



Makale

Arazi Yüzeyi Tanımlamada Nokta Dağılımının Önemi İki Deneysel Çalışma

H.Murat YILMAZ*, Murat YAKAR**, Ömer MUTLUOĞLU***

*Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Aksaray

**Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Konya

***Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Konya

ÖZET

Yeryüzünün haritalanması ve üç boyutlu gösterimi genellikle birçok mühendislik uygulamasında kullanılmaktadır. Üç boyutlu modelleme jeomorfoloji, hidroloji, jeoloji, kartografya, ekoloji, madencilik gibi bir çok disiplin için oldukça önemlidir. Üç boyutlu modellerin temel verisi arazide herhangi bir koordinat sisteminde ölçülmüş noktaların x,y,z koordinatlarıdır. Arazinin yapısı, nokta ölçme doğruluğu, enterpolasyon yöntemi, grid çözünürlüğü, noktaların dağılım ve yoğunluğu yüzey modellemede önemli faktörlerdir. Nokta sayısının artması arazi yüzeyinin daha iyi tanımlanmasını sağlar. Ancak nokta sayısının artması daha fazla zaman ve maliyet gerektirir. Bu nedenle arazi yüzeyinin optimum sayıda ve dağılımda nokta ile tanımlanması arzu edilir.

Bu çalışmada arazi yüzeyini en iyi tanımlayan optimum nokta sayısı araştırıldı. Bunun için iki farklı yapay arazi modeli kullanıldı. Modellerin hacimleri laboratuarda ölçüldü. Bu modeller yersel fotogrametrik yöntemle değerlendirilerek modeller üzerinde x,y,z koordinatları bilinen noktalar üretildi. Noktalar düzenli aralıklı, rasgele dağılımlı ve karakteristik olmak üzere üç gruba ayrıldı. Bu üç gruba göre yapay arazi modellerinin hacimleri hesaplandı. Elde edilen hacim sonuçları analiz edildi. Arazi yüzeyi tanımlamada optimum çözüm karakteristik noktaların kullanımı ile elde edildi.

Anahtar Kelimeler: Yüzey, Hacim, Üç Boyutlu Model, Sayısal Yükseklik Modeli, Nokta Dağılımı, Fotogrametri

GİRİŞ

Arazi yüzeyi Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ile tanımlanır. SYM'ler arazide ölçülen noktalar yardımıyla elde edilir. SYM'ler jeoloji, hidroloji, coğrafya, erozyon modelleme, heyelan, uzaktan algılama uygulamaları, madencilik gibi bir çok uygulama ve disiplin için vazgeçilmez yapılardır [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8].

SYM'deki hatalar arazi yüzeyini tanımlamada olumsuz etkilere sahiptir. Araştırmalar SYM'nin doğruluğunu birçok faktörün etkilediğini göstermektedir [5], [9]. Birincisi, yüksekliklerin örnekleme aralıklarındaki artış topoğrafik yüzeyin güvenilirliğini azaltmaktadır [10], ve bu nedenle SYM'nin doğruluğu azalmaktadır [11]. İkincisi, SYM elde etmede kullanılan farklı algoritmalara sahip inverse distance weighting, splining, minimum curvature, natural neighbor gibi enterpolasyon yöntemlerinin etkisidir [12], [13], [14]. Üçüncüsü, arazinin yapısı ve seçilen grid çözünürlüğü. Hatalı bir grid çözünürlüğü doğruluğu azaltmaktadır [8], [15]. Son olarak arazideki ölçülen noktaların dağılımı da önemli etkindir.

Özellikle kompleks yapıları arazilerdeki topoğrafik değişimleri tam olarak tanımlayabilmek için yüksek çözünürlüklü SYM'lere ihtiyaç vardır [11], [16], [17]. SYM 'lerin doğrulukları arazi yüzeyinin tanımlanmasını doğrudan etkiler. SYM'ler üzerindeki çalışmalar genellikle gerçek arazi üzerinde yapılmıştır. Ancak bu çalışmada gerçek arazi yerine iki farklı arazi yapısını temsil edebilen yapay arazi modeli kullanıldı.

