

Türkiye Yükseklik Sisteminin Modernizasyonu ve Gravite Altyapısının İyileştirilmesi Projesi

* Mehmet Simav¹, Hasan Yıldız¹, Ayhan Cingöz¹, Erdinç Sezen¹, Nuri Soner Demirsoy¹, İlyas Akpınar¹, Hayrettin Okay², Abdullah Güre², Meliha Akçakaya², Sait Yılmaz³, Mertkan Akça³, Rahşan Çakmak⁴, Baki Karaböce⁵, Enver Sadıkoğlu⁵, Uğur Doğan⁶

¹ Harita Genel Komutanlığı, Teknik Hizmetler Başkanlığı, Jeodezi Dairesi Başkanlığı, 06100, Çankaya, Ankara.

² Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeofizik Etütleri Dairesi Başkanlığı, 06800, Çankaya, Ankara.

³ Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü, 06100, Çankaya, Ankara.

⁴ TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü, 41470, Gebze, Kocaeli.

⁵ TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü, 41470, Gebze, Kocaeli.

⁶ Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220, Esenler, İstanbul.

Özet

“Türkiye Yükseklik Sisteminin Modernizasyonu ve Gravite Altyapısının İyileştirilmesi” Projesi; Harita Genel Komutanlığı (HGK), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO), TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (TÜBİTAK MAM) ve TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (TÜBİTAK UME) işbirliği ile gerçekleştirilecek olan bir altyapı projesidir. Hâlihazırda ihtiyaçlara neredeyse cevap veremeyecek duruma gelen ülke yükseklik sisteminin bilimsel ve teknolojik gelişmeler ışığında ve dünyadaki yeni yaklaşımlarla modernize edilmesini, bunun yanında modernizasyon sırasında ülke genelinde toplanacak yersel gravite verilerinin jeofizik, jeoloji, maden ve petrol arama gibi yer bilimlerinin diğer alanlarında kullanılmasına olanak sunacak altyapının geliştirilmesini amaçlayan çok yönlü bir projedir. Proje sonunda GNSS kullanıcılarının gerçek zamanda ve her türlü hava koşulunda birkaç santimetre doğrulukla ortometrik yükseklik üretilibilmeleri olanaklı hale gelecektir. Böylelikle hassas yükseklik ölçmelerinde kullanılan, yüksek maliyetli, zaman alıcı ve uygun hava koşullarına bağımlı geometrik nivelman yöntemine kullanıcı seviyesinde büyük ölçüde son verilecek, bunun yerine göreceli olarak daha ucuz, hava koşullarından bağımsız uydu konumlama teknikleri ve/veya LİDAR, radar altimetre gibi sistemlerle anlık ortometrik yükseklik bilgisi üretilebilecektir. Ayrıca, proje sırasında arazide toplanacak yüksek duyarlılık ve homojen dağılımlı yersel gravite verileri ile birlikte tarihsel gravite verilerinin kalite kontrolü yapılarak Türkiye gravite veri altyapısı iyileştirilecektir. Bu sayede; ülkemizde yüksek maliyet gerektiren gravite veri toplama çalışmalarında tekrarlılığın önüne geçilmesi sağlanmış olacak, tarihsel gravite verileri arasındaki uyumsuzluklar giderilerek sağlıklı bir veri seti elde edilecek, Türkiye ve çevresinin gravite alanı iyileştirilecektir. Bu bildiride, henüz başlangıç safhasında olan projenin teknik ve idari detayları hakkında bilgi verilecektir.

Anahtar Sözcükler

Yükseklik Sistemi Modernizasyonu, Gravite, Jeoit, TUDKA99.

1. Giriş

1.1. Düşey Koordinat Referans Sistemleri

Ulusal/Uluslararası standartlarda topografik yükseklik bilgisi ihtiyacının karşılanması için atılması gereken ilk adım, düşey koordinat referans sisteminin tanımlanması ve oluşturulmasıdır. Düşey datum (W), yükseklik sistemi (ortometrik, normal vb.) ve gelgit sistemi (sıfır, ortalama gelgit sistemi vb.) düşey referans sisteminin tanımlanması için gerekli öğelerdir. Düşey referans sistemlerinin pratikte;

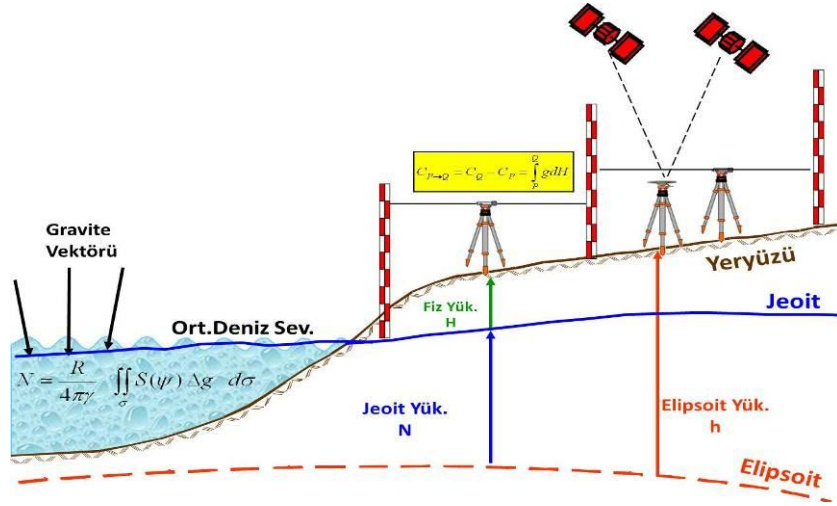
(i) Klasik Jeodezik Ağ (Düşey Kontrol Ağı - Nivelman Ağı),

(ii) Jeoit Modelleme olmak üzere iki farklı gerçekleştirim yöntemi vardır (Şekil 1) (Rummel ve Teunissen 1988; Ihde ve Augath 2002).

Birinci yöntemde, deniz kenarlarındaki iskelelere kurulmuş bir veya birden fazla deniz seviyesi ölçme istasyonunda uzun bir süre boyunca (genellikle 19 yıldan daha fazla) deniz seviyesi kayıtları tutulmakta ve bu verilerden filtreleme teknikleri ile ortalama deniz seviyesi yüzeyi hesaplanmakta ve karadaki sabit bir noktaya bağlantısı kurulmaktadır (Vaniček vd. 1980). Mareograf istasyonunda belirlenen ortalama deniz yüzeyi, yükseklik sisteminin başlangıcı ($H = 0$ metre) diğer bir değişle düşey datum olarak kabul edilmekte, karada bağlantı kurulan sabit nokta da datum noktası olarak tanımlanmaktadır. Denizden yüzlerce kilometre uzaklarda yükseklik belirleme ihtiyacı duyulduğunda her defasında datum noktasına uğramak yerine ülke genelinde belirli aralıklarla sabit noktalardan oluşan düşey kontrol veya nivelman ağı kurulmakta, yükseklik farkı ölçüleri ile düşey datum ağ noktalarında belirli hale getirilmektedir. Sonuçta datum noktasından uzakta bir kullanıcı, kendine en yakın ağ noktasına giderek düşey datum bilgisini öğrenebilmektedir.

