

GEÇKİ PLANLAMA ÇALIŞMALARINI İÇİN HAVA LİDAR VERİSİNE DAYALI SAYISAL ARAZİ MODELLEME VE DOĞRULUK ANALİZİ

Nursu Tunalıoğlu, Metin Soycan

YTÜ, Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Müh.Bölümü, Esenler, İstanbul, ntunali@yildiz.edu.tr, soycan@yildiz.edu.tr

ÖZET

Geçki planlaması, arazi verisine dayalı olan ve planlama esnasında oluşan alternatif geçkilerin, çalışmanın niteliğine göre değerlendirilmesi ile gelişen bir süreci kapsamaktadır. Planlamada pek çok etken olmasına rağmen en önemli olanı arazi yüzeyine ait verilerin doğru ve hassas olarak elde edilmesine olanak sağlayan yükseklik modelleridir. Uygun sayısal yükseklik modellerinin araziye ait verilerden üretilmesi, çalışmanın bütününde önemli bir etken olmakla birlikte, yapılacak planlamanın da temelini oluşturmaktadır. Bu çalışmada seçilen bir test bölgesine ait LİDAR verisi kullanılarak, 3 boyutlu nokta konum bilgisine dayalı veri setleri ile Kriging, Lineer Enterpolasyonla Triangülasyon ve Ağırlıklı Ortalama enterpolasyon yöntemleri kullanılarak sayısal yükseklik modelleri oluşturulmuştur. Üretilen modellerin doğruluğuna etki eden faktörlerden grid aralıklarının seçimi ve uygun karşılaştırma nokta yoğunluğunun belirlenmesi, gridleme zamanı da dikkate alınarak incelenmiştir. Çalışmada kullanılan toplam nokta sayısı 183 049 ve çalışma bölgesi 1 km×1 km boyutlarındadır. Veri setleri 2, 4, 6, 10 ve 30 m'lik değişen gridleme aralıklarında oluşturulmuş ve karşılaştırma noktaları % 1, 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95 ve 99 yoğunluk değişimleri ile test edilmiştir. Çalışmada, test edilen model doğrulukları, karşılaştırma noktalarından bulunan standart sapma değerleriyle incelenmiştir. Farklı gridleme aralıklarında en düşük standart sapma değerlerini sırası ile Kriging, Lineer Enterpolasyonla Triangülasyon ve Ağırlıklı Ortalama yöntemleri ile elde edilmiştir. Karşılaştırma nokta yoğunluklarının % 75'e kadar artırılması durumunda ise % 1 ile yapılan değerlendirmeyle aralarındaki farkın az olduğu ve daha az karşılaştırma noktasının kullanılabilirliği görülmüştür. Gridleme zamanı da dikkate alınarak değerlendirildiğinde, Lineer Enterpolasyonla Triangülasyon ve Ağırlıklı Ortalama yöntemleri, LİDAR verilerinin değerlendirilmesinde hassas ve efektif sonuçlar vermektedir.

Anahtar Sözcükler: Sayısal Yükseklik Modelleri, LİDAR, Doğruluk analizi, Grid aralığı, Karşılaştırma nokta yoğunluğu

ABSTRACT

INVESTIGATING THE GRIDDING SIZE AND CONTROL POINT DENSITY EFFECTS ON SURFACE MODELING PROCESS BASED ON AIRBORNE LIDAR DATA

Route planning is a work based on field data, and improves by the evaluating the alternative routes at the planning stage. Although there have been several factors at the planning stage, the most effective one for the study is the digital elevation models. Generating the appropriate digital elevation models belongs to the field data is a crucial element and the base of the whole planning studies. In this study, the gridding size effect and density of the check points on generating digital elevation models based on Kriging, Inverse Distance to a power and Triangulation with Linear interpolation methods was investigated to find out the adequate generating procedure of digital elevation models. The elapsed time for gridding was also considered in results in terms of time efficiency. Total data point number in case study is 183049 and area wide is 1 km×1 km. Datasets were formed in 2, 4, 6, 10 and 30 m grid sizes and check point densities were changed in a range of 1 % to 99 % for testing the models' accuracies. All generated datasets were examined due to residuals and standard deviations. The least standard deviation values on different gridding size were obtained from Kriging, Triangulation with linear interpolation and Inverse distance, respectively. Checkpoint density changes were not affected the results until density of 75 %. In addition, if the elapsed time for gridding is considered, it can be seen that the adequate interpolation methods for airborne LIDAR datasets are Triangulation with linear interpolation and inverse distance.

Keywords: Digital Elevation Model, LİDAR, Model accuracy, Grid size, Density of the check points

1. GİRİŞ

Geçki planlama çalışmalarının temeli, çalışma bölgesine ait arazi verisinin uygun enterpolasyon modelleri ile modellenerek arazi yapısına uygun yüzeylerin elde edilmesine dayanmaktadır. Planlamada, uygun geçkinin seçimi ve sonrasında toprak işi maliyetlerinin hesaplanması, oluşabilecek alternatif geçkiler arasından en uygun olanının seçilebilmesiyle olanaklıdır. Bu nedenle, araziye uygun yüzey modellerinin belirli faktörler göz önüne alınarak seçilmesi, çalışmanın temelini oluştururken, çalışmanın doğruluğu açısından da önemli bir yer tutmaktadır.

