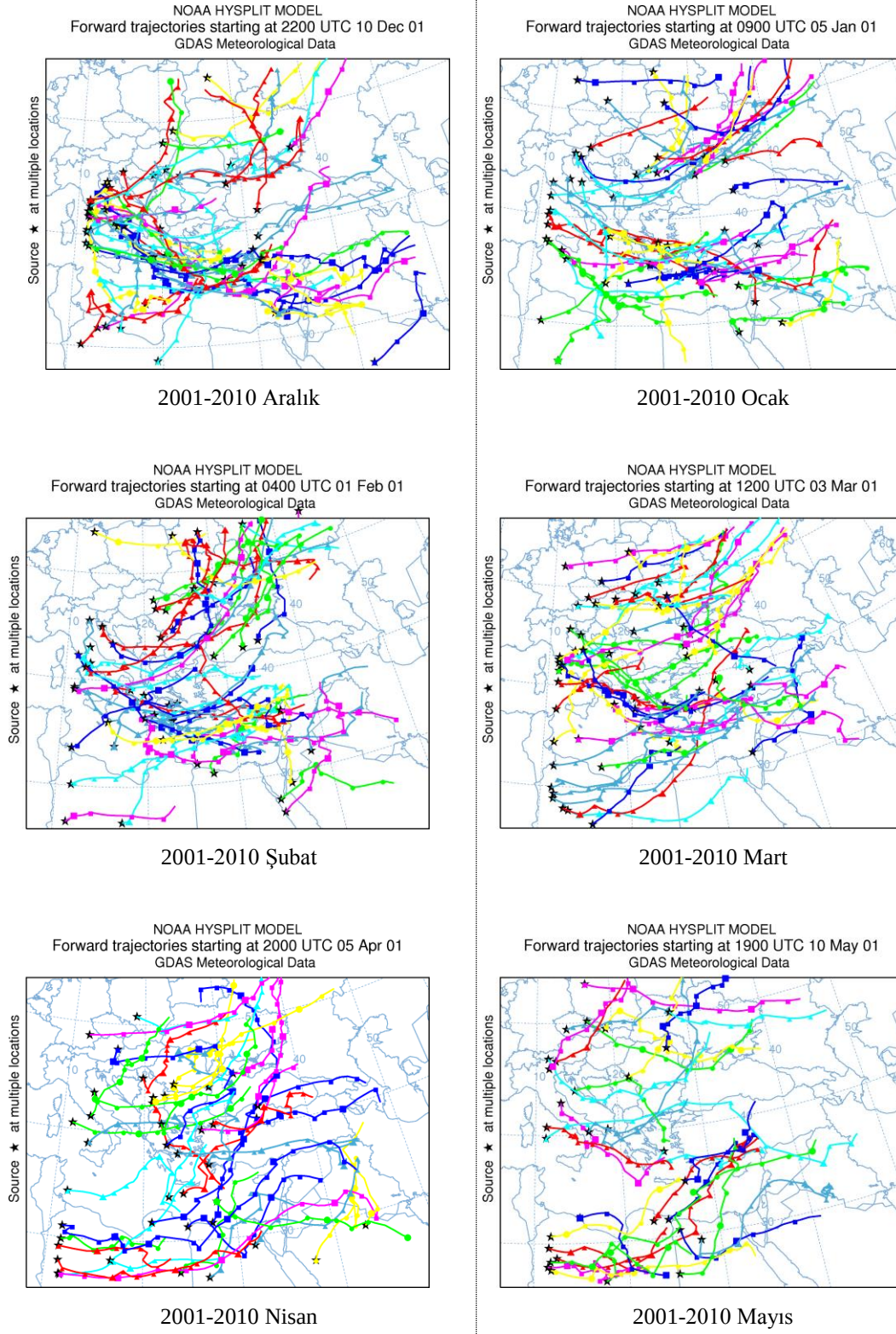


Şekil A. 2:(devam) 2010 ocak, şubat, haziran ve temmuz ayları için karşılaştırmalı haritalar