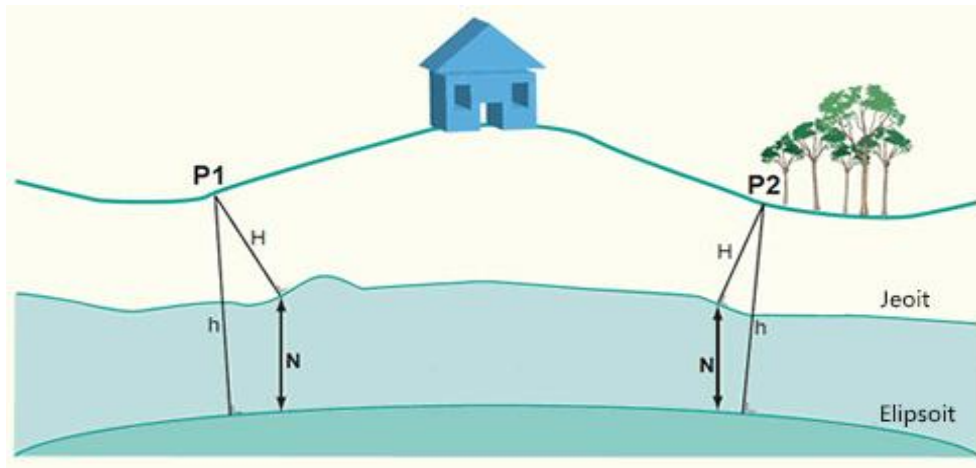
* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (312) 5952246 Faks: +90 (312) 3201495

E-posta: mehmet.simav@hgk.msb.gov.tr (Simav, M.), hasan.yildiz@hgk.msb.gov.tr (Yıldız, H.), ayhan.cingoz@hgk.msb.gov.tr (Cingöz, A.), erdinc.sezen@hgk.msb.gov.tr (Sezen, E.), nsoner@gmail.com (Demirsoy, N.S.), ilyas.akpinar@hgk.msb.gov.tr (Akpınar, İ.), okay@mta.gov.tr (Okay, H.), gurer@mta.gov.tr (Güre, A.), akcakaya@mta.gov.tr (Akçakaya, M.), svilmaz@tpao.gov.tr (Yılmaz, S.), makca@tpao.gov.tr (Akça, M.), rahsan.cakmak@tubitak.gov.tr (Çakmak, R.), baki.karaboce@tubitak.gov.tr (Karaböce, B.), enver.sadikoglu@tubitak.gov.tr (Sadıkoğlu, E.), dogan@yildiz.edu.tr (Doğan, U.)



Şekil 1: Düşey koordinat referans sistemi gerçekleştirim yöntemleri.

İkinci yöntem jeoit modelleme, teorileri geçmiş yüzyıllarda atılmış olsa da yeterli duyarlılık, doğruluk ve sıklıkta veri toplanamaması ve yoğun hesap yükünü kaldırabilecek bilgisayar kapasitesinin olmaması nedeniyle son yıllara kadar uygulanamamıştır. Ancak 1980'li yılların sonlarından itibaren GPS (ABD) ile başlayan ve daha sonra GLONASS (Rusya), GALILEO (Avrupa Birliği) ve BEIDOU (Çin) ile devam eden uydu navigasyon ve konumlama sistemleri ile 1990'lardan sonra radar, LIDAR gibi yeryüzünü haritalama amaçlı sistemlerle doğrudan topografik yükseklik belirleme ihtiyacı ortaya çıkmıştır. GNSS, radar, LIDAR gibi sistemler elipsoit yüksekliği olarak bilinen tamamen geometrik bir büyüklüğü ölçebilmektedir. Elipsoit yüksekliklerinden topografik yüksekliklere geçiş için jeoit modellerine ihtiyaç vardır. Jeoit, durgun deniz yüzeyine çakışık olduğu varsayılan sonsuz sayıda eşpotansiyelli yüzeylerden biridir. Jeoit yüzeyi; fiziksel jeodezinin üçüncü sınır değer probleminin çözümü ile elde edilir (Vaníček ve Christou 1994). Çözüm sonunda, global elipsoit yüzeyi ile jeoit yüzeyi arasında kalan jeoit yükseklikleri elde edilmektedir (Şekil 1). Hesaplamalarda çekül sapması bileşenleri, GNSS/Nivelman gözlemleri, gravite ölçüleri veya bunların birleşimleri kullanılmaktadır. Günümüzde daha çok gravite ölçüleri ile çözüme dayalı gravimetrik yöntem tercih edilmektedir. Çözüm sonunda elde edilen jeoit yüksekliklerinin doğruluk ve çözünürlüğü, çözüme giren verilerin doğruluğu ve dağılımına bağlıdır. Verilerin doğruluk ve çözünürlüğü arttıkça, jeoit modelinin doğruluk ve çözünürlüğü de orantılı olarak artmaktadır. Teorik olarak bir noktada jeoit yüksekliği hesaplanmak istenirse, dünya yüzeyinin her yerinde kesintisiz gravite verisi olması gerekmektedir. Ancak pratikte bu mümkün olmayacağından, çeşitli modifikasyon teknikleri ve global gözlem yapan gravite amaçlı uydu sistemlerinden elde edilen veriler yardımıyla problem çözülebilir hale getirilmektedir (Yıldız vd. 2012). Herhangi bir noktada GNSS, radar, LIDAR gibi sistemlerle elipsoit yüksekliği (h) ölçüldüğünde, o noktanın fiziksel yüksekliğini (H) bulmak için yüzey enterpolasyon teknikleri ile o noktada jeoit yüksekliği (N) kestirilmekte ve basit aritmetik işlem ile ($H = h - N$) noktanın fiziksel yüksekliği hesaplanabilmektedir (Şekil 2) (Fotopoulos 2003).



Şekil 2: Elipsoit yüksekliği, jeoit yüksekliği ve ortometrik yükseklik arasındaki ilişki.

Klasik jeodezik ağ yöntemi ile düşey referans sistemi gerçekleştiriminin birçok kısıtlaması vardır. Klasik jeodezik ağlar, belirli aralıklarla yer yüzeyine tesis edilmiş nokta yapılardan oluştuğundan, Yer dinamikleri (tektonik, depremler, yersel su döngüsü, deniz seviyesi değişimleri vb.) nedeniyle zamanla ağ noktalarının yatay ve düşey koordinatları değişmektedir.

Bunun yanında şehirleşme ve insan kaynaklı diğer nedenlerden dolayı nokta yapılar tahrip olmakta ve kullanılamaz duruma gelmektedir. Bu yöntemin en önemli kısıtlamalarından biri referans sisteminde süreksizlik problemini barındırmasıdır. Nivelman tekniği doğası gereği karayolu gibi sert ve olabildiğince az eğimli yüzeyler üzerinde yapıldığından, düşey datum bilgisi sadece karayolları boyunca birkaç kilometre aralıklı tesis edilen noktalarda mevcut olup, ülkenin çevre denizlerinde, göllerinde ve nivelman hatları dışında bu bilgi mevcut değildir. Elde edilmek istendiğinde yeni nivelman ölçüsüne ihtiyaç duyulmaktadır. Nivelman ağı, idamesi oldukça zor olan bir ağıdır. Nivelman gözlemleri özellikle uzun mesafelerde (>10 km) zaman alıcı ve göreceli olarak daha maliyetlidir. Bunun yanında gözlem şartları hava durumuna bağlı olup, sadece gün ışığı altında, belirli saatlerde ve uygun mevsimlerde icra edilebilmektedir. Nivelman tekniği göreceli bir tekniktir ve her gözlem sisteminde olduğu gibi bünyesinde çeşitli sistematik ve rastlantısal hatalar barındırmaktadır. Nivelmandaki hata miktarı hat uzunluğuna bağlı olarak birikerek artmaktadır. Örneğin 1 km'lik bir hatta toplam hata miktarı 3 mm ise 100 km'lik bir güzergâhta bu hata birkaç santimetreye kadar çıkabilmektedir. Klasik jeodezik düşey kontrol ağları, gerçek zamanlı konumlama uygulamalarına hizmet verememektedir. Nivelman noktalarına dayalı olarak herhangi bir yeryüzü detayının fiziksel yüksekliğini belirlemek günler bazen de özellikle uzun mesafelerde haftalar alabilmektedir.

