**Yıldız Teknik Üniversitesi Sabit GNSS İstasyonunun Kurulması, Verilerinin Analizi ve Sunumu**

**Engin Gülal1,\*, Nedim Onur Aykut1, Burak Akpınar1, İbrahim Tiryakioğlu2, Ahmet Anıl Dindar3, Hediye Erdoğan4**

*1Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa, 34220, İstanbul.*

*2Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 03000, Afyonkarahisar.*

*3İstanbul Kültür Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34149, İstanbul.*

*4Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 68000, Aksaray.*

*Özet*

*Global Navigasyon Uydu Sistemlerinin (GNSS) hayatımıza girmesiyle birlikte, günümüzde jeodezik amaçlı konum belirleme çalışmaları hızlı ve yüksek doğrulukla yapılabilmektedir. Gerek dünya genelinde ve gerekse ülkemizde sabit GNSS istasyonlarının faaliyete geçmesi ile birlikte tek bir alıcı ile bağıl konum belirleyebilmek ve yüksek doğrulukla sonuçlar elde edebilmek mümkün olmuştur.*

*Dünya genelinde sabit GNSS istasyonlarının önemi gün geçtikçe artmaktadır. Yerkabuğu hareketlerinin belirlenmesi, yeraltı su kaynaklarının hareketlerinin tespiti ve farkı mühendislik çalışmalarında referans olarak kullanılması gibi amaçlarla kurulumu ve işletmesi yapılan sabit GNSS istasyonları son yıllarda ülkemizde de gittikçe önem kazanmaktadır. Mayıs 2009 tarihinde tamamlanarak faaliyete geçen TUSAGA-AKTİF / CORS-TR sistemi bunun en büyük örneğidir.*

*Bu çalışmada, Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü bünyesinde, jeodezik çalışmalar için katkı sağlaması amacıyla kurulum çalışmaları devam eden sabit GNSS istasyonu hakkında bilgiler verilmiştir. Kurulum çalışmaları devam eden bu istasyon ile sürekli gözlem yapılarak GNSS verilerinin toplanması, 24 saatlik paketler halinde toplanan bu verilerin değerlendirilmesi, zaman serileri analizlerinin yapılması ve istasyonun stabilizasyon çalışmalarının tamamlanması amaçlanmaktadır. Bununla birlikte gerçek zamanlı düzeltme verilerinin istasyon tarafından yayınlanmasının sağlanarak, YTÜ Harita Mühendisliği Bölümü tarafından yürütülen eğitim-öğretim çalışmaları ile akademik araştırmalarda kullanılmak üzere, Davutpaşa kampüsü ve yakın çevresine internet üzerinden düzeltme verilerinin yayınlanarak RTK konum belirleme uygulamalarına destek oluşturması amaçlanmaktadır.*

Anahtar Sözcükler

Sabit GNSS İstasyonları, RTK GNSS, GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi

**1. Giriş**

GNSS verilerinin değerlendirilmesi amacıyla birçok ticari ve akademik yazılım bulunmaktadır. Yüksek doğruluk istenilen çalışmalarda GNSS verilerinin değerlendirilmesinde üniversiteler ya da araştırma enstitülerince geliştirilmiş olan akademik yazılımlar kullanılmaktadır. Başlıca akademik GNSS değerlendirme yazılımları; BERN Üniversitesi’nden Bernese (güncel versiyonu 11 Mayıs 2011 tarihli 5.0), NASA JPL’den Gipsy-Oasis (güncel versiyonu 8 Eylül 2011 tarihli 6.1.1) ve MIT’ den GAMIT/GLOBK (güncel versiyonu Kasım 2010 tarihli 10.04) olarak sıralanabilir. Belirtilen yazılımlar dünya çapında kabul edilmiş en üst seviye GNSS verisini çeşitli amaçları için işleyebilme özelliklerine rağmen birbirlerine göre farklı yanları da bulunmaktadır. Tablo 1 ‘de bu yazılımların temel özellikleri verilmiştir.

*Tablo 1: Akademi/Araştırma merkezlerince geliştirilen GNSS yazılımları*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Özellik** | **Bernese** | **Gipsy-Oasis** | **Gamit/Globk** |
| Çalışma Platformu | Windows/Unix | Unix | Unix |
| Görsel Arayüz | Bulunmakta | Bulunmakta | Bulunmamaktadır |
| Lisans | Ücretli | Ücretsiz ancak izin gerekli | Ücretsiz |
| Lisans geçerliliği | Tek bir kere alınıyor, ömür boyu geçerli | Belirli aralıklarla yenilemek gerekiyor | Tek bir kere alınıyor, ömür boyu geçerli |
| Erişim kolaylığı | Lisans ücretinin ödenmesinden sonra ftp üzerinden | 6 hafta-3 aylık bir izin süresi gerekli | Ftp üzerinden  |
| Destek | Eposta listesi şeklinde bulunmaktadır. | Forum şeklinde bulunmaktadır. | Program yazarlarının inisiyatifindedir |
| Güncelleme | Geliştirme grubu tarafından sıklıkla yapılmaktadır | Geliştirme grubu tarafından sıklıkla yapılmaktadır | Çeşitli kurumlardaki araştırmacıların desteği ile program yazarları tarafından yapılmaktadır |
| Kaynak Kodu | Kapalı | Kapalı | Açık |

Tablo 1 incelendiğinde GAMIT/GLOBK yazılımı, maliyet ve erişim kolaylığı açısından bakıldığında diğer yazılımlara göre daha az mali kaynak ve süre gerektirdiği görülmektedir. Bu özelliği sebebiyle akademik araştırmalarda sıklıkla tercih edilmektedir. YTU Sabit GNSS İstasyonu çalışması kapsamında da GNSS verilerinin değerlendirilmesi için GAMIT/GLOBK yazılımı tercih edilmiştir. Yazılımın açık kaynak kodlu olmasının avantajıyla, bu çalışma kapsamında geliştirilecek olan her türlü alt yazılımlar, GAMIT/GLOBK ile tam uyum içinde çalışacaktır.