Bu çalışmadaki ana konu bir yüzey tanımlamada nokta dağılımının rolünü araştırmaktır. Hacim hesapları bu amaca ulaşmada bir araç olarak kullanıldı. En doğru hacim en iyi tanımlanan yüzeyden elde edilir prensibi ile aynı enterpolasyon yöntemi, aynı grid çözünürlüğü kullanılarak yapay modellerin hacimleri hesaplandı. Laboratuarda ölçülen hacim değerleri ile hesaplanan hacim değerleri karşılaştırıldı. Sonuçlar istatistikî olarak analiz edildi.

MATERYAL VE METOD

Bir SYM'nin temel verisi herhangi bir sistemde koordinatları (x,y,z) bilinen noktalardır. Bu noktalar yüzey üzerinde düzenli veya düzensiz bir konumda dağılmış durumdadır. Bu noktalar doğrudan arazide jeodezik ölçmelerle, Global Positioning System (GPS) tekniği ile, mevcut haritaların sayısallaştırılması ile, fotogrametrik yöntemle ve uydu görüntülerinden elde edilirler. Arazi yüzeyi üzerinde ölçülen bu noktalardan uygun enterpolasyon algoritmaları kullanılarak arazi yüzeyine ait SYM'ler elde edilir [18], [19], [20], [21]. Bu çalışmada en uygun enterpolasyon yöntemlerinden biri olan Natural Neighbor Interpolation Metodu kullanıldı [22].

Bir SYM bir topoğrafyanın sayısal bir gösterimidir. SYM'nin basit veri yapısı ve yaygın olarak elde edilebilme özelliği arazi karakteristikleri için önemli bir araç olmuştur [23]. Bu çalışmada veri toplamak için yersel fotogrametri yöntemi kullanıldı. Verilerin değerlendirilmesinde Surfer 8.0 yazılımı kullanıldı. Karşılaştırma için gerekli olan hacim hesapları da bu yazılımda yapıldı. Bu yazılımda bir f(x,y) fonksiyonundaki hacim çift katlı integral yardımıyla 1 ve 2 eşitlikleri yardımıyla elde edilir [24], [25], [26].

$$V = \int_{X_{\min}}^{X_{\max}} \int_{Y_{\min}}^{Y_{\max}} f(x, y) dx dy \quad (1)$$

Genişletilmiş yamuk kuralı;

$$A_i = \frac{\Delta x}{2} [G_{i,1} + 2G_{i,2} + 2G_{i,3} + \dots + 2G_{i,nSutun-1} + 2G_{i,nSutun}] \quad (2)$$

$$V \cong \frac{\Delta y}{2} [A_1 + 2A_2 + 2A_3 + \dots + 2A_{nSutun-1} + A_{nSutun}]$$

Katsayılar (1,,2,,2,,2,,.....,2,2,1)

Natural Neighbor Interpolation Method

Natural Neighbor Enterpolasyon metodu bazı alanlarda oldukça çok kullanılır. Natural Neighbor Enterpolasyon algoritması komşu noktaların ağırlıklı ortalamasını kullanır. Burada ağırlıklar oransaldır [20],[21], [26], [27],[28], [29]. Bu enterpolasyon yöntemindeki temel denklem;

$$G(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i f(x_i, y_i) \quad (3)$$

Burada :

$G(x,y)$; (x,y) 'deki tahmini doğal komşu nokta,

n ; enterpolasyon için kullanılan en yakın komşu noktaların sayısı,

$f(x_i,y_i)$; (x_i,y_i) 'de ölçülen değer ve

w_i ; $f(x_i,y_i)$ ile ilişkili ağırlıktır.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yüzey tanımlamada nokta dağılımının etkisini araştırmak için farklı arazi yapılarını temsil eden iki farklı yapay arazi modeli kullanıldı. Bu modellere ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

İlk Model

Bu model yaklaşık 9 cm çapında ve 9 cm yüksekliğinde alçıdan yapılmıştır tepe şeklinde bir modeldir (Şekil 1). Modelin hacmi taşıdığı su ile ölçüldü. Ölçümden önce su emmemesi için model yağlı boya ile boyandı. Modelin hacmi 5 defa ölçüldü ve 0.36 ml hata ile 364.2 ml olarak tespit edildi.

Kontrol noktalarını ölçmek için bir test alanı oluşturuldu (Şekil 1). Kontrol noktalarının koordinatları (x,y,z) ölçüldükten sonra modelin değişik konumlardan 8 Mega Piksel çözünürlüğe sahip Sony DSCF828 digital kamera ile resimleri çekildi. Digital kamera kalibre edildi. Kalibrasyon değerleri, modelin resimleri ve kontrol noktaları Photomodeler 5.0 yazılımına aktarıldı. Model fotogrametrik olarak değerlendirildi (Şekil 1). Kontrol noktalarındaki karesel ortalama hata (m_0) x,y,z yönünde sırasıyla 0.12 cm, 0.11 cm ve 0.10 cm olarak (4) bağıntısı ile bulundu.