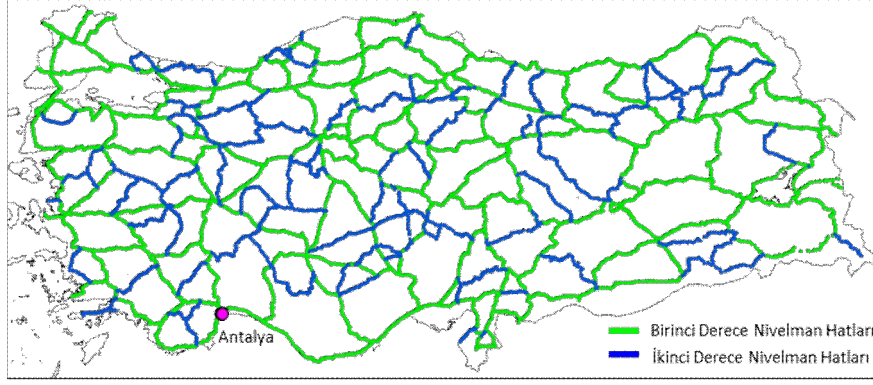
Jeoit modeli ile düşey referans sistemi gerçekleşiminin, birinci yöntemdeki klasik yaklaşıma göre üstün tarafları daha fazladır. Uygun bir jeoit modelinin üretilmesi durumunda ülke genelinde ve çevreleyen denizlerde sürekli bir düşey datum bilgisi sağlanabilecektir. Jeoit bir model olması nedeniyle, nivelman ağları gibi yeryüzünde fiziksel olarak tesis edilmemekte, sadece bilgisayar hafızalarında dosya olarak saklanmaktadır. Bu nedenle nivelman ağı noktalarının maruz kaldığı etkilere hiçbir zaman maruz kalmamaktadır. Jeoit modeli; jeodinamik aktivitelerden, yer kabuğu hareketlerinden, hidrolojik etkilere nivelman noktalarına oranla çok daha az etkilenmektedir. Jeoit yüksekliğinde 1 cm'lik bir değişim ancak ve ancak çok büyük kütle hareketleri ile mümkün olabilmektedir. Jeoit modeli ile birlikte GNSS, radar, LIDAR gibi teknolojiler kullanılarak çok kısa sürede ve çok az bir maliyetle, istenilen yer ve zamanda ve her türlü hava koşulunda fiziksel yükseklik bilgisi üretilmektedir. Jeoit modellemenin en temel kısıtlaması veri dağılımı ve veri doğruluğudur. Teorik olarak bir noktada birkaç santimetre doğrulukla jeoit yüksekliği hesaplayabilmek için yeryüzünün her yerinde kesintisiz ve 1 mGal'den daha iyi gravite doğruluğuna ve 1 desimetreden daha iyi konum doğruluğuna sahip gravite verisi gerekmektedir (Esan 2000; Hong vd. 2009). Mevcut teknolojide bu doğruluklara sahip gravite verisi ancak yersel olarak gerçekleştirilen bağıl ve mutlak gravimetri ile elde edilebilmektedir. Çeşitli politik ve milli kısıtlamalar nedeniyle ülke sınırları dışarısında yersel tekniklerle ölçülmüş gravite verisi bulmak veya temin etmek oldukça güçtür. Ülke sınırları içerisinde de özellikle sulak alanlar, denizler, kara sınırları ve sarp dağlık alanlarda yersel yöntemlerle gözlem yapmak neredeyse imkânsızdır. Yersel gravite veri açıkları karalarda GOCE, GRACE gibi global gözlem yapan gravite amaçlı uydu sistemlerinden, denizlerde ise uydu altimetre gözlemlerinden elde edilen veriler ile kapatılmaya çalışılmaktadır. Ancak uydu verilerinin de kendi içerisinde çeşitli kısıtlamaları vardır. Uydu sistemleri yeryüzünden yüzlerce hatta binlerce kilometre yükseklikte gözlem yaptıklarından lokal alanlardaki anomalileri tespit edebilecek kapasiteye sahip değildir. Veri ile ilgili bu kısıtlama sonuç jeoit modellerinde “omission” ve “comission” olmak üzere iki hataya neden olur ve model doğruluğu olumsuz yönde etkilenmektedir (Heiskanen ve Moritz 1967; Jekeli 1979). Günümüzde uydu ile yersel gözlem açıklarını kapatmak için hava araçlarıyla yerden birkaç yüz metre yükseklikten gravite ölçülmeye başlanmıştır (Forsberg vd. 2000).

1.2. Türkiye Ulusal Düşey Referans Sistemi – Mevcut Durum

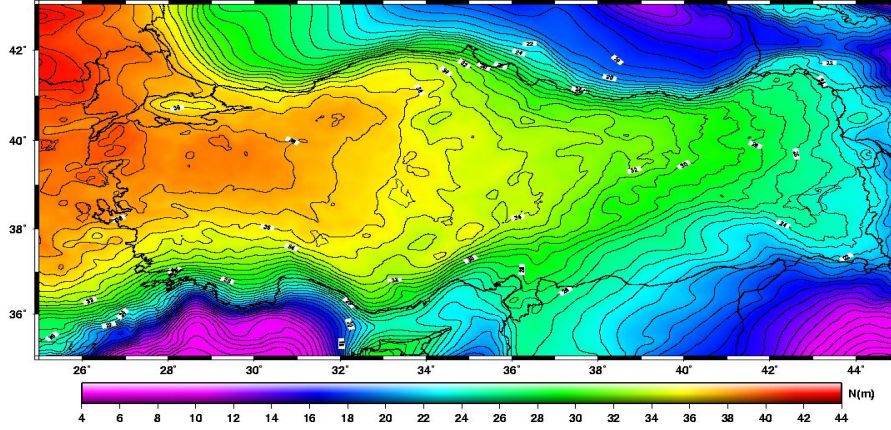
Türkiye ulusal düşey referans sistemi, 1935’li yıllarda başlayan çalışmalarla Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı (TUDKA) olarak bilinen klasik jeodezik ağ konsepti ile oluşturulmuştur. Ulusal yükseklik sisteminin gerçekleşimi olan nivelman ağı, Antalya mareograf istasyonunun 1935-1971 yılları arasındaki deniz seviyesi verilerinin ortalamasını düşey datum kabul ederek ülke geneline dağılmış yaklaşık 26,000 nokta ve 30,000 km’den oluşan bir ağıdır (Şekil 3). Ülkemizde ortometrik yükseklik sistemi kullanılmaktadır. TUDKA nivelman noktalarının yükseklikleri, noktalar arası jeopotansiyel sayı farklarının dengelemesi ile hesaplanmıştır. Bu ağ HGK tarafından 1935-1970 yılları arasında kurulmuş, nokta tahribatları ile 1999 İzmit ve Düzce depremleri nedeniyle 1972-2005 yılları arasında komple bir revizyon ve genişlemeye tabi tutulmuştur (Demir 1999).