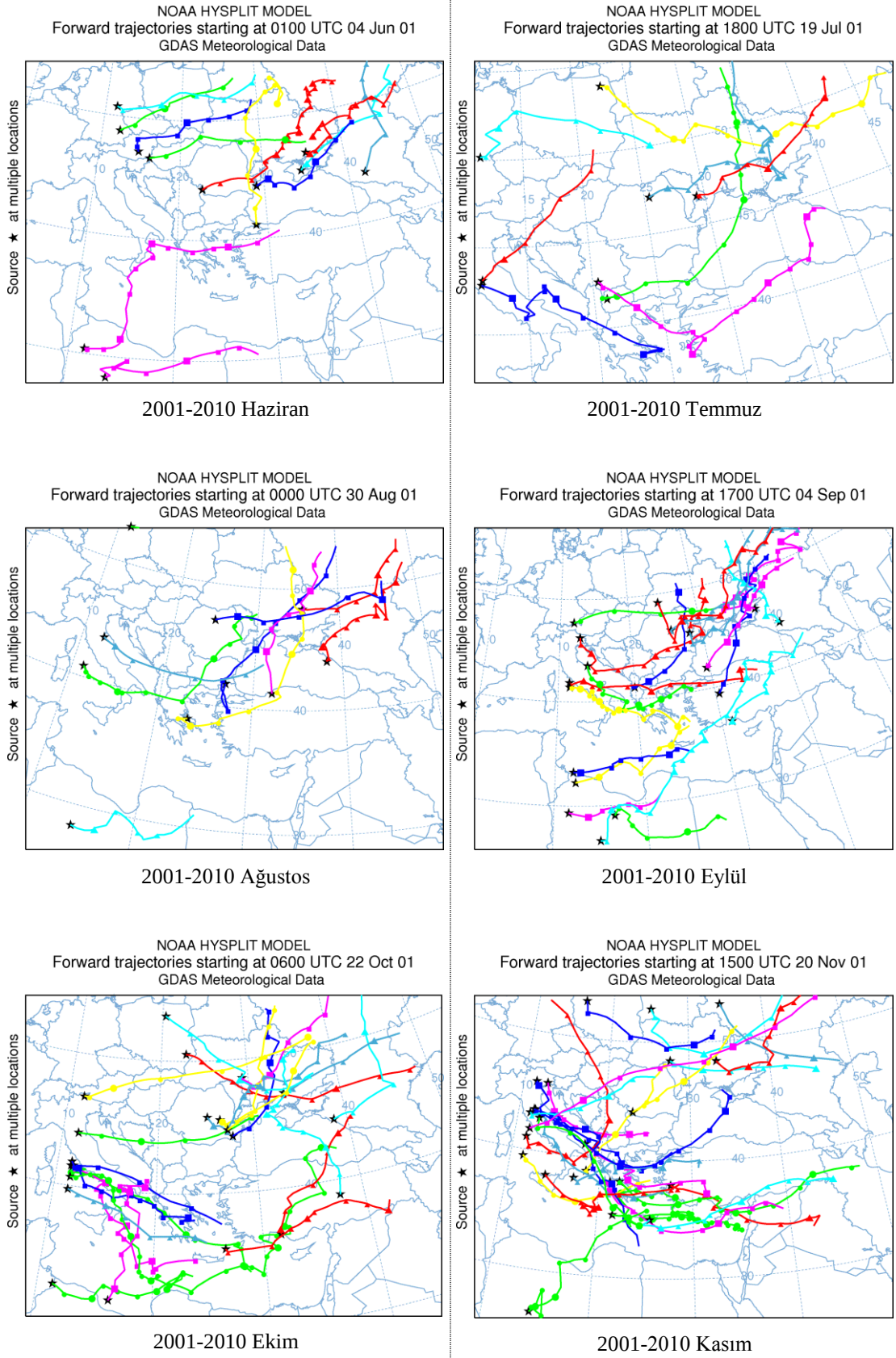


Şekil A. 2:(devam) 2010 ocak, şubat, haziran ve temmuz ayları için karşılaştırmalı haritalar