Sayısal yükseklik modelleri (SYM), arazide ölçülen noktalara dayalı olarak arazinin, bir ya da birden fazla matematiksel model kullanılarak elde edilmiş biçimdir (Li vd., 2005). Kullanılan bu matematiksel modeller genel olarak enterpolasyon yöntemleri olarak adlandırılırlar. Yüzey modellemesi, araziye dayalı bütün çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yeryüzünün ya da nesne yüzeyinin uygun bir enterpolasyon yöntemi ile modele etki eden parametrelerin de göz önüne alınarak modellenmesi, çalışmanın niteliği ve çalışmadan beklenen hassasiyete göre değişebilmektedir. Araziye ilişkin kaynak verinin yoğunluğu ve dağılımı, seçilecek enterpolasyon yöntemi ve gridleme

aralığı, sayısal yükseklik modellerinin hassasiyetini etkileyen faktörler olarak sıralanabilirler (Gong vd., 2000; Kienzle vd., 2004; Li vd., 2005; Liu vd., 2007).

2. HAVA LIDAR TEKNOLOJİSİ

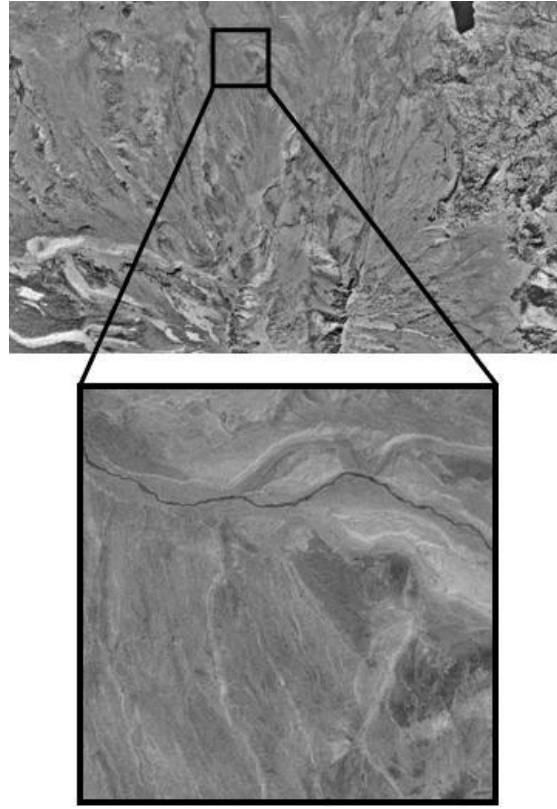
Hava lazer teknolojisi olarak adlandırılan LIDAR (Light Detection And Ranging) tekniği, son yıllarda yaygın olarak kullanılan 3 boyutlu bir veri toplama sistemidir (Smith vd., 2003; Hongson ve Bresnahan, 2004; Sartori vd., 2004; Aggett, 2005; Chauve vd., 2007; Habib, 2007; Stoker, 2007; Konecny, 2007). Kullanımının yaygınlaşmasındaki temel etken ise bu yöntem sayesinde hızlı ve etkin olarak yüksek çözünürlüklü arazi verisinin elde edilebilmesidir. Pek çok farklı disiplin tarafından değişik nitelikteki mühendislik projeleri, enerji ve doğal kaynakların yönetimi, çevresel etkiler veya doğal afetler sonucu oluşan hasarların izlenmesi, arkeoloji, jeolojik çalışmalar vb. gibi farklı uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır (Kraus ve Pfeifer, 1998; Means vd., 2000). LIDAR tekniği, yeryüzüne ya da nesne yüzeyine ait yoğun ve hassas veri setlerinin elde edilmesine olanak sağlamasının yanında, mekâna dayalı çalışmalarda standart bir uygulama haline gelmiştir (Hodgson ve Bresnahan, 2004). Bu noktada, 3 boyutlu nokta koordinatlarının elde edilmesinde LIDAR teknolojisi, hızlı ve etkin sonuçlar sunarak, yeryüzündeki büyük alanlara ait arazi verisinin elde edilmesinde büyük kolaylık sağlamaktadır.

Daha kapsamlı bir tanım ile LIDAR teknolojisi, lazer ışını kullanan aktif bir uzaktan algılama sistemi olup, hassas 3 boyutlu sayısal yüzey veya arazi modeli oluşturma amacıyla GPS (Global Positioning System), IMU (Inertial Measurement Unit) / INS (Inertial Navigation Systems) ve lazer tarayıcı teknolojilerinin entegrasyonu ile oluşturulmuş kombine bir veri toplama yöntemidir şeklinde açıklanmaktadır. Helikopter veya uçak gibi hava araçları içerisine yerleştirilen bu veri toplama sistemi, haritalanacak alanın üzerinde istenilen sıklık ve yoğunlukta uçuş yaparak, yüzeye ait üç boyutlu konum verisini toplamaktadır (Smith vd., 2003; Hongson ve Bresnahan, 2004; Sartori vd., 2004; Aggett, 2005; Chauve vd., 2007; Konecny, 2007). Havada hareket etmekte olan LIDAR sensörünün 3 boyutlu konumunun belirlenmesi, yeryüzündeki bir veya daha fazla referans istasyonundan rölatif-kinematik konumlama yöntemine göre GPS ölçmelerine dayalı olarak yapılmaktadır. Referans alınan nokta veya noktaların hassas konumları jeodezik GPS ağı sıklaştırma çalışmasıyla istenilen koordinat sisteminde cm doğrulukla belirlenmektedir. Referans noktalarında ve gezici konumda bulunan hava aracında ölçü boyunca toplanan eş zamanlı GPS kod ve taşıyıcı faz ölçülerinin birlikte değerlendirilmesi sonucu, hareket halindeki LIDAR sensörünün üç boyutlu konumu kinematik olarak belirlenmektedir. Buna ek olarak IMU/INS ve lazer ölçme birimlerinin verilerinin kombinasyonu ile yeryüzünde taranan noktaların 3 boyutlu koordinatları bulunmaktadır.