Ülkemizde GNSS kullanıcılarının sayısının artmasına paralel olarak HGK tarafından 1990’lı yıllardan sonra jeoit modelleme çalışmalarına hız verilmiştir. 1991 yılında gravite, sayısal arazi modeli ve global jeopotansiyel model kullanılarak tüm Türkiye için ilk gravimetrik jeoit modeli TG-91, en küçük karelerle kollasyon yöntemi ile hesaplanmıştır. Bu tarihten sonra gravimetrik yöntemle üç farklı jeoit modeli daha hesaplanmış ve kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. 2008 yılında, EGM08 global jeopotansiyel modelin kullanıcılara açılmasıyla birlikte, Türkiye Hibrid Jeoidi-2009 (THG-09) hesaplanmıştır (Şekil 4). THG-09 hesabında FFT yöntemi tercih edilmiştir. Denizlerde uydu altimetre ölçülerinden üretilen DNSC08 deniz gravite anomalileri kullanılmıştır. Sayısal yükseklik modeli olarak HGK tarafından 1:25,000 ölçekli haritalardan sayısallaştırılarak üretilen 90 metre aralıklı sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. THG-09’da kara alanlarına ilişkin yersel gravite ölçüleri MTA ve TPAO’dan temin edilen ilave gravite verileri ile birlikte toplam 262,212 adettir. THG-09 jeoit modelinin ortalama doğruluğu ± 8 cm olup, gravite verisinin seyrek olduğu dağlık, sınır ve sulak alanlarda modelin doğruluğu düşmektedir (Kılıçoğlu vd. 2011).

Mevcut durumda Türkiye düşey referans sistemine dayalı yükseklik belirleme için çalışma bölgeleri içine giren TUDKA ve jeoit yüksekliği değerleri HGK tarafından sağlanmaktadır.



Şekil 3: Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı – 1999 (TUDKA-99).



Şekil 4: Türkiye Hibrid Jeoit Modeli-2009 (THG-09)

2. Türkiye Yükseklik Sisteminin Modernizasyonu ve Gravite Altyapısının İyileştirilmesi Projesi

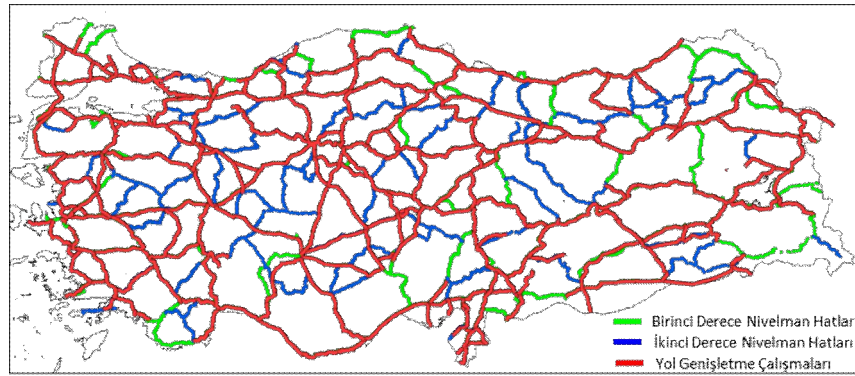
2.1. Projenin Gerekçesi

Yükseklik Sistemi Modernizasyonu fikri;

- (i) Yüksek tahribat oranı nedeniyle TUDKA nivelman noktaları sayısının gün geçtikçe azalması,
- (ii) Tahrip olmayan mevcut nivelman noktalarının Yer dinamikleri nedeniyle yatay ve düşey koordinatlarında değişimler olması,
- (iii) Türkiye Jeoit Modellerinin hesaplanmasında ve testinde kullanılan gravite ve GNSS/Nivelman verilerinin çözünürlük ve doğruluğunun arzu edilen düzeyde olmaması,
- (iv) Bugüne kadar hesaplanan Türkiye Jeoit Modellerinin doğruluğunun yeterli düzeye erişememiş olması, bu nedenle doğrudan fiziksel yükseklik belirlemede kullanılamaması,
- (v) Kullanıcılardan alınan geri beslemeler doğrultusunda Türkiye düşey referans sistemine bağlı yükseklik belirlemede ciddi problemler yaşanmaya başlanması,
- (vi) Mevcut Türkiye düşey referans sisteminin TUSAGA-Aktif gibi gerçek zamanlı uygulamalara hizmet edememesi,
- (vii) Düşey referans sistemi oluşturmada bünyesinde birçok zafiyeti bulunduran klasik yaklaşımın terk edilerek, yerine uzay tekniklerinin sunduğu fırsat ve avantajlardan yararlanma olanağı sağlayacak bir sistemin hayata geçirilmesi gibi gerekçelerle ortaya çıkmıştır.

Nivelman nokta yerleri; kolay bulunabilme, su alanlarından uzak olma, sert zemin gibi bazı kriterlere göre seçilmektedir. Özellikle yüzeyin altına gömülerek tesis edilen noktalar ihtiyaç duyulduğunda bulunabilmeleri için röper

olarak alınabilecek yol yapılarına (köprü, menfez, durak vb.) yakın olarak yerleştirilmişlerdir. Bu ise yol genişletme çalışmalarında nivelman noktalarının genişleyen yol altında kalması nedeniyle bir daha bulunamaması ve kullanılamamasına neden olmaktadır. Türkiye’de ikinci periyot nivelman ölçülerine başlanılmasının temel gerekçesi yapılaşma nedeniyle hatların tahrip olması ve yenilenmesi ihtiyacıdır. Yollardaki özellikle genişletme çalışmaları nedeniyle gömülü noktalar tahrip olmasalar bile yolun altında kaldığından ve röperleri kaybolduğundan bir daha bulunamamaktadır. Yer noktalarına ilave olarak açıkta inşa edilen duvar noktaları da bilinçli/bilinçsiz olarak tahrip edilmektedir. Ülkemizde devam eden yoğun bölünmüş yol çalışmaları nedeniyle tabiatı gereği karayolları boyunca tesis edilen ve ülkemizi bir örümcek ağı gibi saran nivelman ağı noktalarında %70’lere ulaşan ve giderek artan oranda devam eden yoğun bir tahribat söz konusudur. HGK tarafından 2000-2005 yılları arasında gerçekleştirilen nivelman çalışmaları esnasında yapılan nokta keşifleri sonucunda, nivelman ağında ortalama %49 oranında bir tahribat olduğu tespit edilmiştir. Yine HGK tarafından Mayıs-Temmuz 2011 tarihleri arasında 10,000 km’lik nivelman hattında keşfi yapılan yaklaşık 9000 noktanın %63’ünün tahrip olduğu tespit edilmiştir. Ülkemizde bölünmüş yol yapım çalışmaları halen devam etmektedir. Karayolları Genel Müdürlüğü’nden temin edilen ve 2009 yılı sonu itibarıyla Türkiye’de yol genişletme çalışması gerçekleştirilmiş veya gerçekleştirilmekte olan yollara ait bilgiler TUDKA hatları ile çakıştırılmış ve Şekil 5’de verilen harita elde edilmiştir. Haritadan da anlaşılacağı üzere ülkemizde sadece yol genişletme çalışmaları nedeniyle ülke nivelman ağındaki tahribatın gün geçtikçe artacağı değerlendirilmektedir (Sezen vd. 2012).