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[V_i V_i]}{n-1}} \quad (4)$$

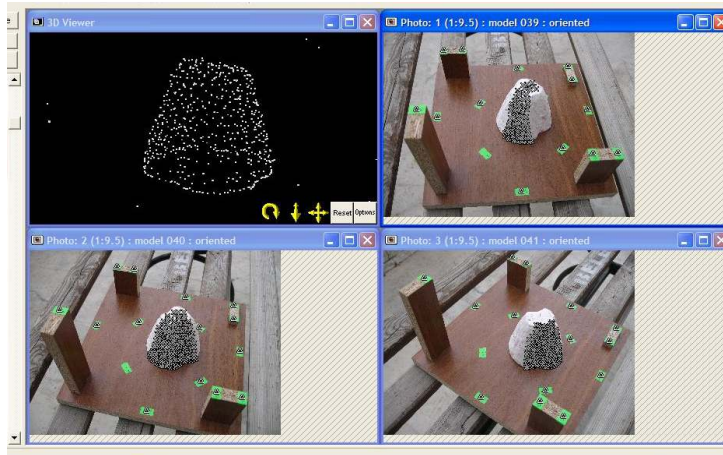
$$V_i = Z_o - Z_h$$

$$V_i = Z \text{ yönündeki hata}$$

$$Z_o = Z \text{ (ölçülen)}$$

$$Z_h = Z \text{ (hesaplanan)}$$

n : nokta sayısı



Şekil 1. Model, test alanı ve fotogrametrik değerlendirme

Bu çalışmada üç farklı nokta dağılımı kullanıldı. Bunlar, rastgele dağılımdaki noktalar, düzenli aralıklarla dağılmış noktalar ve karakteristik (eğimin değiştiği noktalar) noktalarıdır.

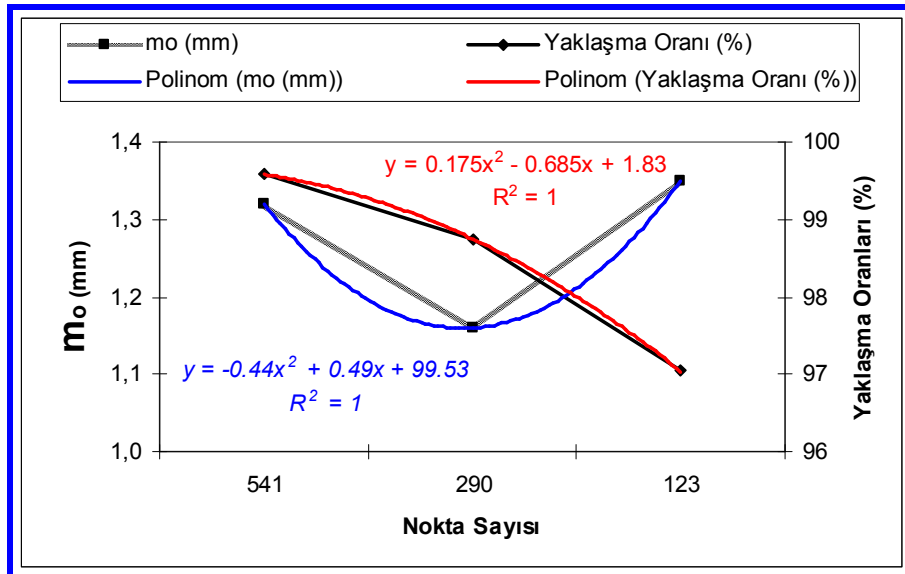
Bu model üzerinde rastgele konumda 541 nokta ölçüldü (Şekil 2a). Karakteristik olarak 290 nokta ölçüldü (Şekil 2b). Düzenli dağılımda (yaklaşık 1 cm aralıklı) 123 nokta ölçüldü (Şekil 2c). Bu üç farklı nokta dağılımına göre modelin hacmi hesaplandı. Gerçek hacim ile hesaplanan hacimler arasındaki yaklaşıma oranları elde edildi. Sonuçlar Tablo 1’de görülmektedir. Bu modelde hacim yaklaşıma oranları ile nokta dağılımları arasındaki ilişki grafik olarak Şekil 3’de görülmektedir.