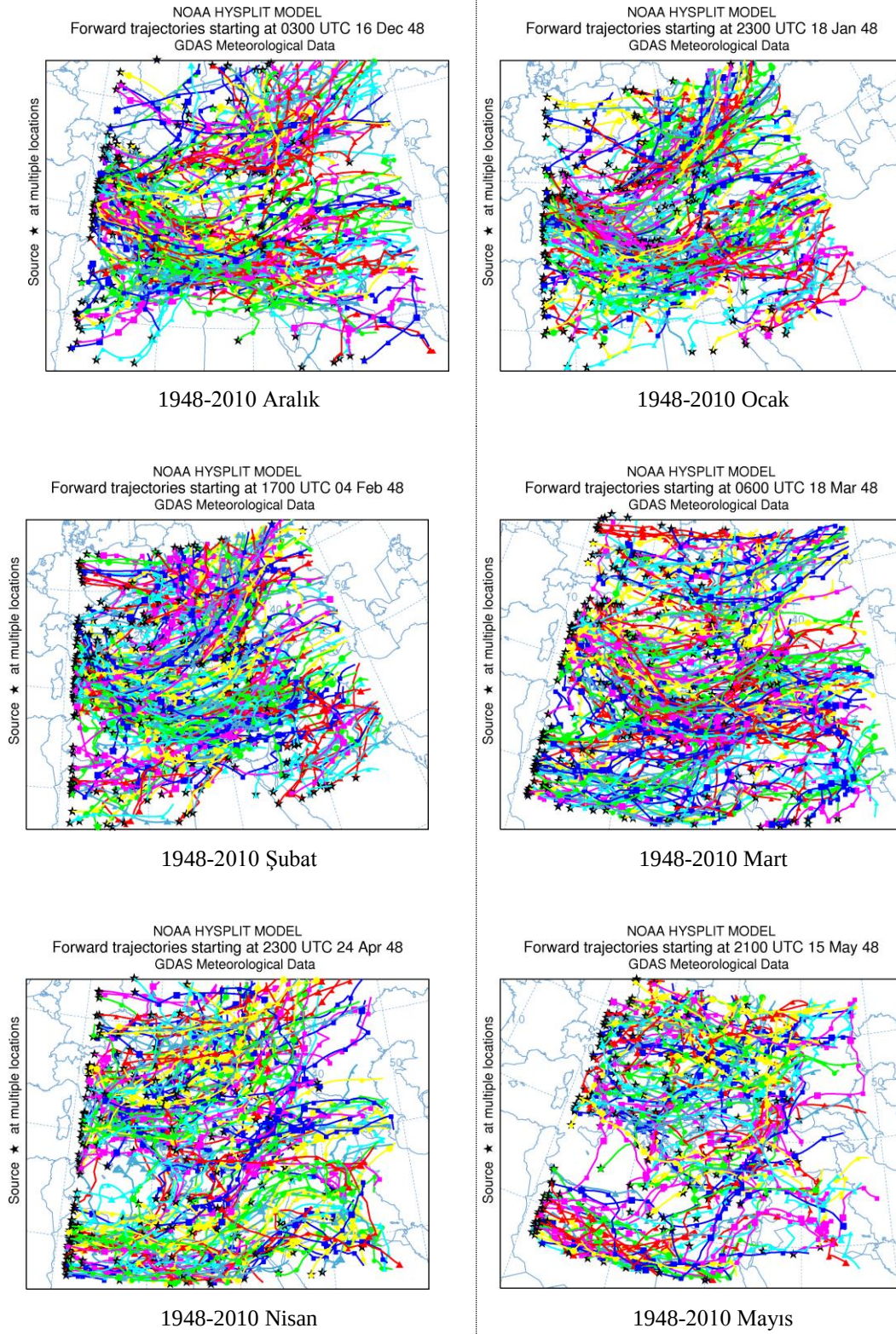
EK B



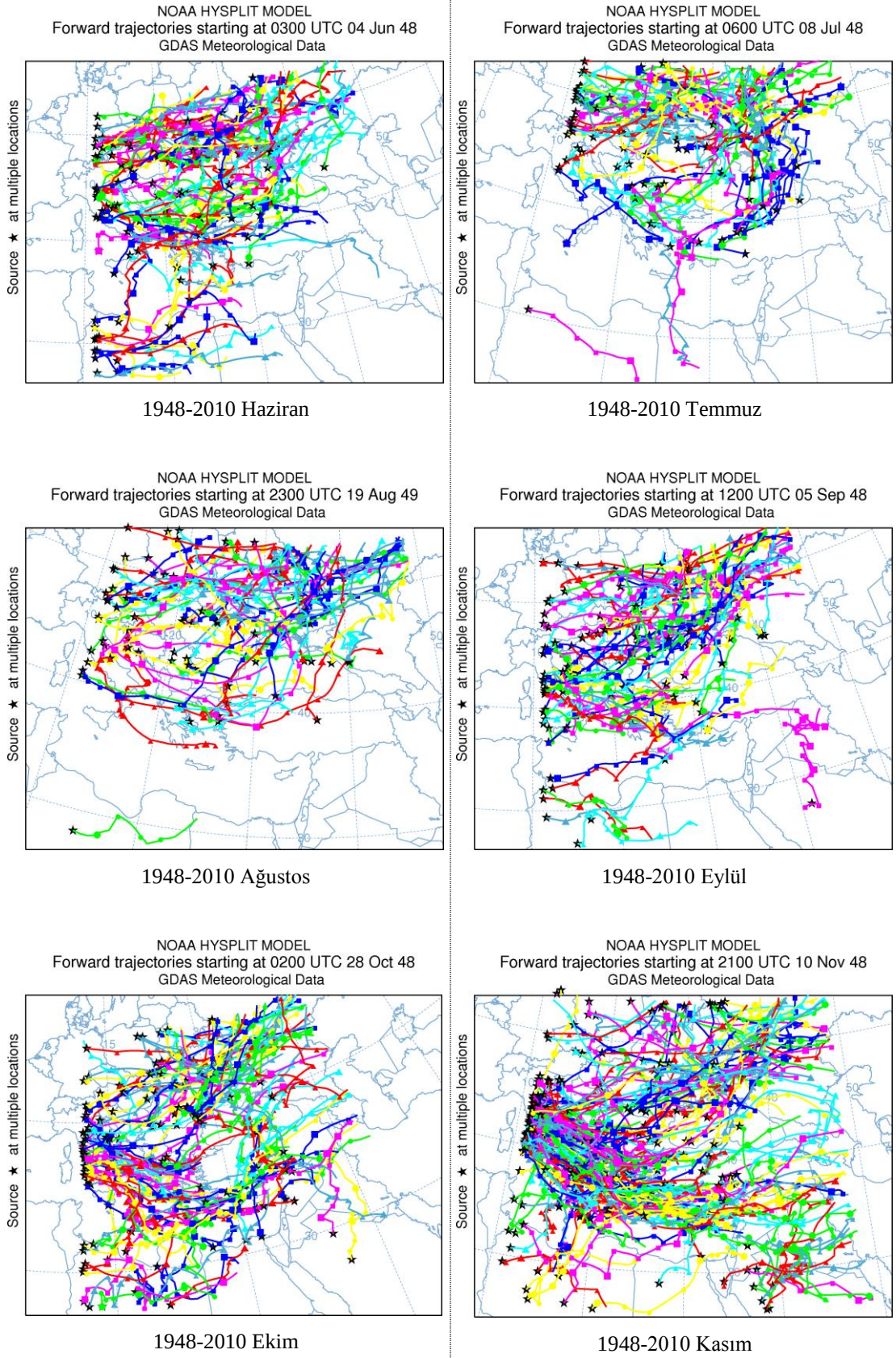
Şekil B. 1: 2001-2010 aylara göre 1000km'den fazla yerdeğiştirmeye sahip siklon yörüngeleri



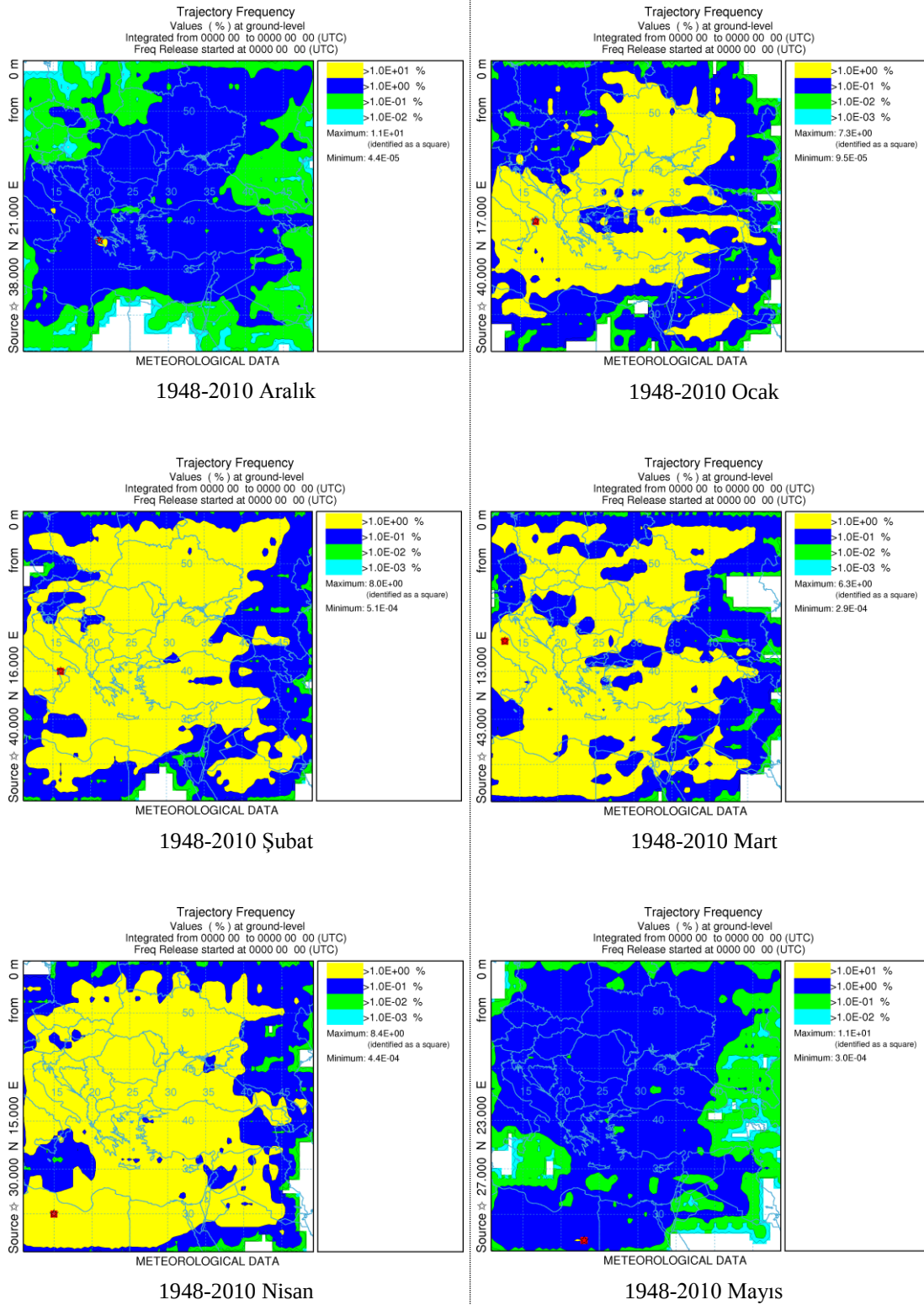
Şekil B. 1:(devam) 2001-2010 aylara göre 1000km'den fazla yerdeğiştirmeye sahip siklon yörüngeleri