Şekil 5: Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı ve yol genişletme çalışmaları.

Nivelman ağındaki noktalar tahrip olmasalar bile ölçüldükleri günden bu yana jeofiziksel ve hidrolojik dinamikler nedeniyle deformasyona maruz kalmakta, bunların başında da yer kabuğu hareketleri ve yer altı suları gelmektedir. Ülkemizin tektonik olarak üç ana plaka (Avrasya, Anadolu ve Arap) üzerinde yer alması ve plakaların birbirlerine göre farklı yönlerde hareket etmesi; hem ana plakaların birleşim yerlerinde hem de plakaların içinde farklı yönlerde intersismik hareketlere neden olmaktadır. Bunun sonucunda yatay koordinat değişiminin yanında noktalar düşey yönde de hareket etmektedir (Aktuğ vd. 2009). İzmit ve Düzce’de 1999’da meydana gelen depremler sonrasında depremin etkilediği değerlendirilen bazı nivelman hatlarında yenileme ölçüleri yapılmıştır. Deprem öncesi ve sonrası yüksekliklerin karşılaştırılmasında -52.7 ile +28.8 cm arasında değişen yer değiştirmeler belirlenmiştir (Demir 1999). Özellikle tarım faaliyetlerinin yoğun olarak yürütüldüğü Söke, Gediz, Çukurova gibi ovalara yakın nivelman hatlarındaki noktalarda yer altı su çekilmesi nedeniyle desimetrelere varan büyüklüklerde düşey yönde yer değiştirmelerin olduğu kullanıcılardan alınan geri beslemelerden bilinmektedir.

GNSS, radar, LIDAR gibi tekniklerle doğrudan fiziksel yükseklik belirleyebilmek için birkaç santimetre doğruluğa sahip ve yüksek çözünürlüklü jeoit modeline ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkemizde bugüne kadar hesaplanan jeoit modellerinin doğruluğu ± 10 cm civarında olup, dağlık alanlarda, sınırlarda ve sulak alanlarda modellerin doğruluğu düşmektedir. Son hesaplanan THG-09 jeoit modelinin hesabında TG-99A ve TG-03 jeoit modellerine göre yaklaşık 4 kat daha fazla yersel gravite verisi, yeni yer potansiyel modeli, yüksek çözünürlüklü sayısal arazi modeli kullanılmasına rağmen anlamlı bir doğruluk artışı sağlanamamıştır (Kılıçoğlu vd. 2011). Bunun en temel nedeninin mevcut gravite verilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Türkiye jeoit modeli hesaplamalarında kullanılan ulusal gravite veri kütüğü; HGK, MTA ve TPAO tarafından farklı amaçlara yönelik olarak toplanan yersel gravite verilerinden oluşmaktadır. Halen ulusal gravite veri kütüğünde yaklaşık 286,000 gravite verisi bulunmaktadır. Veri setleri arasında; kullanılan koordinat referans sisteminden, konumlama tekniğinden, iyi kalibre edilmemiş gravite ölçerlerden, uygun ölçme yöntemlerinin uygulanmamasından ve gravite ölçülerine getirilmesi gereken düzeltmelerden kaynaklandığı düşünülen birtakım sistematik ve kaba hatalar mevcuttur. Yapılan basit tekrarlılık analizlerinde MTA ve TPAO gravite referans sistemleri arasında datumdan kaynaklanan bir kayıklık tespit edilmiştir. Çapraz doğrulama analizlerinde ise HGK, MTA ve TPAO gravite verileri arasındaki farklarının standart sapmalarının ± 10 mGal düzeyinde olduğu görülmüştür. Bu değer üç kurumun verileri arasındaki uyumunun arzu edilen düzeyde olmadığını göstermektedir (Simav vd. 2012).

Veri dağılımı açısından değerlendirildiğinde, MTA verilerinin nispeten homojen dağılımından dolayı ortalama veri aralığı yaklaşık 4-5 km’dir. Ancak halen dağlık alanlarda, göllerde, kıyı alanlarında ve ülke sınırlarında gravite verisi çok seyrek veya hiç bulunmamaktadır. İlk değerlendirmelere göre gravite verilerin karesel ortalama hatası 8-10 mGal

arasındadır. Ancak daha kapsamlı bir kontrol aşaması ile şüpheli verilerin ayıklanması durumunda bu hatanın azalacağı ancak veri sayısında da kısmen azalma olacağı düşünülmektedir. Literatüre göre ülkemizde birkaç santimetre doğruluklu jeoit modeli için gereken dağılıma ve doğruluğa henüz ulaşamadığı düşünülmektedir (Simav vd. 2012).

Jeoit modellerinin bağımsız olarak test edilmesinde GNSS/Nivelman noktaları olarak bilinen, hassas elipsoit yüksekliği ile fiziksel yüksekliği belirli noktalar kullanılmaktadır. Çeşitli kaynaklardan elde edilen ve Türkiye jeoit modellerinin hesaplanmasında ve testlerinde kullanılan GNSS/Nivelman noktalarında da çeşitli problemler olduğu düşünülmektedir. Bu noktalardaki GNSS gözlemlerinin değerlendirme stratejisi ve nivelman tekniği (seri veya hassas) hakkında yeterli bilgi mevcut değildir. Tutarlı bir referans sisteminde bu noktaların sayısının artırılmasına, nivelman ve GNSS gözlemlerinin eş zamanlı yapılmasına ihtiyaç vardır (İnam vd. 2012). Son olarak jeoit modeli hesaplama yaklaşım ve yönteminin de sonuç jeoidin doğruluğunu etkilediği, bu maksatla literatürdeki yeni yaklaşım ve yöntemlerle bir jeoit modelinin hesaplanmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Bu temel problemlerin yanında günümüzde gerçek zamanlı uygulamalar hız kazanmaya devam etmektedir. Örneğin ofisten kilometrelerce uzakta bir istasyonda ölçülen veriler anlık olarak ofise iletilmekte, otomatik yazılımlarla çeşitli ürünler, düzeltmeler vb. hazırlanmakta ve çok kısa bir sürede kullanıcılara sunulmaktadır. TUSAGA-Aktif sistemiyle arazideki GNSS kullanıcıları yakın gerçek zamanda santimetre duyarlılığında yatay koordinat belirleyebilmektedir. Ancak mevcut klasik düşey referans sisteminin getirdiği kısıtlamalar nedeniyle çok kısa sürede yatay koordinatlarını belirlediği noktanın fiziksel yüksekliğini belirlemek günler bazen de haftalar alabilmektedir. Ülkemizde mühendislik ölçmeleri gerçekleştiren kamu ve özel kuruluşların birçoğu TUSAGA-Aktif sisteminden yararlanmakta, uzay tekniklerinin sunduğu fırsat ve avantajları kullanmaktadır. Bu avantaj ve fırsatları fiziksel yükseklik belirlemede de kullanmak için çeşitli platformlarda HGK'ya taleplerde bulunmaktadır.