Çalışma kapsamında GNSS verilerinin değerlendirilmesi için gerekli olan altyapının yazılımın kısmının oluşturulması da projenin en önemli aşamalarından biridir. Çünkü büyük veri grupları ile yapılacak olan GNSS veri değerlendirme çalışmaları, verinin kalite kontrolünün yapılması, işleme alınması, işlem süresinin uzunluğu, elde edilen sonuçların ilk irdelenmesi gibi adımlar sebebiyle oldukça zahmetli ve zaman alıcı olabilmektedir. Araştırmacı ve doktora öğrencileri gibi nitelikli insan kaynağının rutin sayılacak veri işleme adımlarında en az zamanı geçirmesi bilimsel araştırmalarda dikkat edilmesi gereken bir konudur. Üniversitelerde, araştırma amaçlı çalışmalarda aktif olarak kullanılan MATLAB programında geliştirilecek yardımcı yazılımlar ile toplanan GNSS verilerinin öncelikle kalite kontrolünün yapılması, verilerin düzenlenerek değerlendirilmek üzere GAMIT/GLOBK yazılımına otomatik olarak iletilmesi, GAMIT/GLOBK tarafından yapılacak değerlendirmelerin ardından sonuçlar üzerinde ilk irdelemenin yapılması ve sonuçların düzenlenerek kullanıcılara sunulması gibi işlemlerin yapılarak sabit GNSS istasyonu verilerinin değerlendirilmesi ve sunulması konusunda otomasyona gidilmesi amaçlanmaktadır.

Sabit GNSS istasyonu tarafından toplanan verilerin değerlendirilmesinin ardından söz konusu istasyon verileri için zaman serileri analizi yapılacaktır. Sabit GNSS istasyonlarının kabuk hareketi, yer altı su kaynaklarının hareketi, gel-git, güneş lekeleri değişimi ve referans sistemi hataları gibi farklı etkiler altında gösterdiği davranış biçimi (lineer, periyodik vb.) ve büyüklüğü, bu noktalarda zamana bağlı olarak yapılan sürekli ölçümlerinin zaman serilerinin analizi ile açıklanabilir. Bu işlem hem zaman bölgesinde hem de frekans bölgesinde ele alınır ve her iki boyutta yapılan analizler birbirini tamamlayıcı niteliğe sahip olup aynı bilgi farklı şekillerde GNSS istasyonlarına ait zaman serilerinin niteliği hakkında farklı fikirler verirler.

GNSS ölçülerinin akademik yazılım ile değerlendirme aşamasında periyodik harekete neden olan atmosferik modeller, gel-git modelleri ve yer dönme parametreleri gibi etkiler modellenir. Ancak, modellenmeyen bazı periyodik etkilerin GNSS istasyonlarında oluşturduğu periyodik davranışlar da zaman serileri analizi ile tespit edilebilmektedir.

Çalışma kapsamında 2 yıl süre ile toplanan GNSS verilerinden kurulacak sabit istasyona ait günlük ve yıllık tekrarlılıkların üretilmesi ve ardından IGS istasyonlarına dayalı olarak stabilizasyon ve hız belirleme çalışmalarının yapılması amaçlanmaktadır.

Kurulacak istasyonda sürekli gözlem yapılması ve elde edilen verilerin değerlendirilerek, ham verilerin ve değerlendirme sonucunda elde edilen sonuç bilgilerinin kullanıcılara sunulmasının yanında, istasyonun uygun donanımların ilavesi ile RTK konum belirleme uygulamaları için internet üzerinden anlık düzeltme verileri yayınlaması sağlanacaktır. Bu düzeltme verileri de bölgede yapılan eğitim-öğretim ve akademik araştırma çalışmalarında uygulanan RTK konum belirleme çalışmalarında aktif olarak kullanılabilecektir.

**2. Sabit GNSS İstasyonu Kurulum Çalışmaları**

Sabit istasyon kurulum çalışmaları sırasında uygulanacak yöntemler aşağıda sıralanmış ve açıklanmıştır.

-GNSS verilerinin günlük olarak sunucuda depolanması.

-Sabit GNSS istasyonu verilerinin değerlendirilmesi

-Sabit GNSS istasyonu verilerinin zaman serileri analizi

-Anlık RTK düzeltmelerinin yayınlanması

-GNSS verileri ile değerlendirme ve analiz sonuçlarının web üzerinden sunulması.

**2.1. GNSS Verilerinin Sunucuda Depolanması**

YTÜ Harita Mühendisliği Bölümü tarafından GNSS anten kalibrasyon çalışmalarında kullanılmak üzere 1 adet Aero Antenna Technology AT1675 Chokering GNSS anteni alınmış ve merkezi Almanya’da bulunan Geo++ firması tarafından söz konusu antenin mutlak kalibrasyon parametreleri belirlenmiştir. Sabit GNSS istasyonlarından da kullanılmakta olan bu anten, proje kapsamında kurulacak olan istasyonda kullanılabilecektir. Şekil 1 de YTÜ İnşaat Fakültesi D Blok çatı katında bulunan, proje kapsamında kullanılacak olan pilye tesisi, ve YTÜ Harita Mühendisliği Bölümü envanterinde bulunan Chokering GNSS anteni verilmiştir.