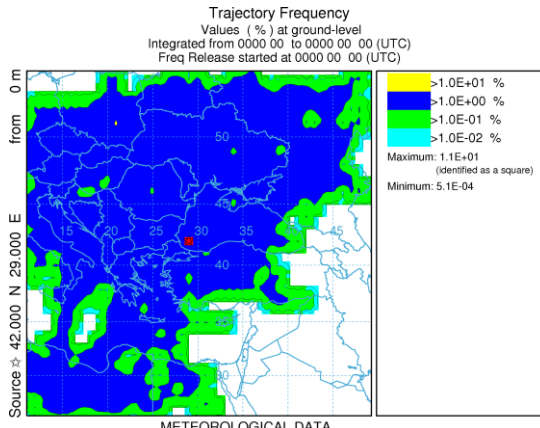
Şekil B. 2: 1948-2010 aylara göre 1000km'den fazla yerdeğiştirmeye sahip siklon yörüngeleri



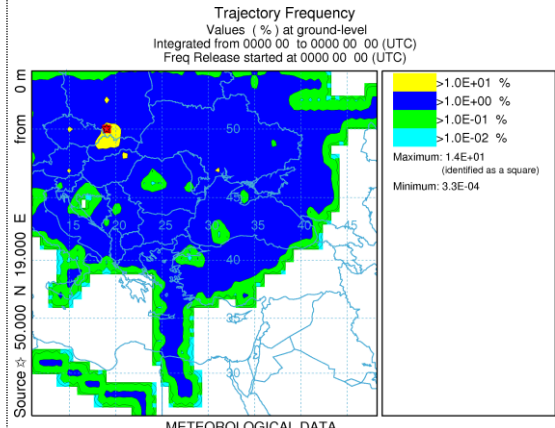
Şekil B. 2:(devam) 1948-2010 aylara göre 1000km'den fazla yerdeğiştirmeye sahip siklon yörüngeleri



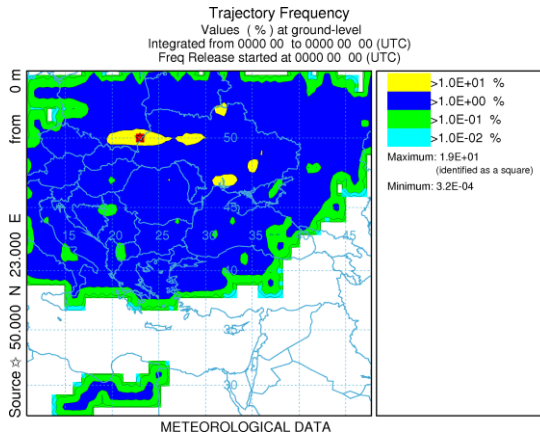
Şekil B. 3: 1948-2010 aylara göre 1000km'den fazla yerdeğiştirmeye sahip siklon yörüngelerine ait frekans haritaları