2.2. Projenin Amacı

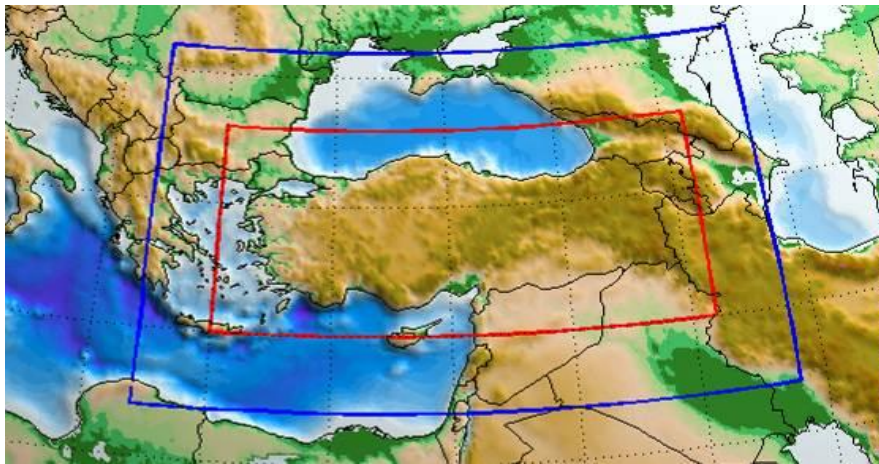
Hâlihazırda ihtiyaçlara neredeyse cevap veremeyecek duruma gelen ülke yükseklik sistemini bilimsel ve teknolojik gelişmeler ışığında ve dünyadaki yeni yaklaşımlarla modernize ederek;

(i) Mühendislik uygulamalarında kullanılan Yer gravite alanına dayalı fiziksel yüksekliklerin yüksek duyarlılıkta ve gerçek zamanda belirlenmesine imkân sağlayacak, aynı zamanda eski sistemle uyumlu olacak yeni bir düşey referans sistemi tanımlamak ve pratikteki gerçekleştirmesini yapmak,

(ii) Düşey referans sisteminin gerçekleştirimi sırasında ülke genelinde toplanacak yersel gravite verilerinin jeofizik, jeoloji, maden ve petrol arama gibi yer bilimlerinin diğer alanlarında kullanılmasına olanak sunacak altyapıyı geliştirmektir.

2.3. Projenin Uygulama Yeri

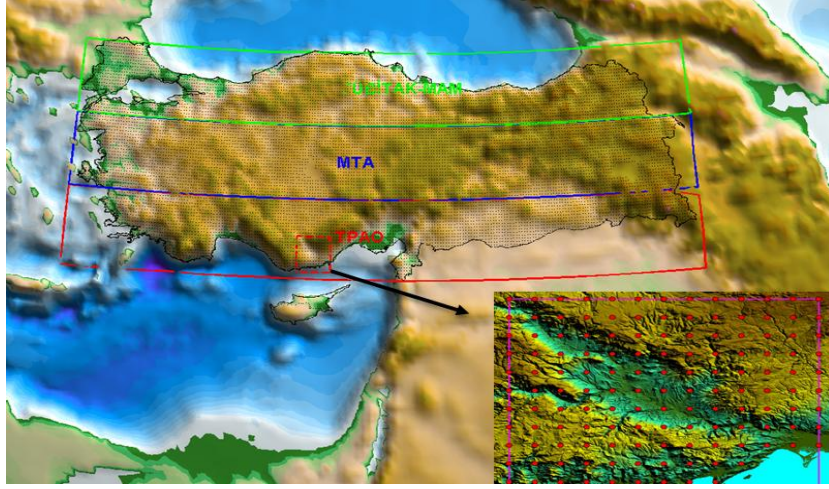
Proje uygulama alanı; Anadolu, Trakya ve adalar dâhil 25°D-46°D doğu boylamları ile 35°K-43°K kuzey enlemleri arasında kalan, doğu-batı yönündeki genişliği yaklaşık 1840 km, kuzey-güney yönündeki genişliği ise 890 km olan bölgedir. Uygulama alanının 3° dışında kalan ve 22°D-49°D doğu boylamları ile 32°K-46°K kuzey enlemleri arasını kapsayan alan hassas jeoit hesaplamalarında dış hesap bölge sınırı olarak kullanılacaktır (Şekil 6).



Şekil 6: Proje uygulama alanı.

Projenin üçüncü iş paketi olan bağıl gravimetri çalışmaları kapsamında, ülke genelinde büyük su alanları (Marmara Denizi, göller, nehirler, boğazlar) hariç karasal alanlarda 5 yay dakikası (yaklaşık 10 km) aralıklı toplamda 13,000'e yakın

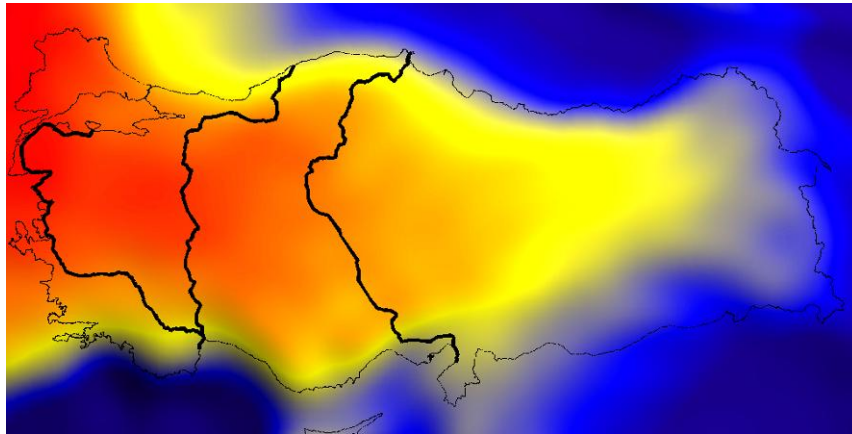
nokta tesisi yapılacak ve noktalar üzerinde bağıl gravite okumaları icra edilecektir. Noktaların yaklaşık konumları ve yürütücülere dağılımı Şekil 7'de gösterilmektedir. Projenin dördüncü iş paketi olan mutlak gravimetri çalışmaları kapsamında, yaklaşık konumları Şekil 8'de gösterilen 73 noktada nokta keşfi ve tesisi yapılarak A-10 mutlak gravimetresi ile gravite gözlemleri icra edilecektir. Projenin beşinci iş paketi olan GNSS/Nivelman çalışmaları kapsamında Şekil 9'da gösterilen ve jeoit modelinin ± 20 m değişim gösterdiği yaklaşık 2800 km'lik karayolu güzergâhı boyunca, ortalama 1 km aralıklarla ara, 5 km aralıklarla ise ana GNSS/Nivelman nokta işaretleri inşa edilecektir. Ana GNSS/Nivelman noktaları üzerinde 24-48 saat aralığında GNSS gözlemleri yapılacak, ana ve ara noktalar arası yükseklik farkları motorize nivelman tekniği ile ölçülecektir. İhtiyaç duyulması durumunda ilave GNSS/Nivelman hatlarının ölçülmesi planlanmaktadır.



Şekil 7: Bağıl gravimetri yaklaşık nokta yerleri ve yürütücülere dağılımı.



Şekil 8: Mutlak gravimetri yaklaşık nokta yerleri.



Şekil 9: GNSS/Nivelman ana ve ara nokta yerleri ve motorize nivelman güzergahı.

