

RÜZGAR TESİSLERİNDE ÜÇ BOYUTLU YÜZEY MODELİNİN HAZIRLANMASI

Samet Tüzünoğlu¹, Dolunay Güçlüer Küpeli², Utku Ünal³, Ömer Emre Orhan⁴

^{1,2,3,4}Borusan EnBW Enerji,

¹stuzunoglu@borusan.com, ²dgucluer@borusan.com, ³uunal@borusan.com, ⁴oeorhan@borusan.com

ÖZET

Teknolojinin sürekli büyüyen bir hızla yenilikler ortaya koyduğu çağımızda, bu yenilikleri takip etmek ve iş akış süreçlerine dahil etmek büyük önem kazanmıştır. Bu kapsamda insansız hava araçlarının kullanımı, batarya kapasitelerinin ve elektronik aksamaların gelişmesi ile birlikte gün geçtikçe artmaktadır. İnsansız hava araçlarının kullanılarak fotogrametrik yöntemler ile birleştirilmesi sonucunda üç boyutlu yüzey modelleri oluşturulabilmektedir.

Rüzgar santrallerinin tüm süreçlerinde, özellikle tasarım ve enerji üretim analizleri gibi konularda harita gereksinimi mevcuttur. Haritalar ise genellikle yersel yöntemlerle yapılmaktadır. Bu durum topoğrafyanın zor olduğu ya da santral sahasının geniş olduğu durumlarda sahada kalma süresini uzatmakta ve santral devreye alınma süresini etkilemektedir. Bazı durumlarda ise uydu görüntülerinin ve çeşitli ücretsiz harita programlarının kullanımı mümkündür. Ancak programların kullandığı uydu görüntülerinin tarihleri güncelden uzak olabilmekte ayrıca arazi modeli her zaman istenilen doğruluğu sağlayamayabilmektedir. Projelerin yatırım süreçlerinin hızlandırılması adına drone'ların mühendislik süreçlerine eklenmesi büyük faydalar sağlamaktadır.

1. GİRİŞ

Bir arazi yüzeyini üç boyutlu olarak tanımlama ve arazi ait yükseklik verilerinin sayısal ortama aktarılması işi sayısal yükseklik modeli olarak adlandırılır. Bu modelleri oluşturmada kullanılan geleneksel yöntemlerden biri, araziden elde edilen kontur haritalarının enterpolasyon yöntemiyle birleştirilmesidir. Günümüzde ise çeşitli teknolojik imkanlardan faydalanılmaktadır. Bu teknolojiler, uzaktan algılama sistemleri ve fotogrametrik yöntemler ile geliştirilmiştir. Sayısal modeller üzerinde üç farklı bilgi yer almaktadır ve bu bilgiler model üzerindeki noktanın uzaydaki konumunu tanımlayan koordinatlardır. Bu bilgiler yatayda x ve y koordinatları ile, dikeyde ise z koordinatı olarak tanımlanır. [1]

Rüzgar santrallerinin üretim hesaplarının yapılması sırasında DEM (Dijital Yükseklik Haritası) kullanılmaktadır. Bunların içerisinde en yaygın olarak kullanılan haritalardan biri ise NASA'nın geliştirdiği SRTM - Shuttle Radar Topography Mission haritalarıdır. 2014 yılında yayınlanan yeni haritalar ile, eski versiyonunda 3 ark saniye yaklaşık 90m olan çözünürlük yeni versiyon ile 1 ark saniyeye yaklaşık olarak 30m'ye yükseltilmiştir. [2]

Rüzgar santrallerinin üretim hesaplarının yapılması sırasında kullanılan bir diğer harita ise yüzey pürüzlülük haritalarıdır. Pürüzlülük haritalarında kullanılan veriler ise European Environment Agency (Avrupa Çevre Ajansı)'nın geliştirdiği 100m çözünürlükteki haritalardır. Bu haritalar, deniz yüzeyinden yoğun bitki örtülerine kadar 44 farklı sınıftaki pürüzlülük hakkında bilgi verir. [3]

Rüzgar enerjisi üretim hesaplarında kullanılan arazi yükseklik modeli ve pürüzlülük haritaları, inşaat işleri gibi detay çalışma gerektiren alanlarda çözünürlük ve hassasiyet bakımından yetersiz kalmaktadır. Tablo 1’de çeşitli kaynaklardan alınan haritaların özellikleri yer almaktadır.