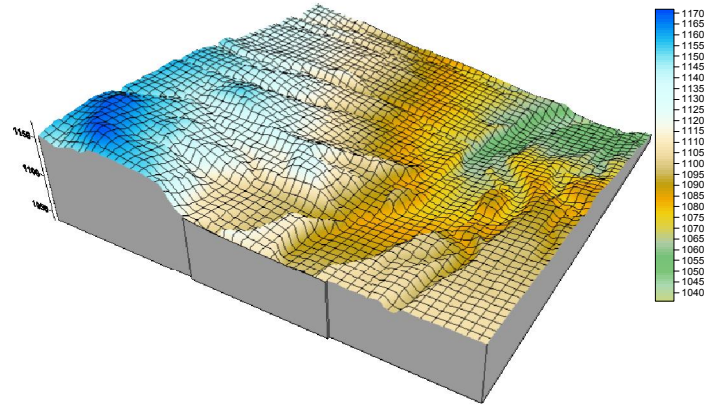
3. MATERYAL VE METOT

3.1 Çalışma Bölgesi

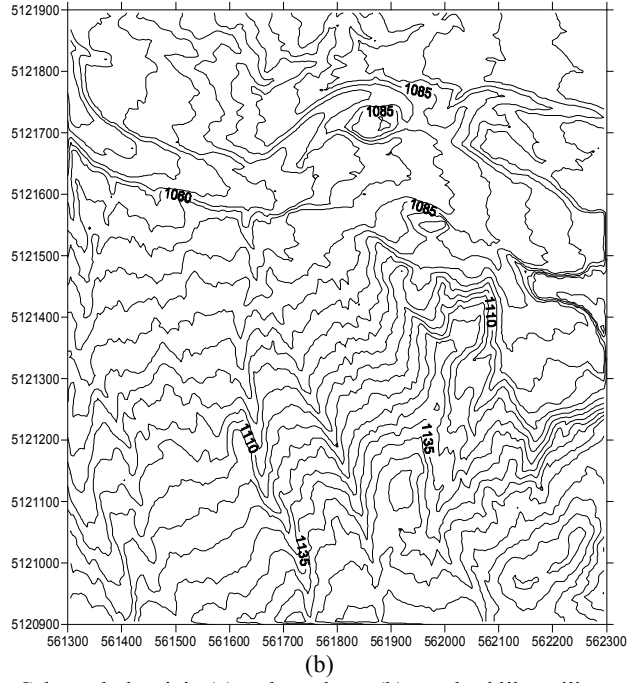
Çalışma bölgesi olarak, ABD' nin Washington Eyaleti' ndeki Mount Saint Helen bölgesine ait 1 km² büyüklüğünde bir alan seçilmiştir. Hava LIDAR yöntemine göre ölçümü yapılmış olan ve Şekil 1' de konumu gösterilen bölgeyi kapsayan nokta sayısı 183 049 adet olup, bölgedeki veri yoğunluğu 5.46 m²/nokta' dır. Veri setine ait minimum yükseklik değeri 1035.74 m, maksimum yükseklik değeri 1171.95 m, ortalama yükseklik değeri ise 1103.86 m' dir. Yüksekliklere ait standart sapma değeri 29.68 m' dir. 136.21 m aralığında yükseklik değişimleri görülen alanın arazi yapısı Şekil 2' de sunulduğu gibi dalgalı özellik göstermektedir. Bu bölgeye ait yükseklik değerlerinin dağılımı Şekil 3' teki yükseklik histogram grafiğinde verilmiştir.



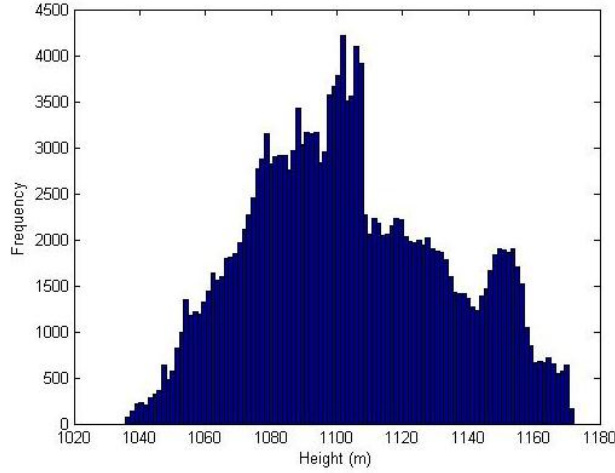
Şekil 1: Çalışma bölgesi genel görünümü



(a)