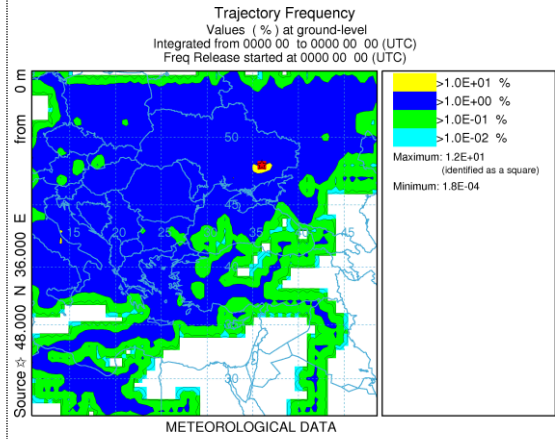
1948-2010 Haziran



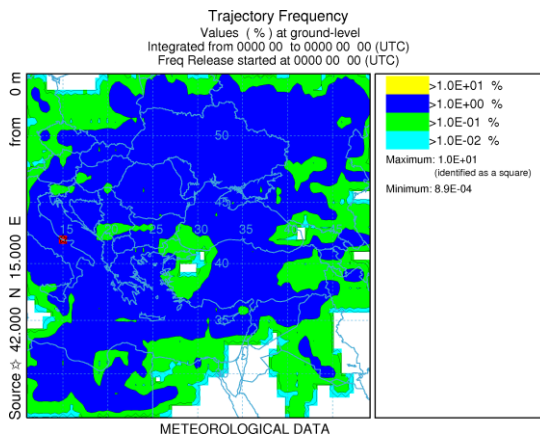
1948-2010 Temmuz



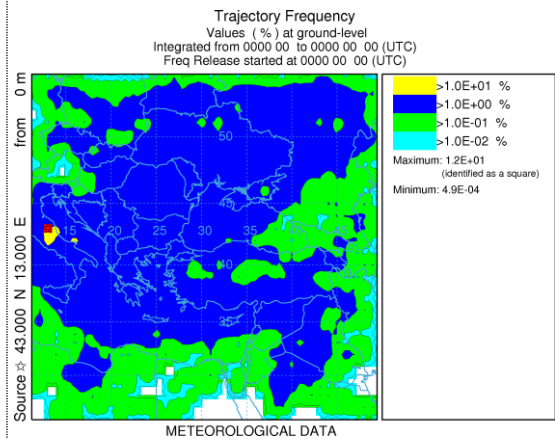
1948-2010 Ağustos



1948-2010 Eylül

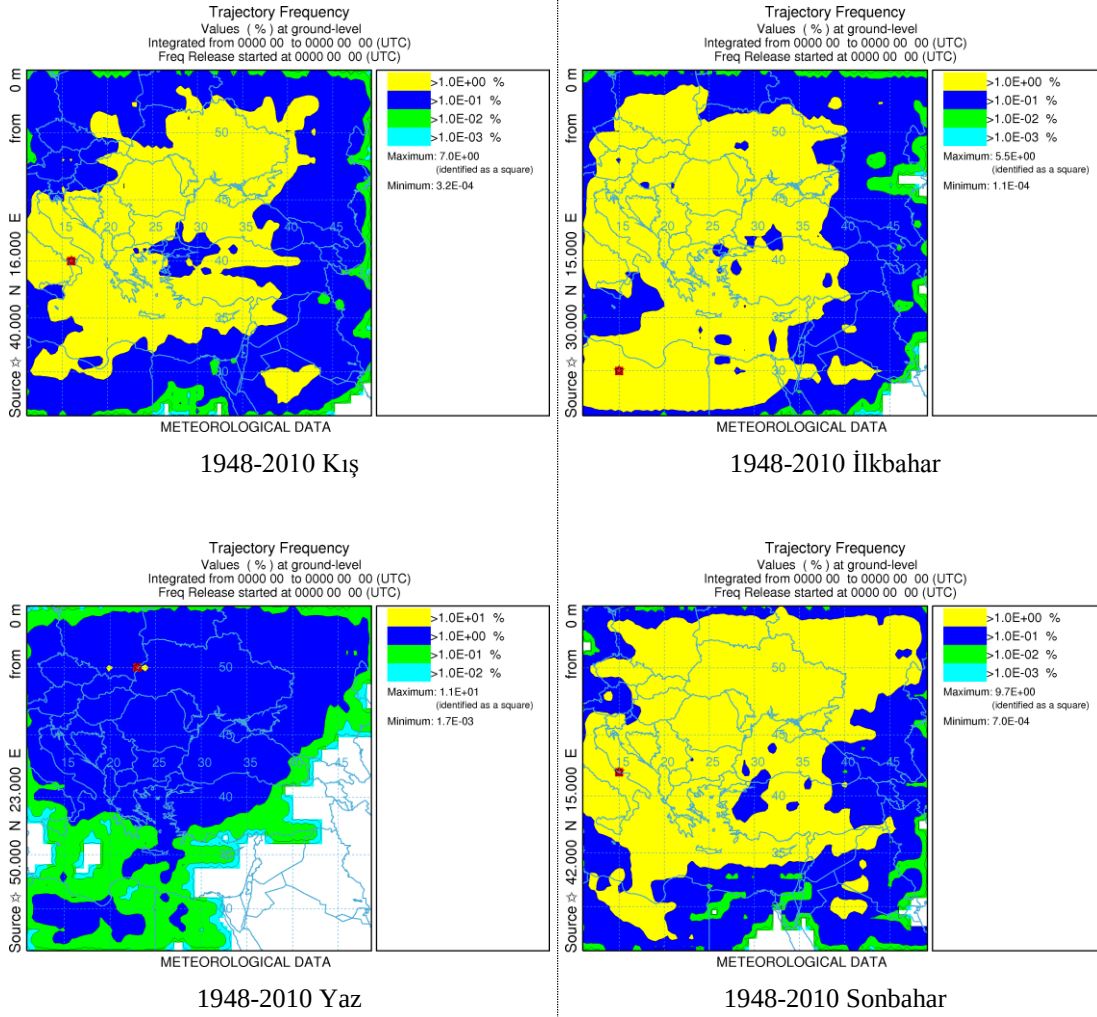


1948-2010 Ekim



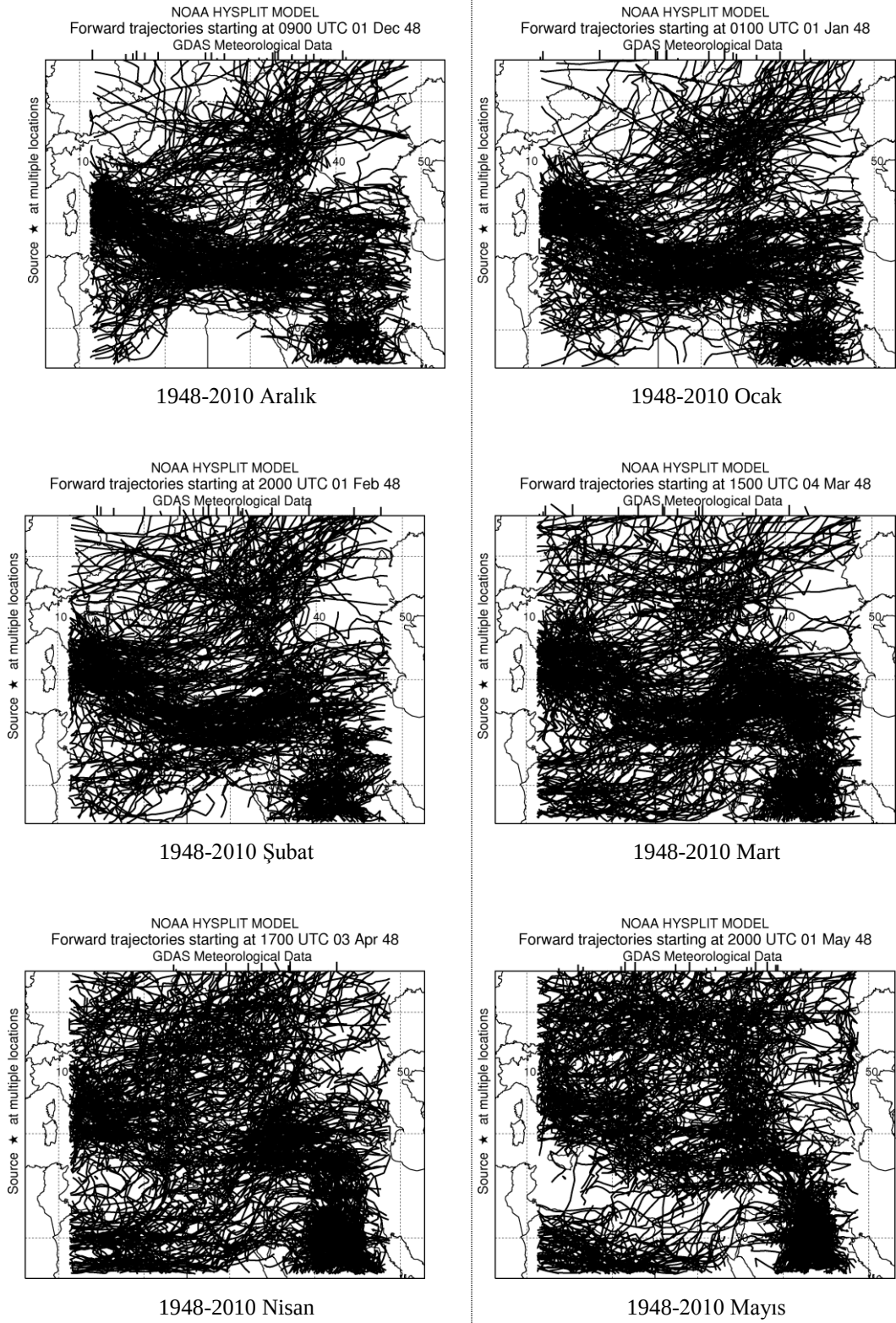
1948-2010 Kasım

Şekil B. 3:(devam) 1948-2010 aylara göre 1000km'den fazla yerdeğiştirmeye sahip siklon yörüngelerine ait frekans haritaları