Tablo 3. Nokta sayılarına göre ortalama hatalar ve yaklaşıma oranları

Nokta sayısı ve dağılım türü	m_o (mm)	Yaklaşıma oranları (%)
Rastgele dağılım 541 nokta	1.32	99.58
Karakteristik dağılım 290 nokta	1.16	98.75
Düzenli dağılım 123 nokta	1.35	97.04



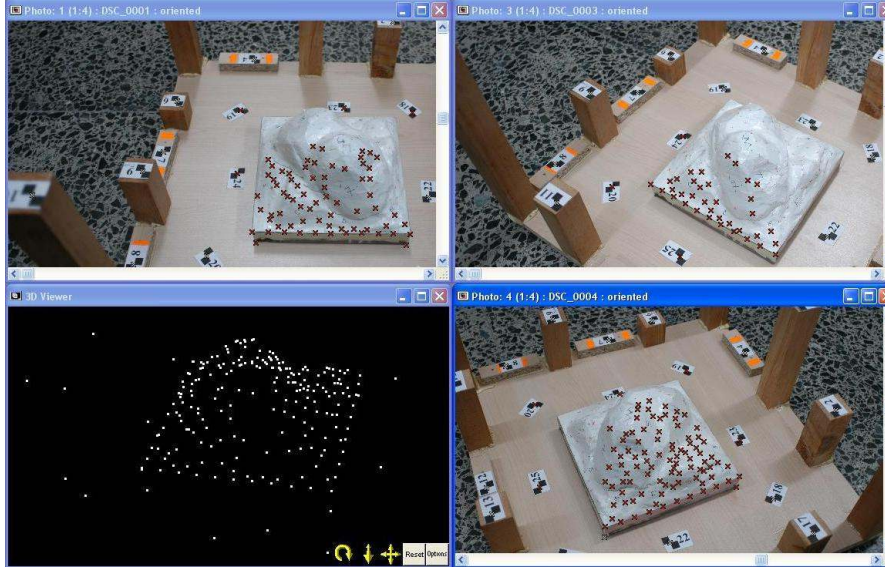
Şekil 2. İlk modeldeki noktaların yatay konumları



Şekil 3. Nokta sayısı, yaklaşıma oranı ve ortalama hata arasındaki ilişki

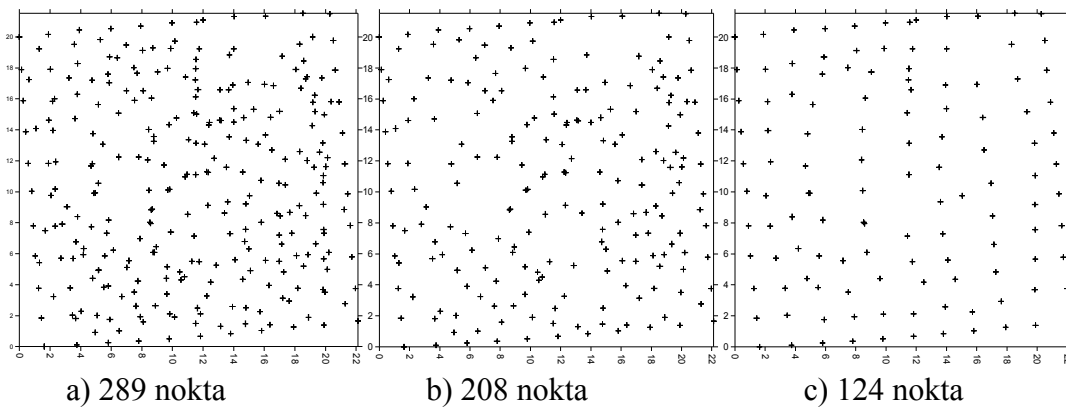
İkinci Model

İkinci yapay model 21x21 cm boyutunda, alçıdan yapılmış, kısmen düzlük, kısmen tepelik ve kısmen dalgalı bir yapıya sahiptir (Şekil 4). Modelin hacmi birinci modelde olduğu gibi laboratuvarında taşıdığı su miktarı ile ölçüldü. 5 kez ölçü yapıldı ve modelin hacmi 1.52 ml ortalama hata ile 1597.2 ml olarak ölçüldü. Birinci model için yapılan işlemler bu model için de yapıldı ve kontrol noktalarındaki ortalama hatalar x,y,z yönünde sırasıyla 0,9 mm, 0,7 mm ve 1,0 mm olarak hesaplandı.