Şekil 2: Çalışma bölgesinin (a) üç boyutlu ve (b) eşyükseklik eğrili görünümüleri



Şekil 3: Bölgeye ait yükseklik histogramı

3.2 Farklı Enterpolasyon Yöntemleri ile SYM'lerin Üretilmesi

Çalışmada kullanılan veri setleri Tablo 1'deki gibi sınıflandırılmış, enterpolasyona giren dayanak noktaları ve test için kullanılan karşılaştırma noktalarının özellikleri aynı tabloda verilmiştir. Üretilen sayısal yükseklik modellerinin doğruluğunu test etmek için karşılaştırma noktalarına ait veri setleri yüzeye rastgele olarak dağıtılan ham veri setinden, sırasıyla % 1, 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95 ve 99 olmak üzere farklı yoğunlukta test verisinin ayrılması ile oluşturulmuştur. Seçilen karşılaştırma noktalarından geriye kalan noktalar ise yüzey modellemede dayanak noktası olarak kullanılmıştır. Her bir veri seti, farklı gridleme genişlikleri ile öngörülen 3 farklı enterpolasyon yöntemine göre modellenmiştir. Gridleme genişlikleri her bir veri seti için 2, 4, 6, 10 ve 30 m olarak seçilmiştir. Bu sayede toplam 135 farklı sayısal yükseklik modeli üretilmiştir. Araziye uygun grid aralığı genişliğinin bulunmasında ölçülen nokta sayısı ile gridlenerek oluşturulacak düzgün formdaki grid nokta sayılarının birbirine eşit olması öngörülmektedir (McCullagh, 1998). Sonuç olarak, uygun grid aralığının seçiminde enterpolasyon işlemine tabi tutulan nokta sayısının elde edilen yüzey modelinde korunması istenmektedir. Bundan yola çıkarak; uygun grid aralığı için;

$$a_{Gen} = \sqrt{\frac{Alan}{n}} \quad (1)$$

denklemleri yazılabilir. Burada a_{Gen} kare grid yapıdaki genişliği, Alan; çalışma alanının genişliği, n ise bu alana düşen nokta sayısını göstermektedir.

Eşitlik (1) için bölgenin bütün veri noktaları göz önüne alınarak bulunan en uygun gridleme aralığı 2.3 m olarak hesaplanmıştır. Veri setlerinin hassasiyetlerinin incelenmesi için üretilen sayısal yükseklik modelleri için gridleme genişlikleri değişimleri uygun bulunan aralık değerini kapsayacak şekilde seçilmiştir. Enterpolasyon modelleri olarak, Kriging, Ağırlıklı Ortalama ve Lineer Enterpolasyonla Triangülasyon yöntemleri kullanılmıştır.

Tablo 1: Dayanak ve Karşılaştırma Nokta Özellikleri

Veri Set No	Dayanak Nokta Oranı		Karşılaştırma Nokta Oranı	
	(%)	m2/nokta	(%)	m2/nokta
1	99	5.52	1	546.30
2	95	5.75	5	109.26
3	90	6.07	10	54.63
4	75	7.28	25	21.85
5	50	10.93	50	10.93
6	25	21.85	75	7.28
7	10	54.63	90	6.07
8	5	109.26	95	5.75
9	1	546.30	99	5.52

3.3 Üretilen SYM'lerin İstatistiksel Sonuçları

Sayısal yükseklik modeli üretiminde oluşturulan veri setlerinin kalite kontrollerinin yapılması için, ham veri grubundan belirli bir yoğunlukta karşılaştırma noktası sabit olarak kullanılır (Liu vd., 2007). Pek çok uygulamada üretilen SYM'lerin verimliliğini test etmek için veri azaltılması ve gridleme aralıklarının değişimi, zaman bakımından ve SYM kalitesi bakımından istatistiksel sonuçlar ile birlikte incelenmiştir. Fakat test edilen veri setleri için kullanılacak karşılaştırma nokta yoğunluklarının değişimi bu veri setleri içinde irdelenmemiştir. Burada, üretilen modellerin istatistiksel sonuçları bu karşılaştırma nokta yoğunluklarına göre hesaplanarak, model doğrulukları ortaya konmaktadır. Bu çalışmada birim alana düşen nokta sayısına bağlı olarak üretilen modeller test edilmiştir. Kullanılan karşılaştırma nokta yoğunluğu Veri set 1 için 546.30 nokta/ m² ve SYM üretiminde kullanılan dayanak noktası için 5.52 nokta/ m²'dir. Bu oranlar sırası ile üretilen Veri setleri için şu şekildedir: Veri set 2 için; 109.26 ve 5.75 nokta/ m², Veri set 3 için; 54.63 ve 6.07 nokta/ m², Veri set 4 için; 21.85 ve 7.28 nokta/ m², Veri set 5 için; 10.93 ve 10.93 nokta/ m², Veri set 6 için; 7.28 ve 21.85 nokta/ m², Veri set 7 için; 6.07 ve 54.63 nokta/ m², Veri set 8 için; 5.75 ve 109.26 nokta/ m², Veri set 9 için; 5.52 ve 546.30 nokta/ m²'dir.