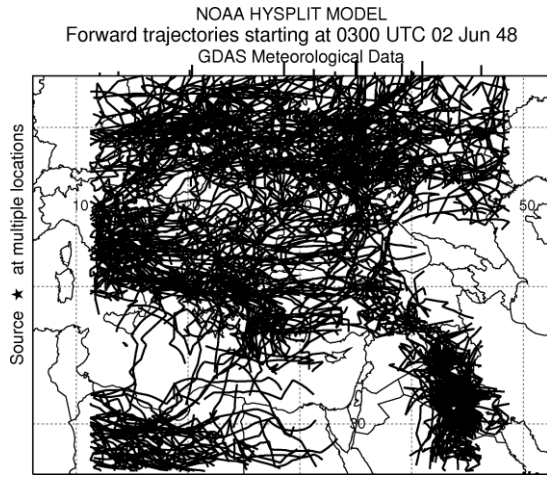


Şekil B. 4: 1948-2010 Mevsimlere göre 1000km ve üstü yerdeğıştirmeye sahip siklon yörüngelerinin frekans haritaları

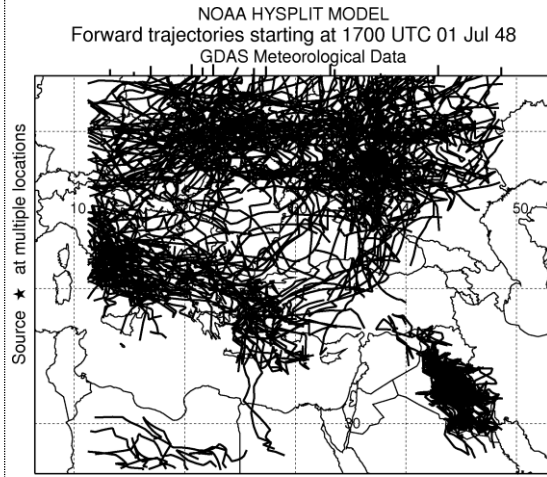
EK C



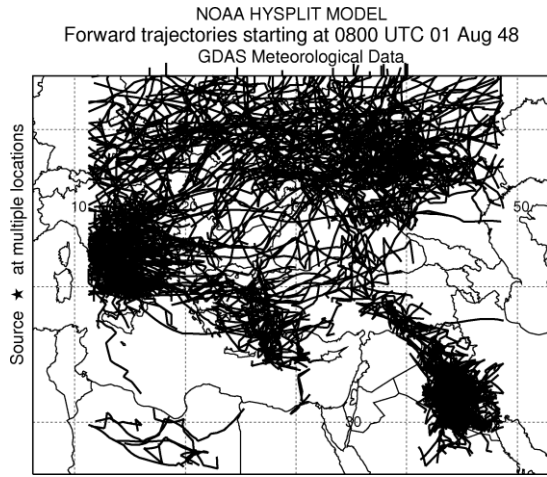
Şekil C. 1: 1948-2010 aylara göre 24 saatten fazla devam etmiş siklon yörüngeleri