Şekil 4. İkinci model, test alanı ve fotogrametrik değerlendirme

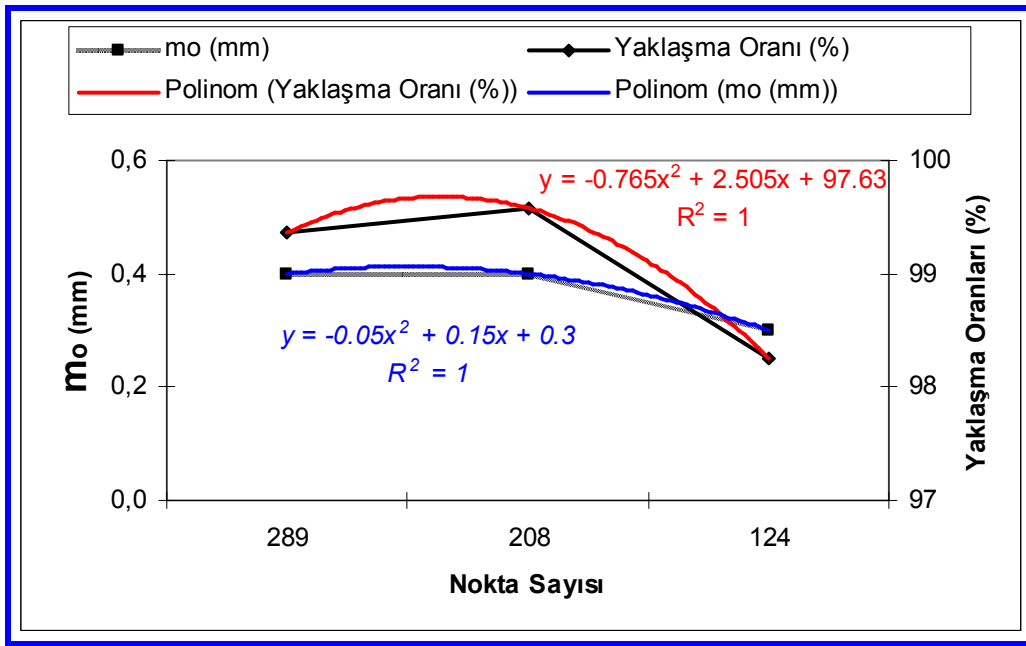
Bu modelde rastgele dağılımda 289 nokta (Şekil 5a), karakteristik olarak 208 nokta (Şekil 5b) ve düzenli aralıklı 124 nokta (Şekil 5c) ölçüldü. Modelin hacmi bu nokta dağılımlarına göre hesaplandı. Gerçek hacim ve hesaplanan hacimler arasındaki yaklaşma oranları hesaplandı. Elde edilen sonuçlar Tablo 2’de görülmektedir. Bu modeldeki karesel ortalama hata, yaklaşma oranları ve nokta sayıları arasındaki ilişkiler grafiksel olarak Şekil 6’da görülmektedir.



Şekil 5. İkinci modelde ölçülen noktaların yatay konumları

Tablo 2. Nokta sayılarına göre ortalama hatalar ve yaklaşma oranları

Nokta sayısı ve dağılım türü	m_0 (mm)	Yaklaşma oranları (%)
Rastgele dağılım 289 nokta	0,39	99,37
Karakteristik dağılım 208 nokta	0,40	99,58
Düzenli dağılım 124 nokta	0,30	98,26

**Şekil 6.** Nokta sayıları ve yaklaşma oranları arasındaki ilişki

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Arazi yüzeyi tanımlamada etkili faktörler arazinin yapısı, arazi üzerinde ölçülen nokta sayısı, nokta dağılımı, nokta yoğunluğu, enterpolasyon metodu ve grid çözünürlüğüdür.

Arazi yapısının etkisini azaltmak için iki farklı arazi yapısını temsil edebilecek iki farklı model kullanıldı. Kontrol noktalarındaki ortalama hatalar kabul edilebilir bir seviyede bulundu. Bu da model üzerinde ölçülen noktaların hatalarının küçük olduğunu göstermektedir. Yüzey tanımlamada en uygun enterpolasyon yöntemlerinden biri kullanıldı [22], [30]. Model üzerinde nokta yoğunlukları eğimin az olduğu yerlerde daha az çok olduğu yerlerde daha çok nokta olacak şekilde alındı. Grid çözünürlüğünün etkisini azaltmak için hesaplamalarda yüksek grid çözünürlüğü kullanıldı.