Tablo 1. Çeşitli dijital haritalar ve onların doğrulukları [4]

DEM (DSM / DTM) Çeşitleri					
Tip	Çözünürlük	DTM	DSM	Dikey Doğruluk	Yatay Doğruluk
Digital Globe Advanced Elevation Series *	8 m	Haritalama		Bağıl (LE90): 5 m Mutlak(LE90): 8 m	Bağıl (CE90): 8 m Mutlak (CE90): 10 m
	4 m	Hassas		Bağıl (LE90): 2 m Mutlak(LE90): 4 m	Bağıl (CE90): 4 m Mutlak (CE90): 5 m
	2 m	Çok Hassas		Bağıl (LE90): 1 m Mutlak(LE90): 2 m	Bağıl (CE90): 2 m Mutlak (CE90): 3 m
	8 m		Haritalama	Bağıl (LE90): 5 m Mutlak(LE90): 8 m	Bağıl (CE90): 8 m Mutlak (CE90): 10 m
	4 m		Hassas	Bağıl (LE90): 2 m Mutlak(LE90): 4 m	Bağıl (CE90): 4 m Mutlak (CE90): 5 m
	2 m		Çok Hassas	Bağıl (LE90): 1 m Mutlak(LE90): 2 m	Bağıl (CE90): 2 m Mutlak (CE90): 3 m
WordView Elevation Suite	1 m	DSM		1 m Mutlak doğruluk LE90	4.1 m CE90, 1:4800 harita ölçeği
Tri-Stereo DSM (GAF)	0.5 m	İsteğe bağlı	DSM	Mutlak Dikey Doğruluk: < 3.5m (LE90)	Mutlak Yatay Doğruluk: < 2.5m (CE90)
Euro-Maps 3D **	5 m	İsteğe bağlı	Cartosat DSM	Bağıl (LE90): 2.5 m Mutlak(LE90): 5-10 m	CE90 5-10 m
Aster GDEM	30 m	DSM		Dikey Doğruluk ~20 m (LE90)	Yatay Doğruluk ~30 m (CE90)
SRTM	90 m	DSM		Dikey Mutlak Hata ~16m	Yatay Mutlak Hata ~20m

Yukarıda bahsedilen geleneksel yöntemler dışında, haritalama işlemleri gün geçtikçe daha yaygın şekilde drone kullanılarak yapılmaktadır. Bu çalışmada, geleneksel yöntemler yerine drone kullanılarak yüzey modeli oluşturulması konu edilmiş ve bir örnek ile anlatılmıştır.

Üç boyutlu yüzey modellerinin drone kullanılarak hazırlanmasında üç farklı amaç yer almaktadır. Bu amaçlar aşağıda listelenmiştir.

- Yükseklik modelinin yersel ölçümle çıkarılması ihale süreci/ sözleşme süreci kısımları ile beraber uzun zaman almaktadır. Drone ile yapılan arazi modeli çalışmasının yersel ölçüme göre %50 daha kısa sürede oluşturulması hedeflenmektedir.
- Drone kullanılması durumunda yeni projeler ve proje geliştirme kısmında yapılan saha gezileri kısalmaktadır. Drone ile yapılan saha gezileri için harcanan süre ve maliyetin %25 azaltılması hedeflenmektedir.
- Yüzey pürüzlülük etkisi santral üretiminde yaklaşık %1’lik belirsizliğe sebep olmaktadır. Bu durumun %1’in altına çekilmesi hedeflenmektedir.

2. YERSEL ÖLÇÜM

Son yıllarda drone kullanımının artmasıyla beraber ortaya çıkan kullanım alanlarından biri de yüzey modellerinin çıkarılmasıdır. Yüzey modelleri çıkarılması için kullanılan dronelar, içindeki kontrol donanımları, kamerası, sahip olduğu pil kapasitesi gibi çeşitli konularda farklılıklar göstermektedir. Kontrol donanımları, sarsıntı önleme ve kumanda çekim mesafesi açısından birbirinden ayrılır. Pahalı donanımların kullanımı, kamera titreşimini azaltıp, kumanda çekim mesafesini maksimize ederken, amatör dronelerde bu noktalarda eksiklikler olabilmektedir. Bu eksikliklerin en önemlisi kontrol cihazı ile drone arasındaki bağlantının

kopması, akabinde gerçekleşen komut iletimi problemidir. Kamera özellikleri bakımından ise amatör dronelerde 20 megapiksele kadar çözümler mevcut iken, profesyonel dronelerde DSLR fotoğraf makinesi taşıma özelliği olduğundan 50 megapiksel ve üzeri değerlere kolaylıkla erişilebilmektedir. Fotoğraf makinelerinin çekim çözünürlüğünün, fotoğraf çekim yüksekliği ve detaylar üzerinde pozitif etkisi vardır. Yüksek megapiksele sahip dronelar daha yüksek irtifadan aynı detayı yakalarken, daha büyük alanı aynı sürede çekme kapasitesine sahip olurlar. Amatör kullanıma yönelik olan dronelar yaklaşık 20-25 dakika havada kalma süresine sahip iken, profesyonel dronelerde bu süre 60 dakikaya kadar çıkmaktadır. [5] [6].