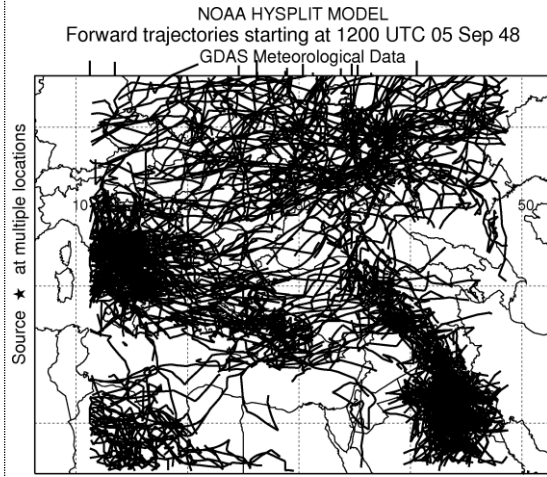
1948-2010 Haziran



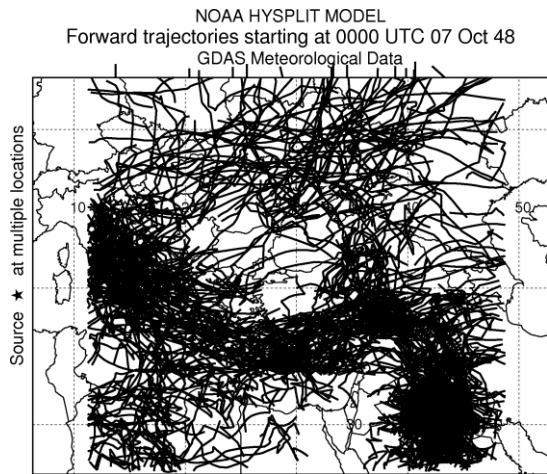
1948-2010 Temmuz



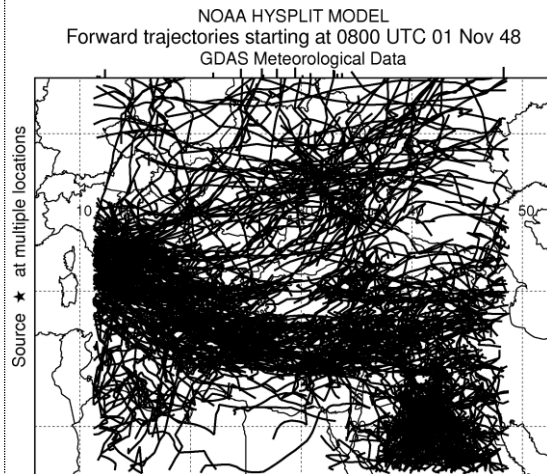
1948-2010 Ağustos



1948-2010 Eylül

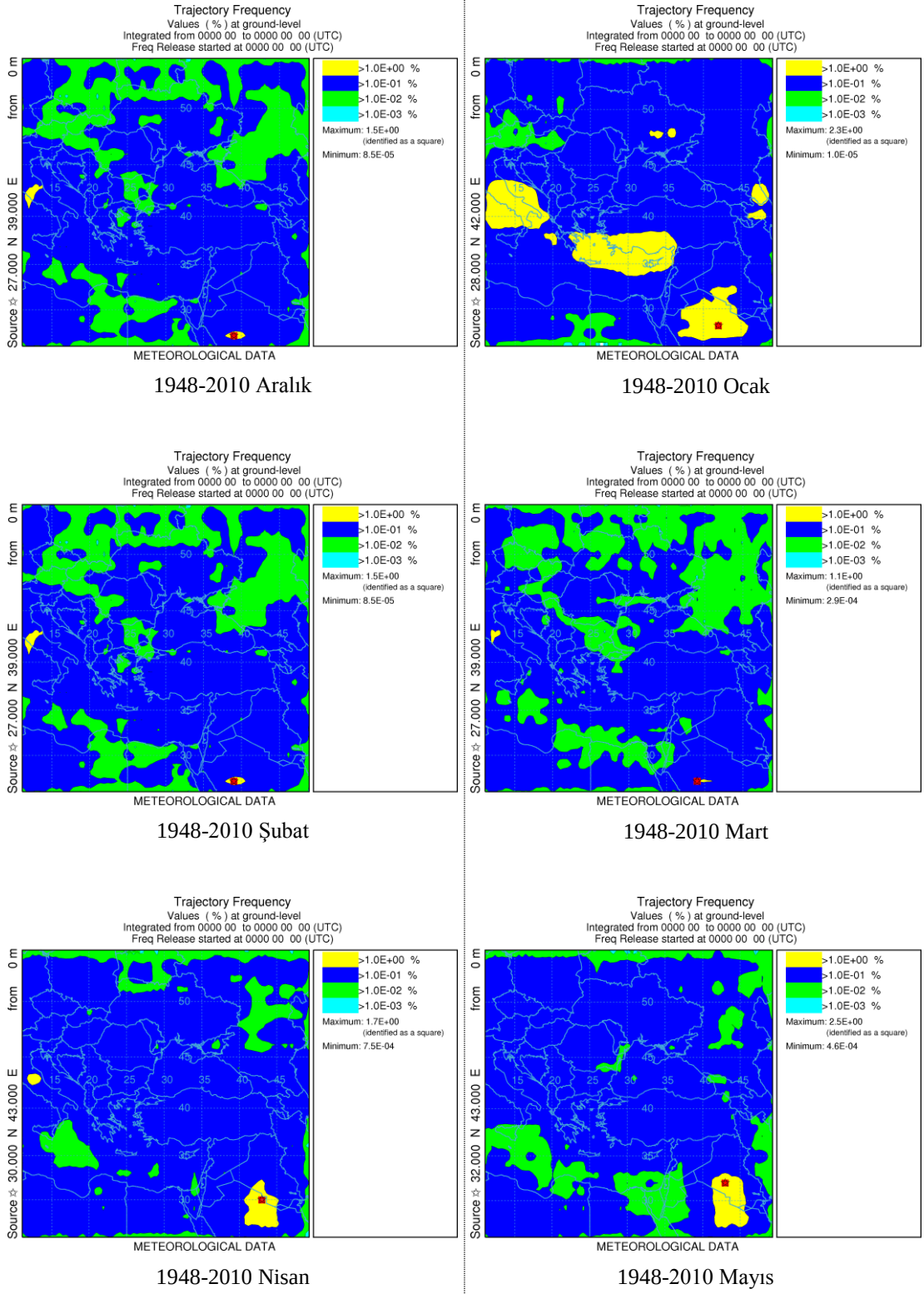


1948-2010 Ekim

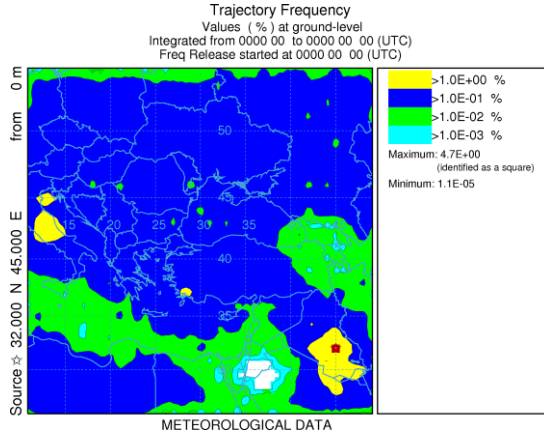


1948-2010 Kasım

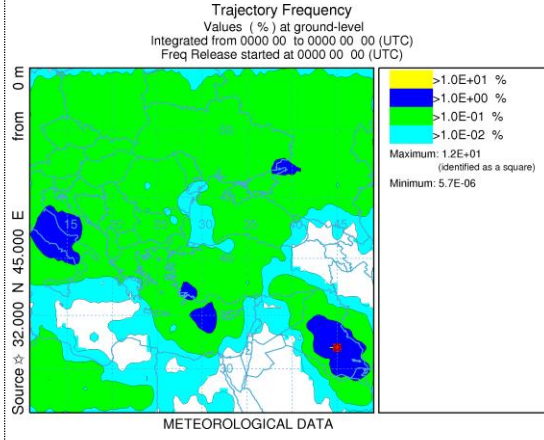
Şekil C. 1:(devam) 1948-2010 aylara göre 24 saatten fazla devam etmiş siklon yörüngeleri



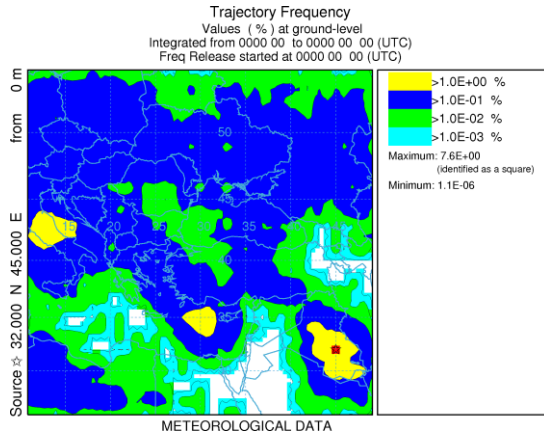
Şekil C. 2: 1948-2010 aylara göre 1 saatten fazla devam etmiş siklon yörüngelerine ait frekans haritaları