*Şekil 1: Sabit GNSS istasyonunda kullanılacak olan pilye tesisi ve GNSS anteni*

Sabit GNSS istasyonu tarafından toplanan verilerin depolanması ve değerlendirme işlemleri için YTÜ Harita Mühendisliği Bölümünde mevcut bulunan yüksek kapasiteli 1 adet sunucu bu çalışma için tahsis edilmiştir ve sürekli gözlem yapan GNSS alıcısından veriler bu bilgisayara 24 saatlik paketler halinde otomatik olarak kaydedilecektir. Hazırlanacak yardımcı yazılımlar ile toplanan verilerin 24 saatlik paketler haline bölünmesi ve ftp protokolü aracılığı ile kullanıcılara sunulması sağlanacaktır.

Sabit GNSS istasyonu verilerine ihtiyaç duyan kullanıcıların, bu istasyona ait verileri inceleyebilmesi ve ihtiyaç duyulan güne ait verilerin kullanıcılar tarafından indirilebilmesi amacıyla bir web sitesi hazırlanacak ve bu web sitesi üzerinden akademik amaçlı çalışmalarda söz konusu verilere ihtiyaç duyan kullanıcıların bu verileri elde etmesi sağlanacaktır.

**2.2. Sabit GNSS İstasyonu Verilerinin Değerlendirilmesi**

Günümüzde GNSS verilerini değerlendiren birçok yazılım mevcuttur. Bu yazılımları ticari yazılımlar ve bilimsel yazılımlar olarak iki guruba ayırmak mümkündür. Ticari yazılımlar genellikle GNSS alıcıları ile birlikte satılan ticari firmaların kendileri tarafından üretilen ve pazarlanan yazılımlardır. Sabit istasyon verilerinin değerlendirmeleri, tektonik hareketlerin elde edilmesi ve deformasyon ölçümleri gibi yüksek doğruluk isteyen birçok jeodezik ölçmelerde kullanılan bilimsel yazılımlara örnek olarak, BERNESE, GAMIT/GLOBK, GIPSY/OASIS gibi yazılımlar verilebilir.

Çalışma kapsamında verilerin değerlendirilmesi, Massachusetts Institute of Technology tarafından geliştirilen GAMIT (GPS Analysis Massachussets Institute of Technology)/GLOBK yazılım takımı kullanılacaktır. Bu yazılım paketi iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan ilki GAMIT ikincisi ise GLOBK yazılımıdır. GNSS verilerinin işlenmesinde önce GAMIT yazılımı kullanılır. GAMIT değişik alıcılardan toplanmış ölçmeler üzerinde işlemler yapmak, faz ve pseudorange ölçmelerini modellemek gibi özelliklere sahiptir. GLOBK yazılımında, temel olarak uydu-jeodezisi yardımı ile elde edilmiş ölçmelerin değerlendirilmesinden elde edilen çözümler bir araya getirilerek Kalman Filtresi uygulanması işlemi gerçekleştirilir.

Bu çalışma kapsamında sabit GNSS istasyonu tarafından toplanan verilerin GAMIT yazılımı tarafından günlük olarak değerlendirilmelerinin otomatik olarak, herhangi bir kullanıcı müdahalesine gerek kalmadan yapılabilmesi ve sonuçların belirlenen düzen içinde depolanması sağlanacaktır. Bu sayede önerilen proje süresi olan 2 yıl boyunca bu değerlendirme işlemi için otomasyon sağlanması amaçlanmaktadır.

GAMIT / GLOBK yazılımı Unix işletim sistemlerinde komut satırından etkileşimli olarak çalıştırılmakta ve sonuç dosyaları ilgili kök dosyanın altında, ASCII formatında text dosyaları olarak üretilmektedir. (Şekil 2). Programın arayüzü olmadığından komut parametreleri komut satırında ifade edilmektedir. Programın C++ yazım dilinde açık kaynak olarak kodlanması sebebiyle, araştırmacıların yazılıma ek yapabilme imkanı tanınmıştır. Bu durum, mevcut çalışmanın amacına yönelik en önemli avantajdır. Çünkü, açık kaynak kod ve komut satırı ile etkileşim özellikleri, bu çalışmanın araştırmacıları için MATLAB gibi düşük seviyeli kodlama araçları sayesinde amaca yönelik olarak çeşitli alt yazılımların büyük zaman kaynağı ayırmadan ortaya çıkmasına imkan sağlamaktadır. CORS-TR projesi sırasında geliştirilmeye başlanmış olan birçok alt yazılımların yeniden düzenlenmesi sonucunda, Şekil 3de çalışma akışı belirtilen GAMIT / GLOBK GNSS verisi işleme yazılımı en verimli şekilde kullanılabilecek, daha büyük ve kapsamlı algoritmaların oluşturulması ile de elde edilen bilgisayar yazılım kaynağı, farkı bilimsel araştırma çalışmalarından kullanılabilecektir.