En uygun karşılaştırma kriterlerinden biri bir büyüklüğün gerçek değeri ile ölçülen değerinin karşılaştırılmasıdır. Modellerin ölçülen hacimleri (Gerçek hacim olarak alındı) fotogrametrik değerlendirme sonucunda hesaplanan hacimleri arasında gerçek hacme yaklaşma oranları elde edildi.

Şekil 3 ve 6 nokta sayısı arttıkça yaklaşma oranlarının da arttığını göstermektedir. Aynı zamanda karesel ortalama hatanın nokta sayısı ile ilgili olmadığı da görülmektedir. Yüzey üzerinde nokta sayısı arttıkça daha fazla noktadan enterpolasyon yapıldığı için grid noktalarındaki hatalar da artmaktadır. Karesel

ortalama hata ile nokta sayısı ve yaklaşma oranı ile nokta sayısı arasındaki korelasyon 2. derecen bir denklemle ifade edilebilmektedir. Her iki modelde de bu korelasyonlar $R^2=1$ elde edilmiştir.

Sonuçta nokta sayısının artması yüzey tanımlamadaki doğruluğu çok fazla etkilemektedir. Ayrıca gereğinden fazla nokta ölçmek daha fazla zaman ve maliyet gerektirir. Bu nedenle daha fazla nokta yerine karakteristik noktaları kullanmak daha uygun olmaktadır. Düzenli aralıklarla ölçülen noktalar ile yüzey iyi tanımlanamamaktadır.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, nokta dağılımının yüzey tanımlamadaki etkisi araştırıldı. İki farklı arazi yapısını temsil eden iki yapay model kullanıldı. Modellerin hacimleri biliniyordu. Modeller üzerinde fotogrametrik yöntemle rastgele konumda, düzenli aralıkta ve karakteristik özellikte noktalar ölçüldü. Bu nokta dağılımlarına göre modellerin hacimleri hesaplandı. Arazi yüzeyini tanımlamada etken olan diğer faktörler ihmal edildi. Nokta dağılımlarına göre hesaplanan hacimler modellerin bilinen hacimleri arasındaki gerçek hacme yaklaşma oranları hesaplandı. En doğru hacim en iyi tanımlanan yüzey yardımıyla elde edilir prensibi ile gerçek hacme yaklaşma oranları ile nokta dağılımları arasındaki ilişki analiz edildi. Sonuçta, nokta sayısı arttıkça yüzey tanımlamadaki doğruluk da artmaktadır. Ancak her fazla noktanın ek bir maliyet ve zaman gerektireceği de unutulmamalıdır. Yüzey üzerinde belirli aralıklarla alınan noktalarla yüzeylerin beklenen doğrulukta tanımlanamadığı görüldü. Yüzey üzerindeki karakteristik noktaların alınmasıyla hem ölçülen noktalarındaki ortalama hata, hem de gerçek hacme yaklaşma açısından en uygun çözümüm elde edilebileceği görüldü.

KAYNAKLAR

1. LEE, J., SNYDER, P. K., FISHER, P. F., 1992. "Modelling the effect of data errors on feature extraction from digital elevation models", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 58, s. 1461–1467
2. GAO, J., 1997. "Resolution and accuracy of terrain representation by grid DEMs at a micro-scale", International Journal of Geographical Information Science, 11, s. 199–212
3. REES, W. G., 2000. "The accuracy of Digital Elevation Models interpolated to higher resolutions", International Journal of Remote Sensing ,21, s.7–20
4. WISE, S. M., 2000. "Assessing the quality for hydrological applications of digital elevation models derived from contours", Hydrological Processes, 14, s.1909–1929
5. LOPEZ, C., 2002. "An experiment on the elevation accuracy improvement of photogrammetrically derived DEMs", International Journal of Geographical Information Science ,16, s. 361–375
6. HILTON, R. D., FEATHERSTONE, W. E., BERRY, P. A. M., JOHNSON, C. P. D., KIRBY, J. F., 2003. "Comparison of digital elevation models over Australia and external validation using ERS-1 satellite radar altimetry", Australian Journal of Earth Sciences 50, s.157–168
7. ZIADAT, F. M., TAYLOR, J. C., BREWER, T. R., 2003. "Merging Landsat TM imagery with topographic data to aid soil mapping in the Badia region of Jordan", Journal of Arid Environment, 54, s. 527– 541
8. ZIADAT, F. M., 2007."Effect of Contour Intervals and Grid Cell Size on the Accuracy of DEMs and Slope Derivatives", Transactions in GIS ,11,1, s. 67–81