Oluşturulan SYM'lerin hassasiyetlerinin değerlendirilmesi için, standart sapma değerlerinden yararlanılmıştır. Her bir model için standart sapma değerleri;

$$dz_i = z_i - \bar{z}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N dz_i^2} \quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Burada, z_i farklı enterpolasyon yöntemlerine göre hesaplanan model yükseklikleri, \bar{z} karşılaştırma noktalarına ait yükseklikler ve N toplam nokta sayısını göstermektedir.

Model üretiminde kullanılan dayanak nokta sayısının azaltılmasının yanında karşılaştırma nokta sayısının değişiminin göz önüne alınması ile bulunan standart sapma değerleri, grid aralıklarına göre gruplandırılarak Şekil 4' te gösterilmiştir.

Beklenildiği gibi dayanak nokta sayısının en yüksek olduğu Veri set 1 için standart sapmalar en küçük değerleri vermektedir. En belirgin standart sapma yükselmesi grid genişliği 10 m ve üstü değerlerde görülmektedir. Veri set 2 ve üstü için standart sapmalarda en büyük farklar Ağırlıklı Ortalama ile enterpolasyon yönteminde yaşanmaktadır.

Tablo 2' de bu verilere ek olarak değerlendirmede kullanılan gridleme yöntemleri için geçen süreler aynı yazılım ve donanım şartları (Intel(R) Core (TM) 2 Duo, 4 GHz (RAM)) altında hesaplanmıştır. Buna göre gridleme için kullanılan en yüksek süre aralığı grid aralığının en düşük olduğu veri setlerinde oluşmaktadır. Bununla birlikte, kullanılan üç farklı enterpolasyon yönteminin içinde gridleme için en fazla zamana ihtiyaç duyan yöntem Kriging' tir. Bundan sonra sırasıyla, Ağırlıklı Ortalama ile enterpolasyon ve Lineer Enterpolasyonla Triangülasyon yöntemleri gelmektedir.

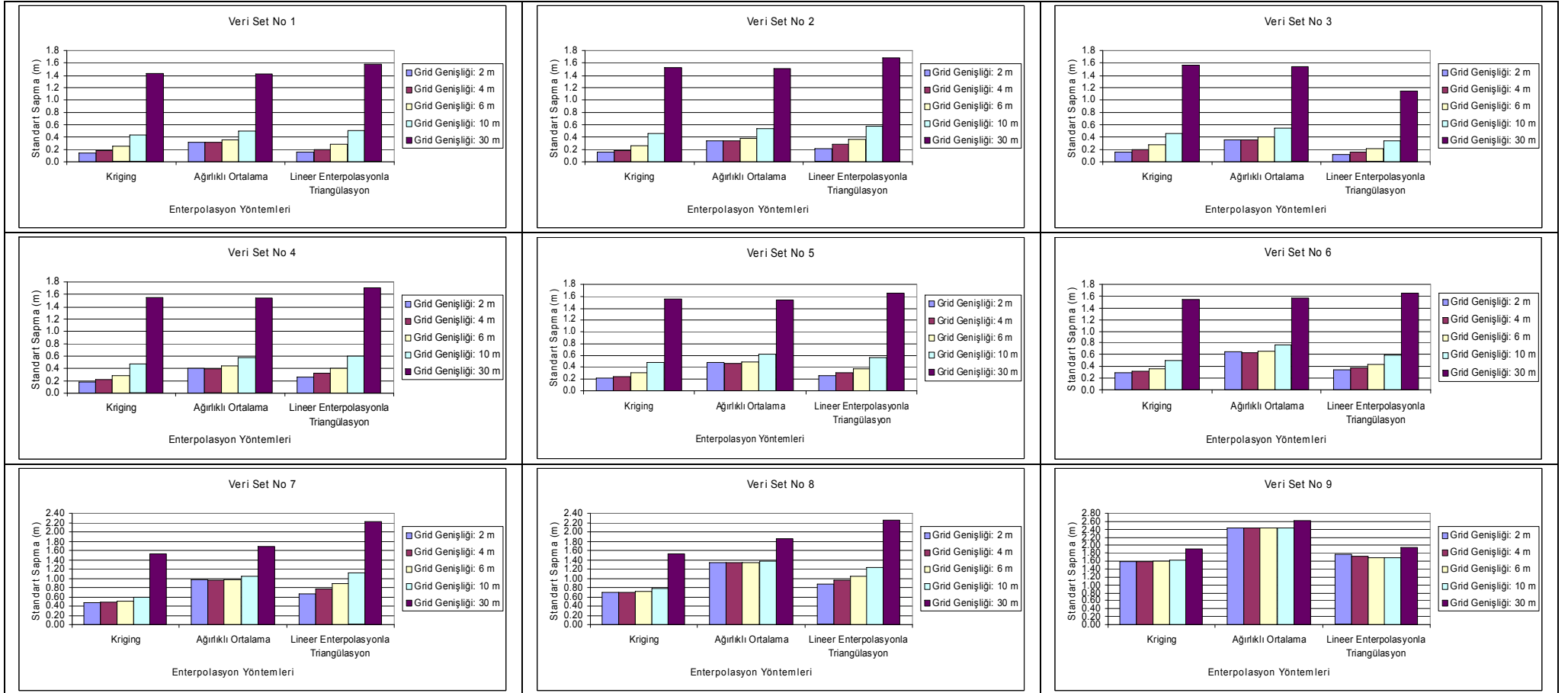
Tablo 2: Gridleme için Geçen süreler (sn) (a) Kriging, (b) Ağırlıklı Ortalama (c) Lineer Enterpolasyonla Triangülasyon