*Şekil 2: GAMIT / GLOBK dosya yapısı.*



*Şekil 3: GAMIT / GLOBK akış şeması.*

Çalışma kapsamında oluşturulacak yardımcı yazılımlar sayesinde, en temel anlamda veri işleme çalışmalarında en önemli hata kaynaklarından birisi olan veri kalitesinin araştırmacının bilgi ve inisiyatifine bırakılmadan, Şekil 3'deki akışa girmeden incelenebilmesi sağlanacaktır. Benzer şekilde, işlenen verilerin büyüklüğüne bağlı olarak bir gün sürebilecek olan veri değerlendirme aşamasında, akışın araştırmacıyı meşgul etmeden takip edilmesi ve gerekli hallerin e-posta, SMS gibi iletişim araçları ile araştırmacılara aynı anda iletilmesi hazırlanacak yardımcı yazılımlar ile mümkün olacaktır.

GAMIT / GLOBK yazılımı kapalı bir çözüm sistemi olarak kullanılması ve verilerin işleme başlamadan önce kontrol edilmesi, işlem sonuçlarının kullanım ve sunuma hazırlanması gibi işlemler hazırlanacak yardımcı programlar ile gerçekleştirilecektir. Bu işlem akışı Şekil 4 de verilmiştir.



*Şekil 4: MATLAB ortamında GAMIT / GLOBK yazılımının kullanılacağı algoritma örneği*

**2.2.1. Yardımcı yazılım paketleri**

GNSS verilerinin işlenmesi, üzerinde çalışılan problemin özelliğine göre değişik aşamaları içermektedir. Bu sebeple oluşturulacak olan çözüm algoritmaları da farklı adımlardan oluşacaktır. Bu çalışmanın öncesinde oluşturulan ve geliştirilecek olan alt yazılımlar ile sabit GNSS istasyonu verilerinin düzenli olarak işlenmesi hedeflenmiştir. Yardımcı yazılım bileşenleri aşağıda açıklanmıştır.

**2.2.1.1 GNSS verisinin web üzerinden indirilmesi**

Gelişen internet teknolojisi sayesinde fiziksel olarak farklı yerlerde bulunan sunuculara http, ftp gibi standart protokoller aracılığıyla erişilebilmektedir. Sürekli gözlem yapan GNSS istasyonlarının verileri istasyonda bulunan alıcılardan internet üzerinden ilgili sunuculara alınarak saklanmaktadır. Bu konuda en bilinen örnek IGS ağıdır. Verinin gerek alıcıdan gerekse belirtilen sunuculardan alınması veri işlemedeki ilk adımı oluşturmaktadır. Her ne kadar GAMIT / GLOBK yazılımı, IGS şebekesinin verilerini indirmek için gerekli alt yazılıma sahip olsa da sürekli gözlem istasyonundan veri indirme için bir yazılıma ihtiyaç duyulmaktadır. Araştırmacının belirlediği gün ve istasyonların verilerini indirmek için ftp protokolünü kullanan bir alt yazılım şu anda hazır bulunmaktadır.

**2.2.1.2 GNSS verisinin kalite kontrolünün yapılması**

GNSS alıcıları, ham verileri Rinex formatında saklamaktadır. Rinex, alıcıdan bağımsız bir veri formatı olduğundan, teorik olarak kullanıma hazırdır. Ancak, uyduların görüşündeki kesintiler, alıcılardaki dönüştürücü ya da veri iletimindeki aksaklıklar gibi sebeplerden dolayı Rinex veri paketlerinde ciddi kalite sorunları oluşabilmektedir. Veri kalite kontrolü, analiz sonuçlarını doğrudan etkilediğinden, analizlerden önce, kullanıcı müdahalesine gerek kalmadan, bir kalite kontrol rutinin kurulması gerekmektedir.

**2.2.1.3 GAMIT giriş bilgilerinin hazırlanması**

GAMIT yazılımı, analizlerinde kullanılmak üzere ilgili parametreleri ASCII formatındaki dosyalardan giriş bilgisi olarak almaktadır. Bu yüzden, parametre dosyalarının hazırlanmasının, kullanıcı kontrolünde olması gerekir. Parametrelerin hassaslığı üzerine yapılan tekrarlı analizler gibi çalışmalarda bu giriş bilgileri kullanıcıların dikkatini ve zamanını alabilmektedir. Tekrarlılık çalışmalarında dosya hazırlamak için harcanan zamanı kurtarmak ve sistematik hale getirmek amacıyla giriş bilgilerinin hazırlanması için gerekli olan alt yazılım çalışma kapsamında geliştirilecektir.

**2.2.1.4 GAMIT analizlerinin başlatılması**

GAMIT / GLOBK yazılımı, Kasım 2009 tarihindeki sürümüyle büyük bir değişim içine girmiş ve analizin yapılması için gerekli olan bir çok ön hazırlık kendi içinde kurgulanarak, tek bir komutla analizin başlatılması imkanı gelmiştir. Bu sayede, kullanıcıların, sadece GAMIT’ in giriş bilgileri için zaman kaybetmesinin önüne geçilmiştir. Bu yeni özellik sayesinde, GAMIT yazılımının başlatılması büyük oranda kolaylaşmıştır. Çalışma kapsamında, giriş bilgilerinin hazır olması şartıyla, GAMIT yazılımının periyodik aralıklarla başlatılması amacıyla içinde zamanlayıcı özelliği bulunan bir MATLAB alt yazılımı geliştirilecektir. Bu alt yazılım, tekrarlanan çalışmaların aralığına bağlı olarak hali hazırda çalışan bir Unix işletim sisteminde dışarıdan müdahaleye gerek kalmadan aktif hale gelecek ve hazır bulunan giriş bilgileri ile GAMIT analizini başlatacaktır.