9. KIENZLE, S., 2004. "The effect of DEM raster resolution on first order, second order and compound terrain derivatives", *Transactions in GIS*, 8: 83–111
10. GAO, J., 1998. "Impact of sampling intervals on the reliability of topographic variables mapped from grid DEMs at a micro-scale", *International Journal of Geographical Information Science* 12: 875–90
11. GONG, J., Lİ, Z., ZHU, Q., SUI, H., ZHOU, Y., 2000. "Effects of various factors on the accuracy of DEMs: an intensive experimental investigation", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66, s. 1113–1117
12. HUTCHINSON, M. F., 1988. "Calculation of hydrologically sound digital elevation models", In *Proceedings of the Third International Symposium on Spatial Data Handling*, Sydney, Australia: 117–33
13. BURROUGH, P. E., McDONNELL, R. A., 1998. "Principles of Geographic Information Systems", New York, Oxford University Pres
14. GARBRECHT, J., MARTZ, L. W., 2000. "Digital elevation model issues in water resources modeling", In Maidment D R and Djokic D (eds) *Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographical Information Systems*. Redlands, CA, ESRI Press: 1–28
15. GAO, J., 1995. "Comparison of sampling schemes in constructing DTMs from topographic maps", *ITC Journal* 1: 18–22
16. LYNCH, S., 2002. "Digital elevation models and spatial resolution", *South African Journal of Science*, 98, s.219–2222
17. GAO, J., 1997. "Resolution and accuracy of terrain representation by grid DEMs at a micro-scale", *International Journal of Geographical Information Science*, 11, s. 199–212
18. PETRIE, G., KENNIE, T.J., 1987. "Terrain modeling in surveying and civil engineering", *Computer Aided Design*, 19(4), s.171–187.
19. WATSON, D., 1999. "The Natural Neighbor series manuals and source codes", *Computer Geoscience*, 25, s. 463–466.
20. SUKUMAR, N., MORAN, B., SEMENOV, A.Y., BELIKOV, B.B., 2001. "Natural Neighbour Galerkin methods", *International Journal of Numerical Methods Engineering*, 50, s.1–27.
21. YANALAK, M. 2003. "Effect of gridding method on digital terrain model profile data based on scattered data", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 17, 1, s.58–67.
22. YILMAZ, H.M. 2007. "The effect of interpolation methods in surface definition: an experimental study", *Earth Surface Processes and Landforms*, 32,9, s.1346-1361
23. CHAPLOT, V., DARBOUX, F., BOURENNANE, H., LEGUEDOİS, S., SILVERA, N., PHACHOMPHON, K., 2006. "Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density", *Geomorphology*, 77, s.126–134.

24. GUIBAS, L., STOLFI, J., 1985. "Primitives for the Manipulation of General Subdivisions and the Computation of Voronoi Diagrams", ACM Transactions on Graphics, 4, 2, s. 74-123.
25. LEE, D.T., SCHACHTER, B.J., 1980. "Two Algorithms for Constructing a Delaunay Triangulation", International Journal of Computer and Information Sciences, 9, 3, s.219-242.
26. SURFER 8 manual, 2006 (<http://www.goldensoftware.com/demo.shtml>)
27. SIBSON, R., 1981, "A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation", Chapter 2 in Interpolating multivariate data, John Wiley & Sons, New York, s. 21-36.
28. OWEN S.J. 1992. "An Implementation of Natural Neighbor Interpolation in Three Dimensions", Thesis, Brigham Young University.
29. WATSON D, 1994. "Nngridr: An Implementation of Natural Neighbor Interpolation", published by David Watson, Claremont, Australia.
30. FENCIK, R., VAJSABLOVA, M., VANIKOVA, E., 2005. "Comparison of interpolating methods of creation of DEM", In: 16th Cartographic conference, University of Defence press. Brno, Czech Republic, 77–87.