Tablo 2. Drone çeşitlerinin karşılaştırması

Drone Tipi	Görev Süresi (dk)	Uçuş Hızı (m/s)	Kamera Çözünürlüğü (megapiksel)	Yapılan Uçuş Yüksekliği (m)	Aynı Sürede Taradığı Alan (Yaklaşık)
Amatör D1	18	10	12	Değişken	1x
Amatör D2	18	10	14	75	1x
Amatör D3	14	8	12	120	1x
Profesyonel D1	22	6	42 (değişebilir)	250	3x
Profesyonel D2	39	12	24 (değişebilir)	175	9x

Yukarıdaki tabloda çeşitli dronelerin karşılaştırması yapılmıştır. Aynı alanda 5 farklı drone ile yapılan testlere göre, aynı sürede taranan alanın artması için en önemli parametreler, uçuş hızı ve uçuş süresidir. Profesyonel dronelerde kamera değiştirme özelliği olduğundan, uçuş yükseklikleri farkı göz ardı edilebilir. Dronelerin taradıkları alanlar ise, istenilen çözünürlük ve hata toleransına göre seçilebilir.

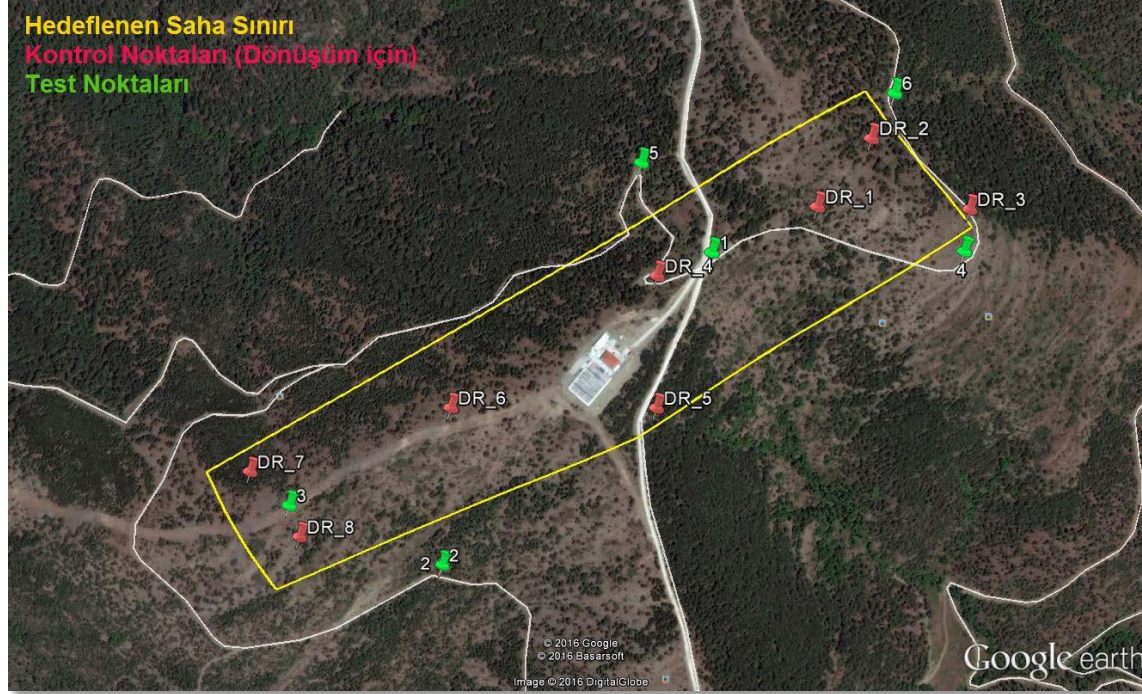
Profesyonel dronelerin bazıları RTK (Real Time Kinematic) olarak adlandırılan gerçek zamanlı kinematik verilerinden faydalanırken, bazıları drone üzerindeki GPS verilerinden faydalanmaktadır. Test amaçlı kullanılan dronelerde RTK bulunmadığından, ± 5 mm doğrulukta Geomax GPS ile yersel ölçüm yapılmıştır. GPS ile havadaki konumunu bulan drone, yersel ölçüm ile düzeltmelerini tamamlamaktadır.

Sahada yapılması planlanan yersel ölçümler için, saha gezisine başlamadan önce model alanı belirlenmelidir. Belirlenen model alanına göre, havadan yapılacak çekimler için saha genelinde mümkün olduğu kadar homojen dağılmış kontrol noktası gereklidir. Homojen dağılan kontrol noktaları, kullanılacak model programı tarafından koordinat düzeltmesi yapmak amacıyla kullanılacaktır. Homojen dağılmayan, eksik kontrol noktası bulunan sahaların modellerinde, koordinatlarda sapma oranları artabilir.