**2.2.1.5 GAMIT analiz sürecin takip edilmesi**

GAMIT analizleri, kullanılan GNSS verilerinin miktarına ve kullanılan bilgisayar alt yapısına bağlı olarak uzun saatler sürebilmektedir. GAMIT yazılımının akışı gereği, kullanıcı analizin başlatılmasından sonra müdahale etmemekte ve analizin başarılı veya başarısız, sonucunu beklemek zorundadır. Analiz sürecinde, kullanıcının manuel olarak akışı kontrol etmesi büyük zaman ve motivasyon kaybı yaratabilmektedir. Bu kaybın önüne geçmesi için, GAMIT analizi sırasında, yazılımın çalışmasını takip eden ve sık aralıklarla akışı kontrol eden bir alt yazılım geliştirilecektir. Geliştirilecek olan alt yazılım, kullanıcı müdahalesine gerek kalmadan analiz sürecini kontrol edecek ve gerekli hallerde kullanıcıları e-mail, SMS gibi iletişim araçları ile bilgilendirebilecektir.

**2.2.1.6 GAMIT analiz sürecinin raporlanması**

GAMIT analizinin bitiminin ardından, yazılım sonuçları farklı klasörlerde ASCII formatında text dosyalarında saklamaktadır. Kullanıcıdan beklenen, bu sonuç dosyalarına erişerek, analiz sonuçlarını alarak kendi değerlendirme araçlarında kullanmasıdır. Her ne kadar hızlı değerlendirme için GAMIT yazılımı özet dosyaları hazırlıyor olsa da, farklı klasörlerdeki sonuç dosyalarına erişim ve ardından değerlendirme için ayıklaması kullanıcının hata yapmasına ve dolayısıyla verimsiz çalışmasına neden olmaktadır. Çalışma sürekliliğini sağlamak amacıyla, sonuç dosyalarına erişerek, ihtiyaç duyulan bilgileri derleyen bir yazılıma ihtiyaç duyulmaktadır. Proje kapsamında bu ihtiyacı giderecek bir yazılımın geliştirilmiş olacaktır.

**2.2.1.7 GLOBK analiz sürecinin başlatılması, izlenmesi ve raporlanması**

MIT’de geliştirilen GAMIT / GLOBK yazılımının, dengeleme hesaplarının yapıldığı GAMIT kısmında elde edilen günlük (kısa süreli tekrarlılık) ve yıllık (uzun süreli tekrarlılık) analizlerin ardından, GNSS gözlemlerinin tamamının irdelenerek hız vektörleri, dolayısıyla hız alanlarının Kalman Filtresi ile oluşturulması için GLOBK kısmı kullanılmaktadır. GLOBK, GAMIT yazılımı ile benzer kullanıma sahiptir. Açık kaynak kodlu olması sebebiyle GAMIT yazılımı için geliştirilen tüm alt yazılımlar, GLOBK yazılımı için de kullanılabilecektir.

**2.2.1.8 Sonuçların görselleştirilmesi**

GAMIT / GLOBK yazılımı, analiz sonucu olarak ASCII formatında dosyalar oluşturmaktadır. Sonuçların görselleştirilmesi için Hawaii Üniversitesi tarafından geliştirilen Generic Mapping Tools (GMT) yazılımını kullanmaktadır. GMT yazılımı akademik araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılan UNIX tabanlı bir yazılımdır. Açık kaynak kodlu olan bu yazılım, zaman serileri, vektör haritaları gibi sonuçların görsel hale getirilmesi için GAMIT / GLOBK tarafından kullanılıyor olsa da günümüz bilgisayar şartlarında etkileşimli kullanım açısından bir takım eksiklikleri de taşımaktadır. Bu eksikliğin önüne geçmek amacıyla, İstanbul Kültür Üniversite’sinde yapılan bir lisansüstü çalışması sırasında geliştirilen ve MATLAB’in Mapping Toolbox’ı ile Google’ın API’lerini de kullanan bir görselleştirme yazılımı hazırlanmıştır. Bu yazılımın proje kapsamında kurulacak sisteme entegrasyonu sayesinde, GAMIT / GLOBK sonuçları, daha etkin bir şekilde irdelenebilecektir.

**2.3. Sabit GNSS İstasyonuna Ait Verilerin Zaman Serileri Analizi**

Sabit GNSS noktalarının kabuk hareketi, yer altı su kaynaklarının hareketi, gel-git, güneş lekeleri değişimi ve referans sistemi hataları gibi farklı etkiler altında gösterdiği davranış biçimi (lineer, periyodik vb) ve büyüklüğü, bu noktalarda zamana bağlı olarak yapılan sürekli ölçümlerinin zaman serilerinin analizi ile açıklanabilir. Bu işlem hem zaman bölgesinde hem de frekans bölgesinde ele alınır ve her iki boyutta yapılan analizler birbirini tamamlayıcı niteliğe sahip olup aynı bilgi farklı şekillerde GPS istasyonlarına ait zaman serilerinin niteliği hakkında farklı fikirler verirler.

Genel olarak ti (i=1, 2, 3, …, N) zamanlarında GNSS istasyonlarında yapılan ölçümlerin Y(ti) zaman serisi, yapay ya da ko-sismik ve post-sismik atılımların sebep olduğu kayıklıklar hariç, üç bileşene ayrılabilir.