(a)					
Grid Genişlikleri					
Veri Set No	2 m	4 m	6 m	10 m	30 m
1	129.90	42.40	23.30	11.50	2.89
2	141.90	45.60	25.20	11.20	2.84
3	130.30	43.60	22.60	11.20	2.69
4	122.90	38.40	20.60	9.82	2.32
5	118.30	37.20	18.10	8.11	1.74
6	119.30	33.10	15.90	6.66	1.23
7	114.90	30.60	14.40	5.59	0.87
8	113.10	31.80	14.10	5.31	0.82
9	96.30	29.70	14.30	5.43	0.69

(b)					
Grid Genişlikleri					
Veri Set No	2 m	4 m	6 m	10 m	30 m
1	31.50	12.60	7.77	4.36	1.46
2	31.10	12.40	7.51	4.24	1.41
3	30.80	12.10	7.37	4.17	1.40
4	27.70	10.40	6.34	3.45	1.13
5	22.70	7.96	4.64	2.45	0.80
6	18.60	5.72	3.06	1.51	0.40
7	16.90	4.62	2.22	0.92	0.23
8	15.90	4.21	1.98	0.79	0.19
9	14.50	3.75	1.72	0.66	0.11

(c)					
Grid Genişlikleri					
Veri Set No	2 m	4 m	6 m	10 m	30 m
1	1.91	1.82	1.81	1.79	1.78
2	1.81	1.74	1.73	1.72	1.71
3	1.68	1.65	1.63	1.65	1.62
4	1.42	1.38	1.37	1.35	1.34
5	0.92	0.87	0.85	0.86	0.85
6	0.47	0.45	0.44	0.42	0.40
7	0.21	0.17	0.20	0.18	0.15
8	0.15	0.15	0.09	0.07	0.12
9	0.11	0.03	0.05	0.04	0.02

Tablo 3' te sayısal arazi modellerine ait dz_i yükseklik farklarının minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerlerine ait veriler verilmiştir. Buna göre, bütün veri setler içinde farkların minimum olduğu değer, Veri set 1' de grid aralığı 2 m için Kriging ile enterpolasyon yöntemine dayalı olarak -0.945 m olarak bulunmuştur. Farkların maksimum olduğu değer Veri set 9' da grid aralığı 4 m için Ağırlıklı Ortalama ile enterpolasyonda 15.358 m' dir.