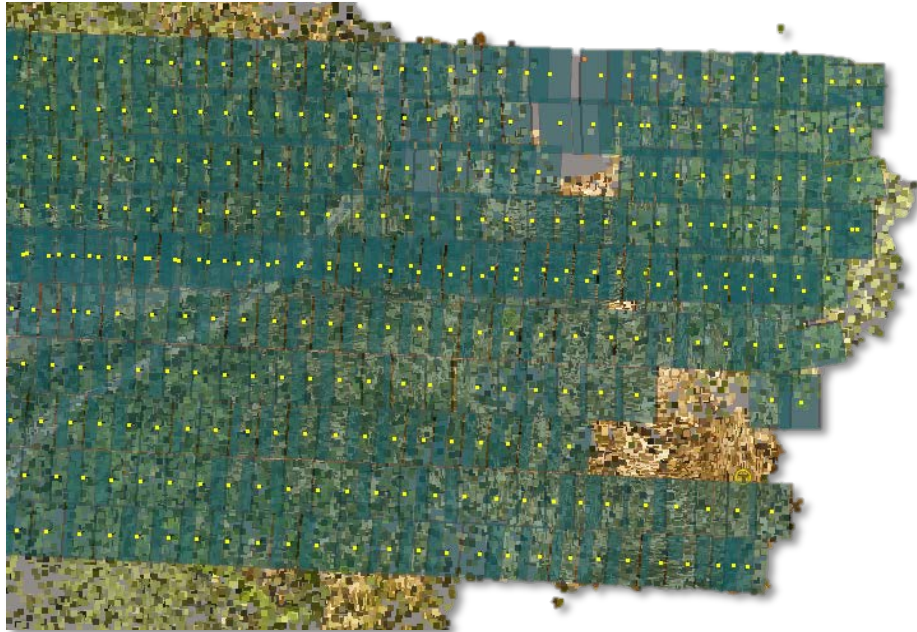
Şekil 1. Kontrol noktası

Borusan EnBW Enerji'nin rüzgar santralinde yapılan testlerde, toplamda 8 adet kontrol noktası sahaya eşit oranda dağıtılmıştır. Ancak sahanın mevcut topografyası sebebiyle 6 adet noktadan koordinat alınmıştır. Şekil 2'de görülen alanlar, toplamda 2 adet rüzgar türbinini ve şalt sahasını içinde barındırmaktadır.



Şekil 2. Yersel kontrol noktaları

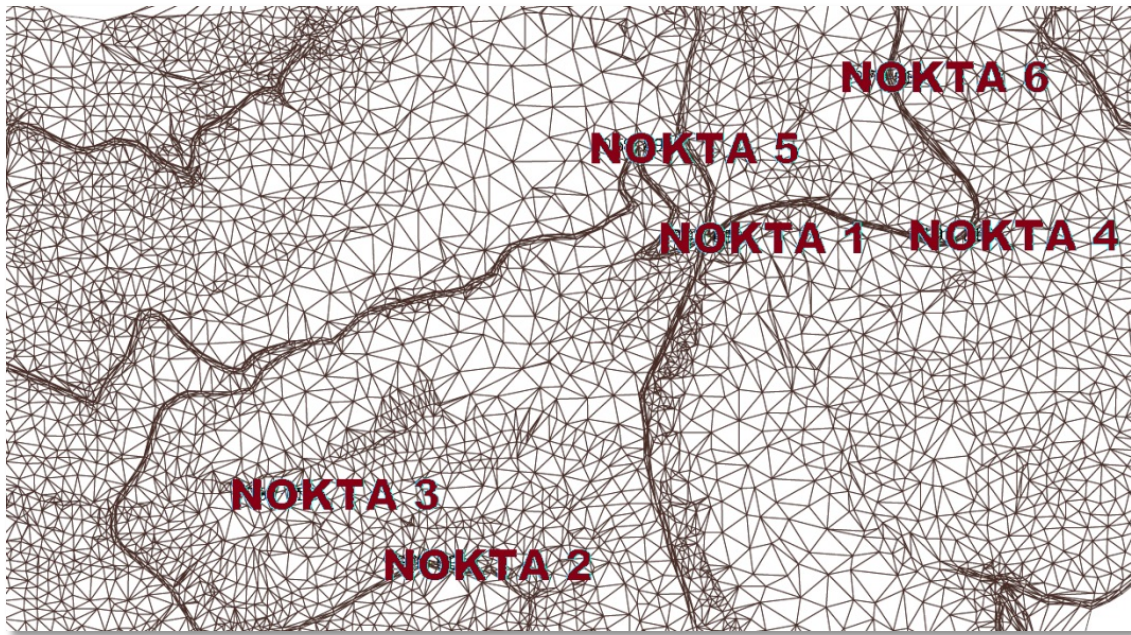
Aşağıda görülen Şekil 3'te ise bilgisayar ortamına aktarılan havadan çekim fotoğrafları yer almaktadır. Amatör D2 'nin kullanıldığı bu çekimde açıkça görülmektedir ki, drone ve kumanda arasında bağlantı aksaklıkları yaşandığı zaman, havadan çekim fotoğraflarında atlamalar oluşur.