2.4. Projenin Teknik İçeriği

Projenin teknik anlamda;

(i) *Veri Toplama* (Bağıl ve mutlak yersel gravimetri, hava gravimetrisi, motorize nivelman ve GNSS teknikleriyle arazide veri toplama),

(ii) *Veri Değerlendirme* (Arazide toplanan verilerden parametre kestirim teknikleriyle anlamlı fiziksel değerlerin elde edilmesi, istatistiksel yöntemlerle kalite kontrol ve kalite doğrulama çalışmaları),

(iii) *Modelleme ve Validasyon* (Kalite doğrulamasından geçirilmiş yersel veriler ve uydu gözlemleri kullanılarak spektral ve kollokasyon teknikleriyle bölgesel jeoit modelleme ve model testleri),

(iv) *Veri Depolama ve Sunum* (Proje kapsamında toplanan gravite ve GNSS/Nivelman verilerinin depolanması için ilişkisel veritabanı tasarımı ve gerçekleşimi, verilerin web üzerinden sunumu, jeoit kestirimlerinin TUSAGA-Aktif üzerinden kullanıcılara iletimi) olmak üzere dört temel ayağı vardır.

2.5. Projenin Bileşenleri (İş Paketleri)

Projenin başarıyla hedeflerine ulaşabilmesi için arazi ve büro çalışmalarından oluşan toplam 10 iş paketi oluşturulmuştur. Birinci iş paketi, arazi çalışmalarında kullanılacak mutlak ve bağıl gravimetreler, hava gravimetresi, portatif meteoroloji sensörleri, motorize nivelman ve GNSS ekipmanlarının yurt içi ve dışından tedarik süreci ile çalışmalarda kullanılacak yer nokta işaretlerinin imalat sürecini kapsamaktadır. Bu iş paketi HGK ve TÜBİTAK UME tarafından gerçekleştirilecektir.

İkinci iş paketi, ulusal ölçekte bağıl gravite ölçme ve değerlendirme standartlarının oluşturulması, arazi öncesi eğitimler, test ve kalibrasyon çalışmalarını içermektedir. Bu iş paketine tüm yürütücüler iştirak edecektir.

Üçüncü ve dördüncü iş paketleri sırasıyla bağıl ve mutlak gravimetri keşif, nokta tesisi, ölçme ve analizlerinden oluşan arazi ve büro çalışmalarını kapsamaktadır. Üçüncü iş paketi HGK, MTA, TPAO ve TÜBİTAK MAM tarafından, dördüncü iş paketi ise HGK ve TÜBİTAK UME tarafından gerçekleştirilecektir.

Beşinci iş paketi sonuç ürünün testi için gerekli GNSS/Nivelman ana ve ara noktalarının yer keşfi ve tesisi ile bu noktalar arasında ve üzerinde motorize nivelman/bağıl gravite/GNSS ölçmelerini ve analizlerini içermektedir. Bu iş paketi HGK tarafından gerçekleştirilecektir.

Altıncı iş paketi kurum envanterlerinde mevcut tarihsel gravite verilerinin kalite kontrolü ve kalite doğrulaması, yedinci iş paketi yeni ve tarihsel verilerin depolanması ve sunumu amacıyla ulusal gravite veritabanının kurulması, sekizinci iş paketi jeoit modelleme, dokuzuncu iş paketi TUSAGA-Aktif sistemi üzerinden jeoit kestirimi ve iletimi, onuncu iş paketi ise raporlama ve yeni düzey referans sisteminin resmi olarak kullanıcılara duyurulmasını içeren büro çalışmalarından oluşmaktadır. Altıncı, yedinci, sekizinci, dokuzuncu ve onuncu iş paketleri HGK tarafından yürütülecek olup, ihtiyaç duyulması durumunda diğer yürütücülerden teknik ve idari destek alınacaktır.

2.6. Projenin Zaman Takvimi

Projenin Nisan 2015'te başlayıp, Nisan 2020'de bitecek şekilde toplam 5 yıl sürmesi planlanmaktadır. Başlangıçtan sonraki ilk 10 aylık dönemde birinci iş paketinin, 12 aylık dönemde ise ikinci iş paketinin tamamının bitirilmesi öngörülmektedir. 2016, 2017, 2018 ve 2019 yıllarının ilk 3-4 aylık dönemleri; üçüncü, dördüncü ve beşinci iş paketlerinde yer alan arazi çalışmaları öncesi hazırlıklar ve planlama çalışmalarına ayrılmıştır. Söz konusu yılların Mart-Nisan aylarından başlamak ve Ekim aylarında tamamlanmak üzere arazi görevleri planlanmış, Kasım-Aralık ayları ise veri dönüşümü, teslimi, veri analizleri, yılsonu çalıştay ve toplantılarına ayrılmıştır. Altıncı ve yedinci iş paketlerinin 2017 ve 2018 yıllarında tamamlanması öngörülmektedir. Sekizinci iş paketinin hazırlıklarına 2018 yılı başında başlanması arazi görevlerinin tamamlanıp uygun veri kümesinin hazırlanmasını müteakip 2020 yılı Ocak ayında nihai ürünün oluşturulması planlanmaktadır. 2019 yılı sonlarında başlamak ve 2020 yılı başlarında tamamlanmak üzere dokuzuncu iş paketinin bitirilmesi öngörülmektedir. 2020 Ocak ve Nisan ayları arası proje sonuç raporunun hazırlanması ve yeni düzey referans sisteminin resmi olarak kullanıcılara duyurulmasına ayrılmıştır.

2.7. Proje Organizasyonu

Proje, beş kamu kurum ve kuruluşunun işbirliği ile gerçekleştirilecek olup yürütücü kuruluşlar HGK, MTA, TPAO, TÜBİTAK MAM ve TÜBİTAK UME'dir. HGK aynı zamanda koordinatör kurum olarak görev yapacaktır. Yürütücüler arasındaki görev paylaşımı, bu proje için özel olarak hazırlanan işbirliği protokolü ile sağlanmaktadır. Projede karşılaşılabilecek teknik problemlerin çözümüne destek olmak, projenin üniversite ile bağlantısını sağlamak, düzey referans sistemleri ve gravite alanı modelleme konusunda öğrenci yetiştirmek maksadıyla YTÜ'den bir öğretim üyesi danışman olarak görev yapmaktadır. Projede; HGK'dan 16, MTA'dan 10, TPAO'dan 10, TÜBİTAK MAM'dan 9, TÜBİTAK UME'den 6 ve YTÜ'den 1 olmak üzere toplam 52 personel görev alacaktır. Proje yürütücü kuruluşlarının her

biri ülke genelinde kendi alanlarında lider kuruluş olma özelliği taşımaktadır. Bu büyüklükteki ve içerikteki projelere yakın ve hatta daha büyük projeleri başarıyla tamamlamış, birçoğu yükseköğrenimini tamamlamış yönetici, mühendis ve teknisyenlerden oluşan ülkenin saygın kuruluşlarıdır.