*Y(ti)= T(ti)Trend +P(ti)Periyodik+ S(ti )Stokastik* (1)

Zaman serileri analizinde, ilk olarak serinin zaman ekseni grafiği çizilerek serideki olağan dışı ölçüler (örneğin; kaba hatalar) giderilir ve serinin genel bir yorumu yapılabilir. Daha sonra ise serideki noise etkisinin kısmen giderilmesi, trend ve periyodik bileşenlerin daha belirgin bir şekilde ortaya çıkartılması için seriye uygun bir alçak geçişli filtreleme (örneğin, beşinci dereceden kayan ağırlıklı ortalamalar yöntemi gibi) işlemi uygulanır. Daha sonra ise seride trend bileşeni olup olmadığı tespit edilir. Serideki trend bileşeni, serinin zamana bağlı uzun zamanlı değişimlerini temsil eder ve genellikle fonksiyonu polinom şeklinde olup zaman bölgesinde aşağıdaki şekilde tanımlanır.

 (2)

Burada *ck*, (*k=1,2,...,m*) fonksiyonun derecesine bağlı parametrelerdir. GNSS istasyonları için *m*=2 alınarak, GNSS istasyonlarının lineer olarak artan veya azalan yöndeki değişimleri (hızları) tanımlanır. Ancak, GNSS istasyonlarındaki lineer değişimin büyüklüğü periyodik hareketlerden önemli ölçüde etkilenmektedir.

GNSS ölçülerinin akademik yazılım ile değerlendirme aşamasında periyodik harekete neden olan atmosferik modeller, gel-git modelleri ve yer dönme parametreleri gibi etkiler modellenir. Ancak, modellenmeyen bazı periyodik etkilerin GNSS istasyonlarında oluşturduğu periyodik davranışlar da zaman serileri analizi ile tespit edilir. Bu nedenle GNSS istasyonlarının zaman serilerinin analizinde periyodik bileşenin mutlaka belirlenmesi gerekmektedir.

Serideki periyodik bileşen, *fs* (*s=1,2,...,p*) frekansları ile *P(ti)* ölçülerine bağlı olarak eşitlik (3) ile trigonometrik fonksiyonu ile modellenebilmektedir.

 (3)

Eşitlik (1)’deki zaman serisi, eşitlik (2) ve eşitlik(3)’deki fonksiyonların toplamı ile aşağıdaki şekilde ifade edilir.

 (4)

Eşitliklerde, bilinmeyen parametreler *ck, as*ve *bs* ile bu parametrelerin standart sapmaları *mck, mas* ve *mbs* En Küçük Kareler (EKK) Yöntemine göre hesaplanır. Her bir parametre için belirlenen test büyüklüğü, öngörülen *1-α* güven düzeyi ve *f* serbestlik derecesine bağlı *t-*dağılımının *±tf,1-α/2* güven sınırları ile karşılaştırılır. Test sonucu anlamsız parametreler fonksiyondan çıkartılır ve parametreler anlamlı olana kadar bu işleme devam edilir.

Ancak eşitlik (3)’de, periyodik hareketin belirlenebilmesi için bu hareketin frekanslarının bilinmesi gerekmektedir. Bunun için, öncelikle serideki trend bileşeninin eşitlik (2) ile belirlenmesi ve parametrelerinin anlamlı çıkması durumunda seriden giderilmesi gerekir. Aksi durumda serideki trend bileşeni spektral analiz sonuçlarını etkiler ve sıfır frekansında peak verir. Trend bileşeni giderilmiş serinin zaman bölgesinden frekans bölgesine dönüşümü Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) ile yapılır. Ancak, HFD periyodik bir yapıya sahiptir ve spektrum hesabında, sinyal son örneğinin arkasından tekrar ilk örneği geliyormuş gibi işlem görür. Bu durumda sinyal enerjisinin diğer frekanslara sızması sonucu spektral sızma (spectral leakage) meydana gelir. Bu etkiyi azaltmak için sinyalin dönüşüm öncesi, genliği kenarlara doğru yavaşça sıfıra yaklaşan bir pencere fonksiyonu (örneğin; Hanning, Üçgen ve Hamming Pencereleme fonksiyonları gibi) ile çarpılması öngörülür. Pencerelenmiş ölçülerinin HFD eşitlik (5) ile tanımlanır.

 ** (5)

Burada *f* frekans, *e2πjt* karmaşık ve üstel fonksiyonu ifade etmektedir. HFD sonucu elde edilen değerler karmaşık sayılardan olduğundan, serinin frekanslarını belirlemek için hala yeterli değildirler. Bu nedenle, *X(f)*’in modül karesi hesaplanır ve Fourier spektrum *Pxx(f)* olarak adlandırılır.

 (6)

Böylece bir sinyalin enerjisinin hangi frekanslarda yoğunlaştığı tespit edilerek, seride var olan periyodik hareketlerin frekansları belirlenir. Bu frekanslar eşitlik (3) de yerine konularak frekansa ait parametreler test edilir. Anlamsız çıkan parametreye ait frekans fonksiyondan çıkartılır ve bu işleme anlamlı frekanslar (parametrelerden birisinin anlamlı olması yeterli) tespit edilene kadar devam edilir. Böylece, anlamlı periyodik hareketlerin ve trend bileşeninin eşitlik (4)’de toplamı ile serinin deterministik kısmı belirlenir. Ayrıca, periyodik hareketlerin genlik değerleri tespit edilir ve serinin lineer değişime olan katkısı dikkate alınır.

Zaman serilerinin deterministik kısmı belirlendikten sonra serinin stokastik bileşeni ele alınmalıdır. Çünkü, zaman serilerinin stokastik bileşeni otoregresif (Autoregressive;AR), hareketli ortalamalar (Moving Average;MA) ya da diğer doğrusal regresyon denklemleri ile ifade edilebilen bir özellik göstermektedir. Otoregresif özelliğe sahip serilerde, ardışık terimler arası ilişki deterministik olarak belirlenebilmektedir. Böylece, zaman serisinin temsil ettiği GNSS istasyonlarının güneş lekeleri değişimi, yerin kendi ekseni üzerindeki düzensizlikleri, yer altı suları değişimi ve atomik saatlerin ölçtüğü zamandaki hataları gibi etkiler altındaki davranışları da daha gerçekçi bir biçimde belirlenmektedir.