Şekil 3. Havadan çekim görüntülerinin bilgisayar ortamına aktarımı

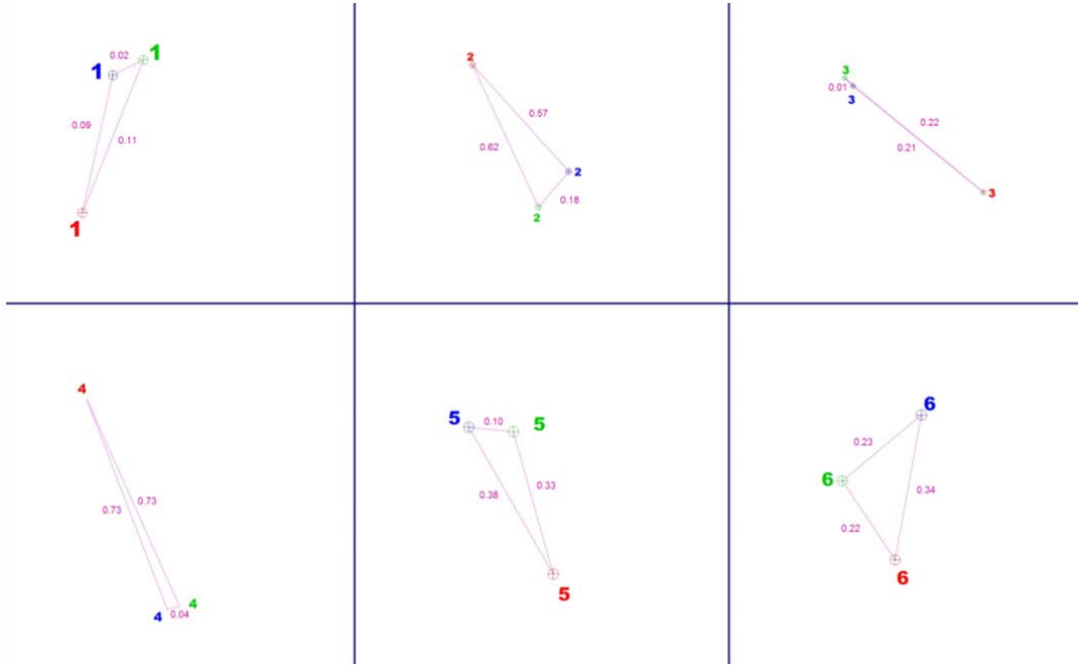
Atlamaların oluşma sebepleri ise kumanda ve drone arasına giren maddeler ve çekim kuvvetinin azalması olarak gösterilebilir. Açık alanlarda görevini tamamlayacak mesafedeki cihazlar, ekipmanlar arasına ağaç, elektrik direği veya tepeler girdiğinde kopmalar yaşayabilmektedir. Bunun sonucunda eksiklik bulunan bölgelerde doğrulukta ve çözünürlükte azalma yaşanmaktadır. Sahada yapılan uçuş sonrasında elde edilen fotoğraflar, CAD programında yüzey modelinin oluşturulmasında kullanılacaktır.

Şekil 4'te bilgisayar ortamında yaratılan yüzey modelinin CAD programına aktarılması ile oluşturulan üçgen modeli yer almaktadır. Koordinatları işlenmiş olan yüzey modeli, sahadan alınan yersel ölçüm ile karşılaştırmada kullanılacaktır.



Şekil 4. CAD TIN modeli

Şekil 5'te, 3 farklı drone (Amatör D2, Profesyonel D1, Profesyonel D2) ile yapılan haritaların, sahadan alınan yersel ölçüm noktalarındaki koordinatlara göre kıyaslamaları yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde mavi renklendirilmiş Profesyonel Drone 1 ile yeşil renklendirilmiş Profesyonel Drone 2 ile üretilen haritaların koordinatları birbirlerine oldukça yakın iken, kırmızı ile renklendirilmiş Amatör D2 arasında daha büyük farklar ortaya çıkmıştır. Şekilden anlaşıldığı üzere amatör drone hem yatay ekseninde, hem de düşey ekseninde daha düşük doğruluk göstermiştir. Profesyonel dronelar arasında minimum 1 cm, maksimum 23cm olan fark ortalama 9.6cm olarak hesaplanmıştır. Dikey ekseninde yersel ölçümlerle kıyaslanan yüzey modelleri, yersel ölçüme göre ortalama 10cm ile 20cm farklılık göstermiştir. Amatör drone'da 52cm olan ortalama yükseklik farkı, fotoğraf sayısının az olduğu noktalarda 1m'ye kadar çıkmıştır.