Şekil 4: SYM' lerin karşılaştırmalı standart sapma değerleri

Tablo 3: dz_i yükseklik farkları

Veri Set No	Grid Genişliği (m)	Minimum (m)			Maksimum (m)			Ortalama değer (m)			Standart Sapma (m)		
		Kriging	Ağırlıklı Ort.	Triangülasyon	Kriging	Ağırlıklı Ort.	Triangülasyon	Kriging	Ağırlıklı Ort.	Triangülasyon	Kriging	Ağırlıklı Ort.	Triangülasyon
1	2	-0.945	-1.173	-1.288	0.653	1.793	0.878	0.000	0.006	-0.003	0.140	0.308	0.157
	4	-1.066	-1.280	-2.454	0.646	1.927	1.161	-0.002	0.007	-0.001	0.176	0.313	0.199
	6	-1.122	-1.368	-2.778	1.339	2.621	2.990	-0.008	0.001	-0.002	0.244	0.352	0.286
	10	-2.076	-2.120	-5.766	2.673	2.683	4.951	-0.017	-0.003	-0.002	0.428	0.491	0.503
	30	-6.134	-6.092	-9.713	5.944	6.013	6.905	-0.002	0.013	0.032	1.437	1.418	1.575
2	2	-2.500	-3.768	-3.019	1.389	3.292	9.579	-0.003	-0.002	-0.005	0.152	0.339	0.213
	4	-2.516	-3.404	-5.947	1.805	3.303	9.860	-0.007	-0.003	-0.004	0.189	0.342	0.284
	6	-2.603	-3.561	-7.450	2.657	3.738	9.953	-0.012	-0.006	-0.006	0.257	0.383	0.367
	10	-6.124	-5.673	-8.971	4.995	5.195	10.030	-0.025	-0.013	-0.013	0.456	0.531	0.574
	30	-7.767	-7.457	-10.627	11.808	11.282	12.219	-0.040	-0.022	-0.020	1.530	1.511	1.682
3	2	-4.057	-4.511	-4.091	2.243	3.414	9.579	-0.002	0.001	-0.002	0.162	0.357	0.121
	4	-4.055	-3.795	-5.947	2.757	3.526	9.860	-0.004	0.001	0.000	0.198	0.358	0.151
	6	-4.002	-3.873	-7.450	3.800	4.269	9.953	-0.009	-0.002	-0.002	0.270	0.401	0.204
	10	-6.098	-5.523	-8.971	4.999	5.239	10.030	-0.022	-0.010	-0.011	0.462	0.546	0.340
	30	-7.730	-7.420	-10.730	11.808	11.278	12.219	-0.034	-0.017	-0.011	1.560	1.542	1.148
4	2	-12.009	-12.223	-11.989	4.618	6.363	9.899	-0.002	0.005	-0.001	0.187	0.399	0.260
	4	-12.027	-12.263	-12.044	5.437	6.352	9.950	-0.004	0.005	0.000	0.219	0.398	0.325
	6	-12.073	-12.151	-12.038	5.371	5.511	9.967	-0.007	0.004	0.000	0.288	0.437	0.411
	10	-12.487	-12.394	-12.470	7.279	7.696	10.030	-0.016	-0.003	-0.005	0.472	0.575	0.606
	30	-11.318	-11.620	-11.481	12.156	11.813	12.219	-0.014	0.006	0.007	1.558	1.545	1.713
5	2	-12.055	-12.190	-12.126	7.179	7.620	7.980	0.001	0.005	-0.002	0.216	0.472	0.266
	4	-12.074	-12.237	-12.604	7.097	7.427	7.728	-0.001	0.005	-0.004	0.242	0.467	0.309
	6	-12.084	-12.109	-12.788	6.770	7.745	7.392	-0.004	0.005	-0.009	0.301	0.499	0.380
	10	-12.486	-12.452	-12.938	7.598	8.349	7.951	-0.011	0.000	-0.019	0.474	0.625	0.562
	30	-11.395	-11.701	-13.089	12.171	11.405	12.270	-0.016	0.007	-0.048	1.548	1.543	1.660
6	2	-12.070	-12.177	-12.126	7.322	10.039	7.876	0.006	0.009	0.003	0.293	0.646	0.347
	4	-12.093	-12.209	-12.604	7.262	9.875	7.660	0.005	0.008	0.001	0.312	0.640	0.378
	6	-12.116	-12.091	-12.789	6.926	9.406	7.274	0.003	0.009	-0.003	0.353	0.661	0.433
	10	-12.550	-12.417	-12.940	7.509	9.132	7.702	-0.002	0.006	-0.014	0.498	0.757	0.591
	30	-11.376	-11.579	-13.089	12.547	10.751	12.311	-0.012	0.009	-0.037	1.537	1.565	1.652
7	2	-12.206	-11.183	-35.777	8.147	9.699	8.213	0.006	0.019	-0.005	0.468	0.971	0.653
	4	-12.220	-11.322	-36.030	8.158	9.649	8.003	0.005	0.018	-0.016	0.479	0.965	0.770
	6	-12.130	-11.267	-36.120	8.154	9.749	8.026	0.004	0.017	-0.028	0.503	0.974	0.883
	10	-12.456	-11.522	-36.193	8.245	9.790	8.248	0.000	0.015	-0.053	0.597	1.035	1.106
	30	-11.931	-11.073	-36.519	10.873	10.864	11.247	-0.015	0.027	-0.170	1.530	1.681	2.234
8	2	-12.642	-10.825	-35.777	10.162	13.500	11.465	0.015	0.020	-0.001	0.691	1.337	0.876
	4	-12.621	-10.865	-36.030	10.158	13.410	11.465	0.015	0.020	-0.014	0.698	1.331	0.963
	6	-12.571	-10.898	-36.120	10.171	13.516	11.302	0.014	0.019	-0.026	0.713	1.333	1.047
	10	-12.648	-11.004	-36.194	10.128	13.202	11.024	0.012	0.018	-0.047	0.775	1.370	1.229
	30	-11.943	-10.877	-36.518	10.667	12.260	11.022	0.005	0.021	-0.155	1.537	1.856	2.259
9	2	-11.418	-10.670	-32.556	12.890	15.326	12.792	0.035	-0.052	0.004	1.590	2.436	1.763
	4	-11.404	-10.662	-23.452	12.863	15.358	12.725	0.035	-0.053	0.004	1.593	2.433	1.729
	6	-11.409	-10.748	-14.452	12.904	15.307	12.792	0.035	-0.053	0.010	1.597	2.430	1.689
	10	-11.490	-11.020	-11.796	12.838	15.253	12.383	0.034	-0.051	0.012	1.614	2.433	1.680
	30	-11.274	-10.876	-11.327	12.681	15.235	11.993	0.033	-0.050	0.038	1.902	2.627	1.950