Stokastik bileşen analizinde, standartlaştırılmış zaman serisine otoregresif bir modelin uyup uymadığına, değişkenin serisel iç bağımlılığının incelenmesinde kullanılan otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonları ile karar verilmektedir. *N* gözlem sayısı olmak üzere, *S(ti)* stokastik bileşenin *k* gecikmeli otokorelasyon katsayısı *rk* eşitlik (7) ile hesaplanır.

 (7)

 *Φk,k*kısmi otokorelasyon katsayıları ise *rk* otokorelasyon katsayılarına bağlı olarak aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmaktadır.



 (8)

 k≠j (9)

Otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayıları yaklaşık olarak sıfır ortalamalı ve *srk≈1/*standart sapmalı normal dağılıma sahiptir. Hesaplanan bu katsayıların öngörülen yanılma olasılığında (*α=0.05*) istatistiksel olarak anlamlı olup olmadıklarını test etmek için, , güven aralığı (*±1,96/*) kullanılmaktadır. Test sonucu otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayılarının güven aralığı istatistiksel olarak sıfırdan önemli derecede farklı olduğu belirlenirse *S(ti)* stokastik bileşeni otoregresif modeller ile ifade edilebilir.

Otoregresif AR(*p*), modeller tam standardize durağan zaman serilerinin modellenmesinde kullanılan doğrusal modellerden birisidir. AR(*p*) modelinde *S(ti)* değeri, serinin *p* dönem geçmiş değerlerinin ağırlıklı toplamının ve *ε(ti)* rassal hata teriminin doğrusal fonksiyonudur. Ancak, bazı durumlarda *S(ti)* değeri, serinin geriye doğru *q* dönem geçmiş *ε(ti)* hata terimlerinin ve ortalamasının doğrusal fonksiyonu olarak da ifade edilebilmektedir. Bu durumda otoregresif modellere bir de Ortalama Hareket MA(*q*) bileşenin de katılması gerekmektedir. Modele hareketli ortalama bileşeninin eklenmesiyle, aynı süreç daha az parametreli modellerle izah edilebilmektedir. Otoregresif modele, hareketli ortalama bileşenin katılmasıyla “Otoregresif-Hareketli Ortalama” ARMA(*p,q*) modeli ortaya çıkmaktadır.

Eşitlik (10)’da bir ARMA(*p,q*) modelinin genel hali verilmiş olup *q* derecesinin sıfır olması durumunda eşitlik AR(*p*) modelinin genel halini ifade etmektedir.

**  (10)

Burada eşitliğin  ve  parametreleri En Küçük Kareler Yöntemine göre kestirilir. *S(ti)* sürecini temsil edecek model derecesini belirlemek için, farklı derecelerde modeller öngörülür ve parametreleri hesaplanır.

Öngörülen modellerden *ε(ti)* yeniden hesaplanır. Eğer, *ε(ti)*‘nin otokorelasyon katsayıları güven aralığının içinde kalırsa *ε(ti)* iç bağımlılığa sahip değildir ve öngörülen model *S(ti)* süreci için uygundur kararına varılır.

Yukarıda algoritması açıklanan analizler MATLAB ile hazırlanacak olan yardımcı/alt programlar tarafından otomatik olarak gerçekleştirilecektir.

**2.4. Anlık RTK Düzeltmelerinin Yayınlanması**

Çalışma kapsamında kullanılan GNSS alıcısı aynı zamanda uygun donanımların eklenmesi ile günümüzde GNSS ağlarında kullanılmakta olan formatlarda RTK düzeltme verisi yayını yapabilecektir. Bu sayede tıpkı ülkemizde mevcut bulunan CORS-TR projesinde olduğu gibi sisteme giriş izni verilen kullanıcıların sistemden yararlanmaları, elde ettikleri RTK düzeltmeleri ile gerçek zamanlı cm doğruluğunda konum bilgisi elde etmeleri mümkün olmaktadır. Tek GNSS istasyonundan yayın yapan olan bu sistem de YTU Harita Mühendisliği Bölümü tarafından gerçekleştirilen eğitim-öğretim faaliyetleri ile akademik araştırma çalışmalarında aktif olarak kullanılabilmektedir. Geçekleştirilen RTK düzeltmesi yayınının doğruluğu ve menzili, TUSAGA-AKTİF(CORS-TR) ve İSKİ-UKBS ağları ile test edilerek belirlenecektir. Bu çalışma tek bazlı RTK yayınlarının doğruluk ve menzil artırımına yönelik araştırmalar için bir altlık teşkil edecektir.

**2.5. GNSS Verileri İle Değerlendirme Ve Analiz Sonuçlarının Web Üzerinden Sunulması**

Çalışma kapsamında kullanılan GNSS alıcısı ile günlük olarak toplanan verilerin eğitim ve akademik amaçlı kullanıcılara sunulması için bir web sitesi tasarımı ve kodlaması yapılmaktadır. Bu web sitesinde, istasyon tarafından toplanan veriler için istenilen tarihe göre sorgulama yapılabilecek, söz konusu tarihlerde toplanan verilerin kalite analize yapıldıktan sonra kullanıcılara sunulacaktır.