Şekil 5. 3 farklı drone ile yapılan haritaların koordinat kıyaslamaları

Tablo 3. Düşeydeki farklar

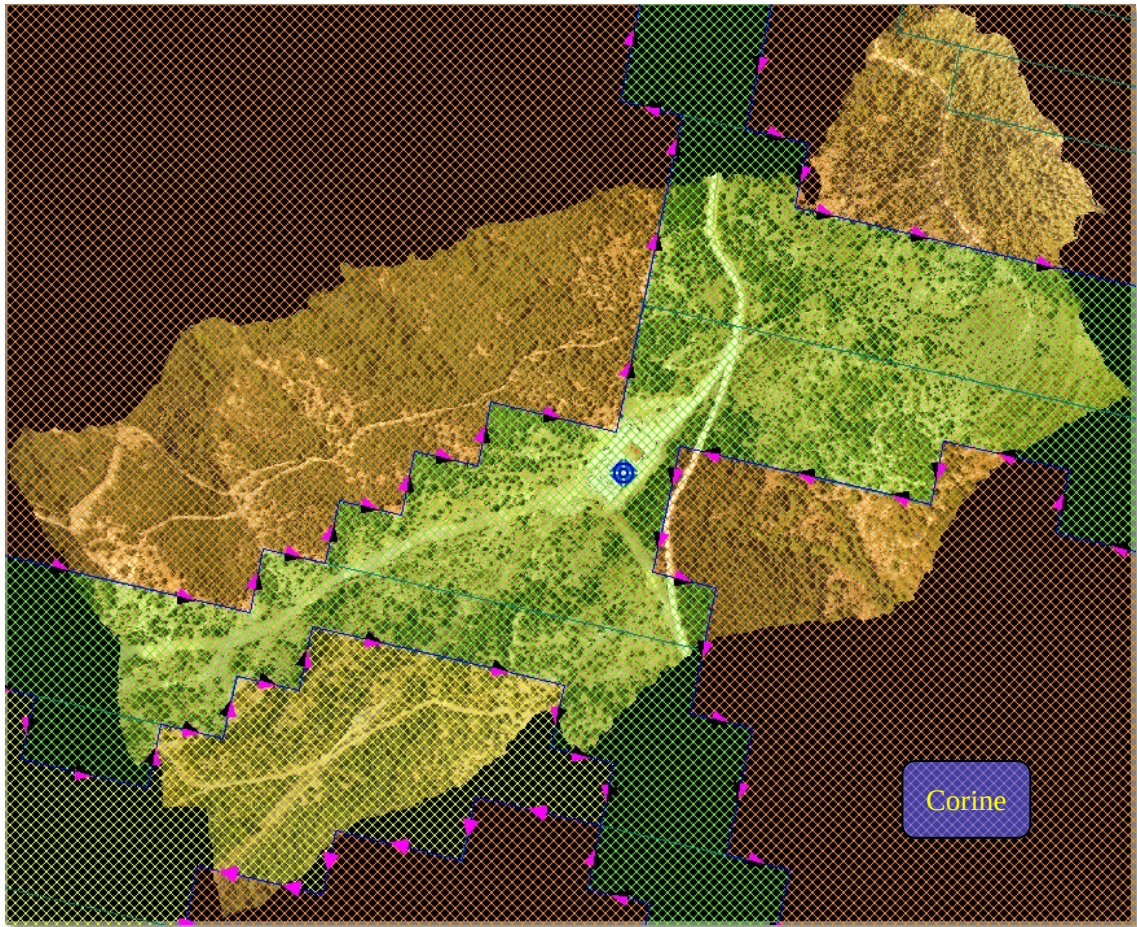
Yersel Ölçüme Göre Kot Farkları (m)	Amatör D2	Profesyonel D1	Profesyonel D2
Nokta 1	0.046	0.156	0.014
Nokta 2	0.425	0.055	0.035
Nokta 3	0.425	0.055	0.035
Nokta 4	0.52	0.35	0.38
Nokta 5	0.946	0.434	0.064
Nokta 6	0.735	0.095	0.045
Ortalama	0.516	0.191	0.095
Minimum	0.046	0.055	0.014
Maksimum	0.946	0.434	0.38

3. SAHA GEZİLERİ

Saha gezileri sırasında oldukça zorlu topografyalar ile karşılaşmak mümkündür. Türkiye'nin kuzey batısında bulunan çok yoğun orman arazileri olduğu gibi, güneyinde bulunan dağlar ve tepelerde bazı noktalara arazi aracı ve yaya olarak ulaşmak oldukça zordur. Ayrıca saha gezileri sırasında karşılaşılan bir diğer zorluk ise arazinin çok büyük olmasıdır. Büyük arazilerde saha gezisinin bir gün içerisinde tamamlanması mümkün olmadığından 2-3 günlük saha gezisi yapma ihtiyacı doğmaktadır. Saha gezisini hızlandırmak adına drone kullanımı, hem görülmesi gereken yerleri çabucak görmeyi sağlamakta, hem de ulaşılabilen yerlerde yaşanabilecek zaman kayıplarının önüne geçmektedir.