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Şekil 4' te gösterilen grafik üzerinden görüldüğü gibi model üretiminde veri azaltılması ve üretilen modelin birim alana düşen karşılaştırma noktalarının artırılarak değerlendirilmesi, standart sapma değerlerinde yükselmelerin yaşandığını ortaya koymaktadır. Bu beklenen bir durumdur. En düşük standart sapma değerlerini veren enterpolasyon yöntemi Kriging' tir. Kriging ile enterpolasyonda, Veri set 1 ve grid aralığı 2 m ile 30 m arasında değişen değerler için; standart sapma değerleri sırası ile 0.140 m ile 1.437m arasında değişmektedir. Aynı grid aralıklarında söz konusu değerler; Veri set 2 için; 0.152 m ile 1.530 m, Veri set 3 için; 0.162 m ile 1.560 m, Veri set 4 için; 0.187 m ile 1.558 m, Veri set 5 için; 0.216 m ile 1.548 m, Veri set 6 için; 0.293 m ile 1.534 m, Veri set 7 için; 0.468 m ile 1.530 m, Veri set 8 için; 0.691 m ile 1.537 m, Veri set 9 için; 1.590 m ile 1.902 m olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara en yakın değerler Lineer Enterpolasyonla Triangülasyon yöntemine dayalı olarak yapılan enterpolasyon yöntemi ile elde edilmiştir. Her üç yöntemde, aynı gridleme ve karşılaştırma nokta yoğunluğuna göre değerlendirildiğinde birbirinden büyük sapmalar göstermemektedir ve her üç yöntemde de % 75 oranına kadar karşılaştırma nokta sayısının artırılmasına ve enterpolasyonda kullanılan verilerin azaltılmasına gidildiğinde, %1' lik veri grubundan elde edilen sonuçlara yakın değerler bulunmuştur. Çalışmada test verisi olarak kullanılan alanda gridleme için geçen süreler değerlendirildiğinde, Kriging enterpolasyon yönteminin en fazla zaman alan yöntem olduğu görülmektedir. Her bir gridleme genişliği için en az zaman kullanılarak elde edilen model Lineer Enterpolasyonla Triangülasyon' dur. Gridleme aralıkları uygun görülen genişlik değerine göre (2.3 m) değerlendirildiğinde bu aralığı içine alan 2 m ile 4 m değişen genişlikleri her üç enterpolasyon yönteminde yaklaşık aynı sonuçlar vermiştir. Bu sonuçlara göre, daha yoğun veri setlerinde, Lineer Enterpolasyonla Triangülasyon ve Ağırlıklı Ortalama ile enterpolasyon yöntemleri, zaman kazandırıcı olmaları ve etkili sonuçlar vermeleri bakımından önerilebilirler. Kriging yöntemi standart sapmanın en düşük olduğu veri setlerini oluştursa da daha yoğun veri setlerinde ve daha geniş alanların gridlenmesinde zaman ve algoritmanın işletilmesi için gerekli bilgisayar belleği bakımında zorlayıcı etkiye sahiptir. Kriging yöntemi veri seti yoğunluğunun az olduğu çalışmalarda etkili sonuçlar vermesi bakımından önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Aggett G., 2005. *Airborne Laser mapping with Lidar for dummies*. GIS for Local Government Conference
- Chauve A., Mallet C., Bretarl F., Durrieu S., Deseilligny M.P., Puech W., 2007. *Processing full-waveform Lidar data: Modelling raw signals*. ISPRS Workshop on Laser Scanning and SilviLaser
- Habib A. F., 2007. *Quality assurance and quality control of LiDAR systems and derived data*. Advanced Lidar Workshop
- Gong J., Li Z., Zhu Q., Shu H., Zhou Y., 2000. *Effects of various factors on the accuracy of DEMs: an intensive experimental investigation*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 66(9), pp. 1113-1117.
- Hodgson M. E., Bresnahan P., 2004. *Accuracy of airborne lidar- derived elevation: empirical assessment and error budget*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 70 (3), pp.331-339.
- Kienzle S., 2004. *The effect of DEM raster resolution on first order, second order and compound terrain derivatives*, Transactions in GIS, 8(1), 83-111.
- Konecny G., 2007. *Laser Scanning*. Workshop presentation, <http://cors-tr.iku.edu.tr>
- Kraus K., Pfeifer N., 1998. *Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data*. ISPRS, Journal of Photogrammetry and remote Sensing, Vol:53, pp 193-203.
- Li Z., Zhu Q., Gold C., 2005. *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*, CRC Press, Boca Raton, London, New York, and Washington, D.C.
- Liu X., Zhang Z., Peterson J., Chandra S., 2007. *The Effect of LiDAR Data Density on DEM Accuracy*, In: MODSIM07 International Congress on Modelling and Simulation, Christchurch, New Zealand.
- Mccullagh M. J., 1998. *Terrain and surface modelling systems: theory and practice*, Photogrammetric Record, 12(72), 747-779.
- Means J. E., Acker A. A., Fitt B.J., Renslow M., Emerson L., Hendrix C., 2000. *Predicting forest stand characteristics with airborne scanning Lidar*, Photogrammetric engineering & remote sensing, Vol 66, no:11, pp 1367-1371

Geçki Planlama Çalışmaları İçin Hava Lıdar Verisine Dayalı Sayısal Arazi Modelleme Ve Doğruluk Analizi

Sartori M., Starek M., Slatton K.C., 2004. *ALSM Data Processing*, GEM Center Report No. Rep_2004-06-001, Geosensing Engineering and Mapping (GEM) Civil and Coastal Engineering Department, University of Florida

Smith S.L., Holland D.A., Longley P.A., 2003. *The effect of changing grid size in the creation of laser scanner digital surface models*. Geocomputation

Stoker J., 2007. *Introduction to Lidar technology*. New Jersey lidar remote sensing workshop 2007.

URL 1, Hansen J., Jonas D., *Airborne laser scanning or aerial photogrammetry for the mine surveyor*. AAM Surveys Pty Limited, <http://www.aamhatch.com.au/>.