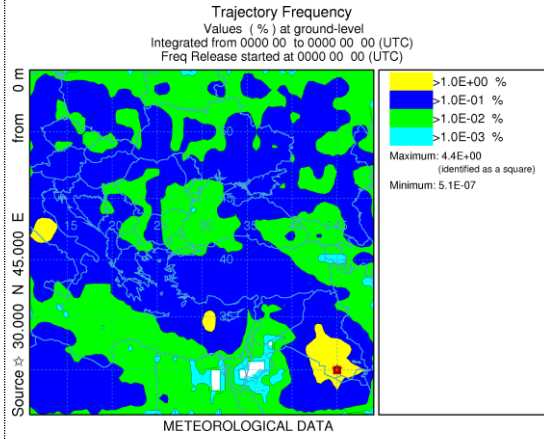
1948-2010 Haziran



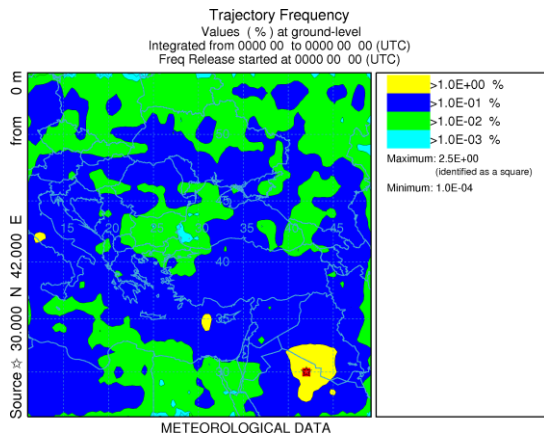
1948-2010 Temmuz



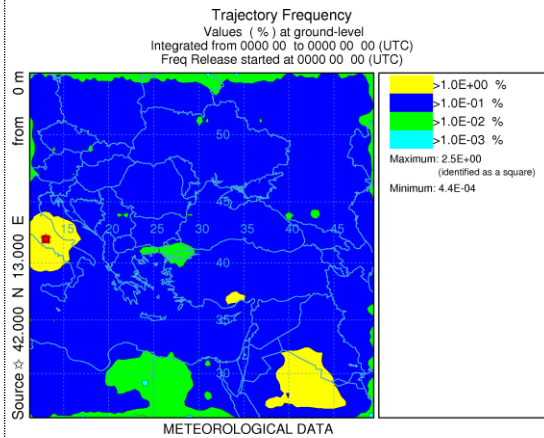
1948-2010 Ağustos



1948-2010 Eylül

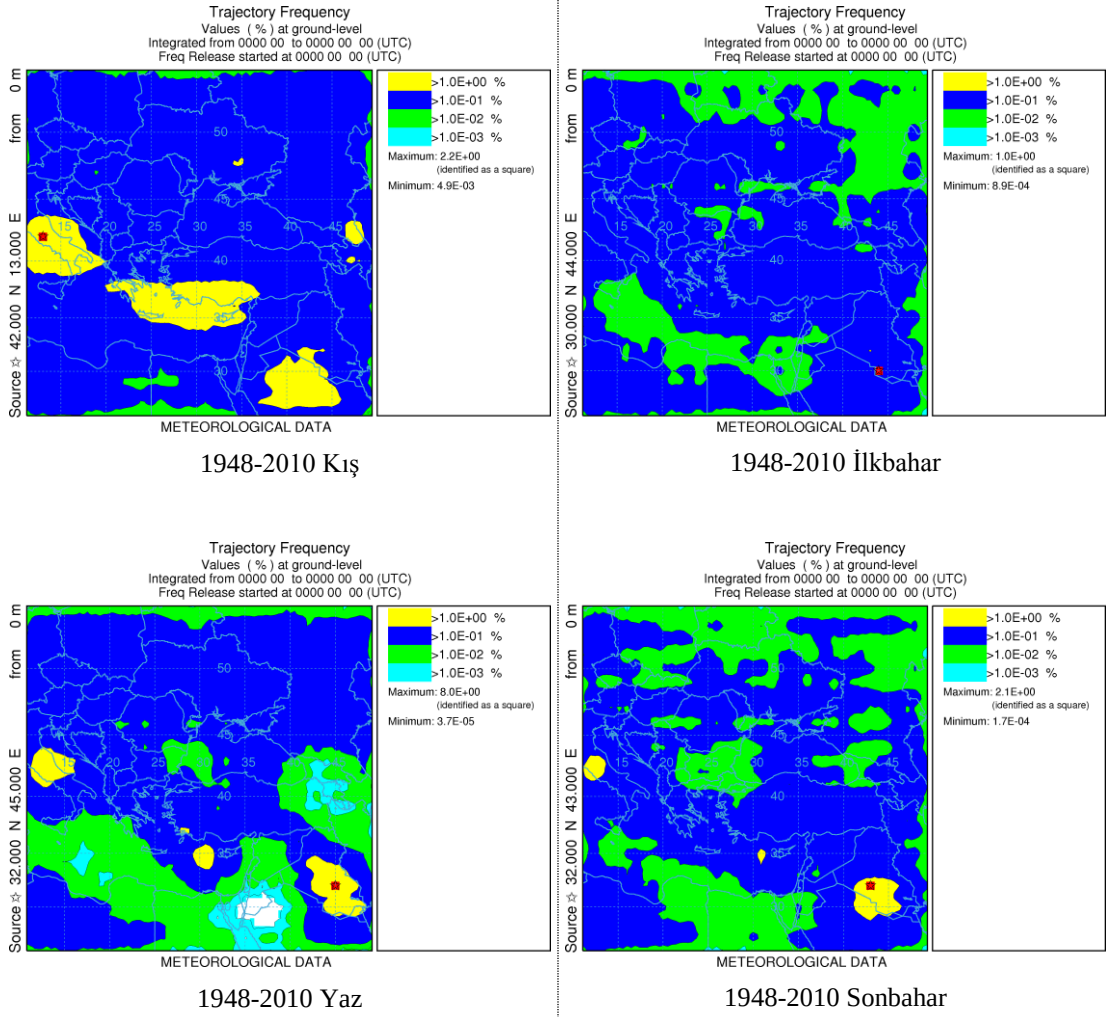


1948-2010 Ekim



1948-2010 Kasım

Şekil C. 2: (devam) 1948-2010 aylara göre 1 saatten fazla devam etmiş siklon yörüngelerine ait frekans haritaları



Şekil C. 3: 1948-2010 Mevsimlere göre 1 saatten fazla devam etmiş siklon yörüngelerinin frekans haritaları

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: İsmail SEZEN

Doğum Yeri ve Tarihi: Sarıgöl

Adres: Hürriyet Mh. Gazi Osman Paşa Cad. Hacı Mehmet
Sok. No: 23/2 Güneşli/İSTANBUL

Lisans Üniversitesi: Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Yayın Listesi :