Avan proje sırasında kullanılan Google Earth uydu görüntüleri, zaman zaman güncel anı yansıtmamaktadır. Saha gezileri sırasında yapılacak çekimler ile ulaşım yolları için planlama, mevcutta bulunan yerleşimler, sahada olan değişiklikleri (maden sahası çalışmaları, bitki örtüsü ve tarım arazilerindeki değişiklikler) takip etmek mümkün olmaktadır. Ayrıca Google Earth'ün görsel çözünürlüğü çoğu zaman yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple drone kullanımı projenin başlangıç aşamasında sonradan yapılacak düzeltmelerin önüne geçerek zaman tasarrufu sağlayacaktır.

4. PÜRÜZLÜLÜK DÜZELTMELERİ



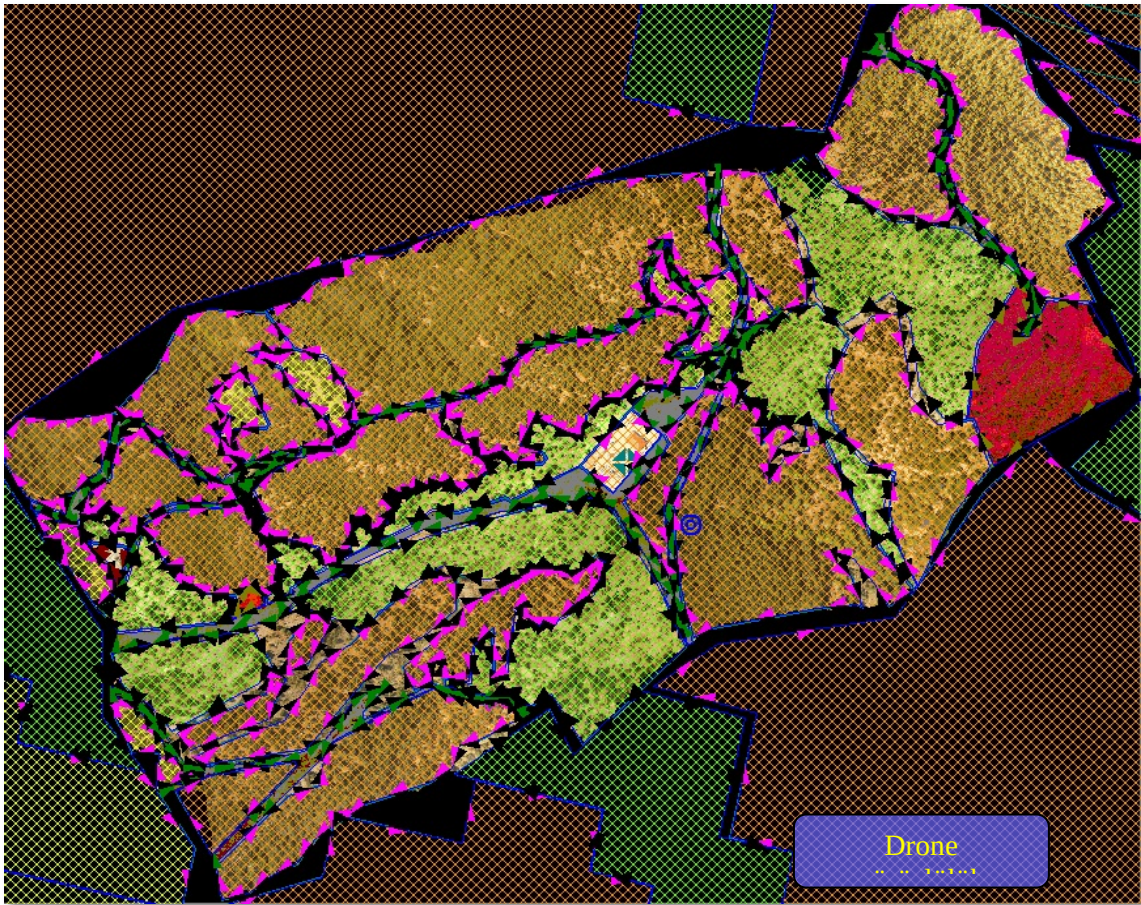
Şekil 6. Corine yüzey pürüzlülük haritası

Rüzgar enerji santralleri yıllık üretim hesaplamaları sırasında yüzey pürüzlülük haritaları (Roughness map) kullanılmaktadır. Corine pürüzlülük haritalarının çözünürlüğü 100m olarak tanımlanmıştır [3]. Şekil 6'da enerji üretim analizinde kullanılacak Corine haritası gösterilmiştir. Taranan alana bakıldığında 100m'lik gridlerin bitki örtüsünü yüksek detayda tanımlamakta yetersiz kaldığı gözükmemektedir. Drone uçuş alanında toplamda sadece 4 farklı pürüzlülüğe rastlanılmıştır.