İstasyon tarafından toplanan ham verilerin kullanıcılara sunulmasının yanında söz konusu web sitesinde ayrıca önceki bölümlerde anlatılan MATLAB programı ile otomatik olarak hesaplanan günlük değerlendirme sonuçları ile istasyona ait hız vektörleri de kullanıma açılacaktır. Tüm bu işlemler herhangi bir kullanıcı müdahalesine gerek kalmadan otomatik olarak yapılacaktır.

Çalışma kapsamında ayrıca RTK düzeltme verileri yayını da yapılacaktır. Düzeltme verilerini kullanmak isteyen kullanıcıların sisteme tanıtılması, kullanıcı başvuruları gibi işlemler de hazırlanacak olan web sitesi üzerinden yapılacaktır.

**3. Sonuçlar**

Proje kapsamında YTÜ Harita Mühendisliği Bölümü bünyesinde 1 adet sabit GNSS istasyonu kurulması amaçlanmaktadır. 2 yıl süre ile bu istasyon tarafından toplanacak verilerin analizi ve istasyonun stabilitesinin sağlanmasının ardından bu istasyonunun IGS bünyesine dahil edilmesi amaçlanmaktadır. Bu sayede ülkemizde halen 4 adet bulunan IGS istasyonu sayısının arttırılması amaçlanmaktadır. Proje kapsamında kurulacak istasyonun IGS ağına dahil edilmesinin sağlanması ile de ulusal ve uluslararası olarak atmosferik modelleme, global datum belirleme, yerkabuğu hareketlerinin izlenmesi vb çalışmalara katkı sağlanabilecektir. Bununla birlikte farklı akademik çalışmalar yürüten kullanıcıların ihtiyaç duyulması halinde söz konusu istasyon verilerini kullanabilmeleri sağlanacaktır.

Sabit GNSS istasyonu aynı zamanda ağ RTK prensibi ile düzeltme yayınlayabilecek kapasitede olacaktır. Bu sayede de YTÜ bünyesinde yürütülen eğim-öğretim faaliyetlerinde bu istasyon tarafından yayınlanan düzeltme verilerinin kullanılması sağlanabilecektir. Kampüs içi ve yakın çevresine internet üzerinden düzeltme verisi yayınlanabilecek, yakın çevrede gerçekleştirilen akademik faaliyetlerde bu düzeltme verilerinin kullanılarak cm doğruluğunda gerçek zamanlı konum elde edilebilmesi sağlanmış olacaktır.

**Teşekkür**

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAPK) tarafından desteklenmektedir. Desteklerinden dolayı Y.T.Ü. BAPK’ ne teşekkür ederiz.

**Kaynaklar**

Kurt, A.İ., Deniz R., (2010), “Deformasyon Hızlarının İyileştirilmesinde Sabit GPS İstasyonları Zaman Serileri Analizinden Yararlanılması”, Harita Dergisi, 144, 20-28, 07/2010.

Aysezen M.Ş., Cingöz A., Aktuğ B., Lenk O., (2009), “Sürekli Gözlem Yapan GPS İstasyonları ve Ulusal Datum Dönüşümü Projesi (TUSAGA-AKTİF)”, 2. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, 30 Nisan-1 Mayıs 2009, Çankaya Üniversitesi, Ankara.

Eren K., Uzel T., Gülal E., Yıldırım Ö., Cingöz A., (2009), “Results from a Compherensive Global Navigation Satellite System Test in CORS-TR Network: Case Study”, Journal of Surveying Engineering, 135, 1, 10-18.

Sezer S., Cingöz A., Tombaklar Ö.H., (2009), “Sabit GPS İstasyonlarına Ait Verilerin İnternet / İntranet Ortamında Sunulması”, Harita Dergisi, 141, 40-54, 01/2009.

monitored by a permanent network of continuous GPS stations”, Journal of Geodynamics, 48, 279-283, doi:10.1016/j.jog.2009.09.033.

Teferle F.N., Williams S.D.P, Kierulf H.P., Bingley R.M., Plag H.P., (2008), “A continuous GPS coordinate time series analysis strategy got high-accuracy vertical land movements”, Physics and Chemistry of the Earth, 33, 205-216, doi:10.1016/j.pce.2006.11.002.

Zanutta A., Vittuari L., Gandolfi S., (2008), “Geodetic GPS-based analysis of recent crustral motions in Victoria Land (Antarctica), Global and Planetary Change, 62, 115-131, doi:10.1016/j.gloplacha.2008.01.001.

Williams S.D.P., Bock Y., Fang P., Jamason P., Nikolaidis R.M., Prawirodirdjo L., Miller M., Johnson D.J., (2004), “Error analysis of continuous GPS position time series”, Journal of Geophysical Research, 109, B03412, doi: 10.1029/2003JB002741.

Lenk O., Türkezer A., Ergintav S., Kurt A.İ., Belgen A., (2003), “Monitoring the Kinematics of Anatolia Using Permanent GPS Network Stations, Turkish Journal of Earth Sciences, 12, 55-65.

Blewitt G., Lavallee D., (2002), “Effect of Annual Signals on Geodetic Velocity”, Journal of Geophysical Research, 107 , 2145, 11 pp, doi:10.1029/2001JB000570.

Ware R.H., Fulker D.W., Stein S.A., Anderson D.N., Avery S.K., Clark R.D., Droegemeier K.K., Kuettner J.P., Minster J.B., Sorooshian S., (2001), “Real-time national GPS networks for atmospheris sensing”, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 63, 1315-1330.