2.8. Proje Çıktıları

Proje; harita ve harita bilgisi üreten, CBS amaçlı ölçüler gerçekleştiren, mühendislik etüt ve projeleri için hassas konum ölçmeleri yapan ve Yer gravite alanı ile ilgili çalışmalar gerçekleştiren her kamu kurum ve kuruluşu ile üniversite ve özel sektörü hedef almaktadır. Proje kapsamında üretilecek hassas jeoit modelinden yararlı istenilen yer ve zamanda düşey datum bilgisi sağlanarak, GNSS kullanıcıların gerçek zamanda ve her türlü hava koşulunda fiziksel yükseklik bilgisi üretilebilmeleri olanaklı hale gelecektir. Böylelikle hassas yükseklik ölçmelerinde kullanılan, oldukça maliyetli, zaman alıcı ve uygun hava koşullarına bağımlı geometrik nivelman yöntemine kullanıcı seviyesinde son verilecek, bunun yerine göreceli olarak daha ucuz, hava koşullarından bağımsız uydu konumlama teknikleri ve/veya LIDAR, radar altimetre gibi sistemlerle anlık fiziksel yükseklik bilgisi üretilebilecektir.

Proje sırasında arazide toplanacak yüksek duyarlılık ve homojen dağılımlı yersel gravite verileri ile birlikte tarihsel gravite verilerinin kalite kontrolü yapılarak bir veri altyapısı kurulacaktır. Bu sayede; MTA, TPAO, TÜBİTAK gibi yer bilimleri araştırmaları ile maden ve petrol arama amacıyla gravite verisine ihtiyaç duyan kurumların hizmetine sunularak yüksek maliyet gerektiren veri toplama çalışmalarında tekrarlılığın önüne geçilmesi sağlanmış olacak, tarihsel gravite verileri arasındaki uyumsuzluklar giderilerek sağlıklı bir veri seti elde edilecek, yeni ve güncel verilerle iyileştirilecek gravite veri altyapısı sayesinde MTA, TPAO gibi kurumlar jeolojik ve jeofizik haritalarını güncelleyerek maden ve petrol arama amaçlı yorumlarını geliştirebilecek, TÜBİTAK MAM gibi yer bilimleri ile ilgilenen kurum, kuruluş ve üniversiteler yer gravite alanına dayalı bilimsel çalışmalarında güncel gravite alanı modelinden yararlanabilecektir.

Yukarıda sayılan çıktılar yanında proje ile ülkemizde bazı ilkler gerçekleştirilecektir. Örneğin gelişmiş ülkelerde son yıllarda uygulanan hava gravimetrisi ve motorize nivelman tekniğini (Şekil 10), ilk defa ülkemizde uygulama fırsatı doğacaktır. Dünya'daki en doğru ve duyarlı mutlak gravimetre olarak kabul edilen ve sayılı kurumun envanterinde bulunan FG5-X cihazı (Şekil 10) proje kapsamında temin edilecek ve bazı mutlak gravite noktalarının duyarlılığı yanında doğruluğu konusunda da bilgi sahibi olunacaktır. Bu alet aynı zamanda TÜBİTAK UME tarafından metroloji amaçlı hassas çalışmalarda da kullanılacaktır. Ülkemizde yer bilimleri ve gravite ölçme alanında faaliyet gösteren beş önemli kurum ilk defa bu kadar uzun süreli ve büyük bir projede beraber çalışma fırsatı yakalamış olacak, kurumlar arası işbirlikleri daha da gelişecektir. Proje, Türkiye'deki diğer kurumlar için birlikte çalışabilirlik örneği olacaktır.



Şekil 10: Motorize nivelman araç ve gereçleri, FG5-X mutlak gravimetresi ve hava gravimetresi.

Teşekkür

Projeye maddi destek sağlayan Türkiye Cumhuriyeti Kalkınma Bakanlığına, projenin her aşamasında desteklerini esirgemeyen idari birimlerimize, arazi ve büro çalışmalarında görev alacak tüm personelimize teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Aktuğ B., Lenk O., Gürdal M.A., Kılıçoğlu A., (2009), *Establishment of Regional Reference Frames For Detecting Active Deformation Areas in Anatolia*, *Studia Geophysica et Geodaetica*, 2, 53, 169-183.
- Demir C., (1999), *Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99)*, Teknik Rapor, JEOFNİV-02-1999, HGK, Ankara.
- Esan O., (2000), *Spectral Analysis of Gravity Field Data and Errors in view of Sub-Decimeter Geoid Determination in Canada*, Yüksek Lisans Tezi, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Kanada.
- Forsberg R., Olesen A., Bastos L., Gidskehaug A., Meyer U., Timmen L., (2000), *Airborne geoid determination*, *Earth Planets Space*, 52, 863-866.
- Fotopoulos G., (2003), *An Analysis on the Optimal Combination of Geoid, Orthometric and Ellipsoidal Height*, Doktora Tezi, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Kanada.
- Heiskanen W.A., Moritz H., (1967), *Physical Geodesy*, W.H. Freeman and Company San Francisco.
- Hong C.K., Kwon J., Lee B.M., Lee J., Choi Y.S., Lee S.B., (2009), *Effects of gravity data quality and spacing on the accuracy of the geoid in South Korea*, *Earth Planets Space*, 61, 927-932.
- Ilde J., Augath W., (2002), *The European Vertical Reference System (EVRS), Its relation to a World Height System and to the ITRS*, Proceedings of the IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, IAG Symposia, Vol. 125, 78-83, Springer Berlin.
- İnam M., Simav M., Türkezer A., Akyol S., Direnç A., Kurt A.İ., Kurt M., (2012), *Mevcut GPS/Nivelman Veri Kümesinin Jeoit Modelleme Açısından Değerlendirilmesi*, TUJK 2012, Türkiye Yükseklik Sisteminin Modernizasyonu Çalıştayı, Zonguldak.
- Jekeli C., (1979), *Global accuracy estimates of point and mean undulation differences obtained from gravity disturbances, gravity anomalies and potential coefficients*, Report No. 288, Ohio State University, Department of Geodetic Science, USA.
- Kılıçoğlu A., Direnç A., Yıldız H., Bölme M., Aktuğ B., Simav M., Lenk O., (2011), *Regional gravimetric quasi-geoid model and transformation surface to national height system for Turkey (THG-09)*, *Studia Geophysica et Geodaetica*, 55, 557-578.
- Rummel R., Teunissen P., (1988), *Height datum definition, height datum connection and the role of the geodetic boundary value problem*, *Bulletin Géodésique*, 62, 477-498.
- Sezen E., Türkezer A., Simav M., Kurt A.İ., Kurt M., Lenk O., (2012), *Türkiye Ulusal Nivelman Ağı Çalışmalarına Genel Bir Bakış*, TUJK 2012, Türkiye Yükseklik Sisteminin Modernizasyonu Çalıştayı, Zonguldak.
- Simav M., Direnç A., Türkezer A., Kurt A.İ., Kurt M., (2012), *Türkiye Yersel Gravite Veri Kütüğü Hakkında Değerlendirme*, TUJK 2012, Türkiye Yükseklik Sisteminin Modernizasyonu Çalıştayı, Zonguldak.
- Vaníček P., Castle R.O., Balazs E.I. (1980), *Geodetic leveling and its applications*, *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 18, 505-524.
- Vaníček P., Christou N.T., (1994), *Geoid and its Geophysical Interpretations*, CRC Press Inc.
- Yıldız H., Forsberg R., Agren J., Tscherning C.C., Sjöberg L.E., (2012), *Comparison of remove-compute-restore and least squares modification of Stokes' formula techniques to quasi-geoid determination over the Auvergne test area*, *Journal of Geodetic Science*, 2(1), 53-64.