Sahada yapılan yüzey modelinde bulunan iki türbinin, Corine haritası ile yapılan yıllık üretim enerji analizinde çıkan sonuç 1x kabul edilip, dört farklı pürüzlülük durumu için dört farklı enerji üretim hesabı yapılmıştır. Bu hesaplara göre çıkan sonuçlar Tablo 4'ten görülebilir.

Tablo 4. Pürüzlülük kaynağına göre enerji üretim karşılaştırmaları

Pürüzlülük Kaynağı	Ölçüm Direği Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Türbindeki ortalama hız	Üretim Karşılaştırmaları
Corine	8.4	7.9	1
Maksimum	8.2	7.7	0.9589
Minimum	8.4	7.9	1.0078
Drone	8.4	7.8	0.994

**Şekil 7.** Drone pürüzlülük haritası

Şekil 7’den görüleceği gibi, drone görüntüleri ile hazırlanan pürüzlülük haritalarının detayı oldukça yüksektir. Birbirinden farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip alanlar farklı renklerde gösterilmiştir. Bitki örtüsünün çeşitlerine göre birbirlerinden ayrılmasının yanı sıra yollar ve binalar ayrıca işlenmiştir. Bu sayede enerji üretim hesaplamalarında kullanılmak üzere daha detaylı hesaplama yapılmıştır. Çıkan sonuca göz atıldığında yıllık enerji üretiminde, Corine haritasına göre drone ile yapılan haritada binde 6’lık bir azalma gözükmemektedir.

Diğer iki deney pürüzlülük haritasında, pürüzlülük minimum olarak girildiğinde üretim Corine haritasına kıyasla binde 7.8 artış gösterirken, pürüzlülük maksimum olarak girildiğinde üretimde yüzde 4.11 azalma meydana gelmiştir.

5. SONUÇLAR

3 boyutlu yüzey modellerinin oluşturulması sırasında yersel kontrol noktaları ve otopilot özelliğine sahip insansız hava araçları kullanılmaktadır. Çeşitli haritalama yazılımlarıyla oluşturulan yüzey modellerinin doğrulukları, yersel kontrol noktaları ile kontrol edilmektedir. Yapılan çalışmalarda bu haritaların doğrulukları çeşitli çevresel faktörler, kullanılan metod ve donanım özellikleriyle birlikte değişmekle beraber doğrulukları x-y koordinatlarında ve yükseltide santimetre mertebelerinde olmaktadır. Oluşturulan modeller daha sonra çeşitli CAD programlarına aktarılabilmekte ve üzerinde çalışılabilmektedir. Yüzey modelinin dijital olarak oluşturulmasıyla birlikte elde edilebilecek faydalardan bazıları;

- Daha hassas avan proje çalışmaları
- Daha hassas yol çalışmaları
- Daha hassas kazı dolgu hesapları
- Koordinat doğrulamaları
- Erişilemeyen noktalara ulaşım
- Pürüzlülük etkilerinin düzeltilmesi ve belirsizliklerin azaltılması
- Saha gezilerinde zamandan tasarruf
- Yersel süreçlere göre zaman kazanımı

konularıdır.

Rüzgar santralleri yatırım süreçleri başında yapılacak 3 boyutlu yüzey modelleri, yersel haritalama süreçlerine göre zaman tasarrufu sağlayacaktır. Rüzgar türbinlerinin koordinatları ise yatırım süresince değişkenlikler göstermektedir. Türbin koordinatlarının değiştirilmesi sonucunda tekrar saha gezisi ihtiyacı ortaya çıkmaktayken bu durum üç boyutlu haritalar ile azaltılabilecektir. Mevcut yolların iyileştirilmesi, platform alanlarının seçilmesi, kablo kanallarının yerlerinin kararlaştırılması, yeni güzergahların belirlenmesi ihtiyacı gibi konularda üç boyutlu haritaların kullanılması avantaj sağlayacaktır. Ayrıca sahada bulunması muhtemel çeşitli arazi sahiplerinin mevcut tarım alanlarından kaçınmak için görsel altyapı oluşturacaktır.

Drone kullanımı, yatırımcı firmaların rüzgar santrali tasarım süreçlerini kısaltıp santralin devreye girme tarihini öne almasını sağlayacaktır. Bu aynı zamanda önemli tasarruflar elde edilmesine de yol açabileceği gibi, bu konularda yeniliklerin takip edilmesi farkındalıklarının arttırılmasını da sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] http://www.nik.com.tr/content_sistem_alt.asp?id=84, 2017.
- [2] <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>, 2017.
- [3] <https://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>, 2017.
- [4] http://nik.com.tr/Stereo_DEM3.pdf, 2017.
- [5] <http://www.dji.com/products/drones>, 2017.
- [6] <https://www.parrot.com/us/business-solutions/ebec-sq-pix4dag-edition#technicals>, 2017.