

Review Paper / Derleme Makalesi

**AN ALTERNATIVE APPROACH BASED ON ANGLE AND DISTANCE IN
HORIZONTAL ROUTE DESIGN**

Nursu TUNALIOĞLU*, Metin SOYCAN

Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Esenler-İSTANBUL

Received/Geliş: 13.10.2011 Revised/Düzeltilme: 04.01.2012 Accepted/Kabul: 13.01.2012

ABSTRACT

A common problem on transportation planning facilities is to generate an adequate route that refers the subsequent studies. Route design includes a process with determining the different quality alternative facilities during planning based on three dimensional field data. In this stage, the obtained route results should be taken into consideration by means of reliability and accuracy for rapid and effective decision supports. Therefore, an alternative approach is represented in this study for referring the route design with computational functions and workflow. In this approach, namely Angle-Distance search on grids, an automatic connecting algorithm of two given points due to azimuth angle of the searched points, step interval and horizontal coordinate differences to draw the zero line, which helps to perform cut fill balance due to minimizing earthwork cost, is represented. The objective function of the proposed method is the differences between the desired longitudinal grade line elevations and the computed elevations that should be done minimum. Thus, the aim is to perform cut fill balance and to make earthwork cost minimum. The feasibility and validity of the proposed method was shown in a case study by using high resolution LIDAR (Light Detection and Ranging) dataset to produce digital elevation models. The results showed that the proposed methodology could be used as a guide, which helped to minimize the total earthwork balance in route planning facilities.

Keywords: Route design, angle and distance search, optimization, grade condition.

YATAY GEÇKİ TASARIMINDA AÇI VE UZUNLUĞA DAYALI ALTERNATİF BİR YAKLAŞIM

ÖZET

Ulaştırma türleri arasında genel bir sorun, planlama çalışmalarında referans olarak kullanılacak ulaştırma türüne ait uygun geçkinin geçirilmesi işlemidir. Geçki planlaması, üç boyutlu arazi verisine dayalı olarak, planlama esnasındaki farklı nitelikteki alternatif çalışmaların niteliğine göre değerlendirilmesi gereken bir süreci kapsar. Bu aşamada karar verme sürecinde hızlı ve etkin çözümlerin elde edilebilmesi için sonuçların doğruluk ve güvenilirliğinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle yapılan bu çalışmada, ulaştırma türlerinde kullanılabilecek geçki tasarımı için farklı bir metod önerilmektedir. Bu amaçla, klasik geçki araştırmasına alternatif olarak, işlem algoritması ve hesaplama tekniği iteratif olan bir yaklaşım sunulmuştur. "Açı ve Uzunluk ile Gridlerde Arama" olarak adlandırılan bu yaklaşımda, geçki hattına ait ara noktaların tespit edilmesi, değişen açı değerlerine bağlı oluşturulan arama çemberi üzerindeki noktaların eğim değerlerine ve sabit arama uzunluk değerine bağlı olarak yapılmaktadır. Önerilen yaklaşımda kullanılan amaç fonksiyonu, eğim değerine göre bulunan geçki ara noktalarının yükseklikleri ile mevcut yükseklik değerlerinin farkının minimum olması koşuluna göre düzenlenmiştir. Bu sayede, elde edilen geçki, kazı dolgu dengesini sağlayarak toprak işini minimize etmektedir. Bu çalışmada, geliştirilen söz konusu bu yaklaşımın test edilmesi amacıyla, LIDAR (Light Detection and Ranging) tekniği ile elde edilen bir alana ait yüksek çözünürlüklü üç boyutlu arazi verisi kullanılarak sayısal bir uygulama yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, önerilen yaklaşımın, istenen eğim koşullarını yerine getirerek kazı dolgu dengesini sağlamasından dolayı, geçki planlama çalışmalarında referans olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Geçki tasarımı, açı ve uzunluk ile arama, optimizasyon, eğim koşulu.

* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: ntunali@yildiz.edu.tr, tel: (212) 383 53 21

1. GİRİŞ

Ulaşım türlerinin eksen çizgilerinin arazi üzerindeki izdüşümleri geçki ya da güzergâh olarak adlandırılmaktadır [1,2]. Arazi üzerinde alınan iki noktanın öngörülen uygun eğim değerine bağlı olarak birleştirilmesi işlemi ise geçki araştırmasıdır. Geçki araştırmasında bu iki noktanın birleştirilmesi işlemi sırasında, çok fazla seçeneğin olduğu kabul edilmektedir. Ancak kısıtlar altında değerlendirilen geçki oluşturma çalışmaları, bazı durumlarda alternatif olarak alınacak bir diğer geçki çalışmasını olanaksız hale getirmektedir. Geçki araştırması, genel anlamda, yolun geçmesi zorunlu olan noktalarını birbirine bağlayan, seçenekler arasında en uygun olanını bulmak için yapılan bir çalışmadır. Bu çalışmanın temeli; birden fazla seçenek arasında yapılan bir ekonomik karşılaştırmadır. Seçeneklerin karşılaştırmaya esas olabilmeleri için bir dizi koşulu yerine getirmeleri öngörülür. Bu koşulların bir kısmı istenen fakat sağlanmasında kesin zorunluluk olmayan, başka bir deyişle, duruma göre vazgeçilebilen niteliktedir [3].

Klasik geçki araştırması, sıfır poligonu olarak adlandırılan manüel bir işlem sürecini ifade etmektedir. Manüel yapılan bu çalışma, arazinin topografyasına uygun olarak, verilen iki ana kontrol noktasının uygun arazi eğimi ile geçirilmesi işlemidir [3,4]. Bu işlemin sonucunda, yatayda kırıklı bir hat üzerinde oluşan ardışık noktaların düşeyde gösterimi, boyuna eğim değeri sabit olacak şekilde bir geçki hattı meydana getirmektedir. Bununla amaçlanan, yatay geçkisini kırıklı noktaların oluşturduğu bir hat üzerinden gidildiğinde, toprak işi değerinin sıfır olmasıdır. Teorik olarak planlanan bu çalışmanın manüel işlem sürecinin yerine, yatayda ve düşeyde oluşturulacak geçki hattının optimizasyonu için pek çok yöntem ve model literatürde geliştirilerek kullanılmıştır.

Yatay geçki optimizasyonu için kullanılan modeller, düşey geçki tasarımında kullanılan modellere göre daha karmaşık bir yapıdadırlar ve çözüm için düşey geçki optimizasyonunda gerekli olan verilerden daha fazla veri grubuna ihtiyaç duymaktadırlar [5]. Temel olarak ele alınan yatay geçki optimizasyon modelleri, Varyasyonlar Hesabı, Ağ Optimizasyonu, Dinamik Programlama ve Genetik Algoritmalar şeklinde sıralanmaktadır [6].

Ortak yönlerine bakıldığında, yatay geçki optimizasyonu problemi ile varyasyonlar hesabı benzerlikler göstermektedir. Bu fıkirden yola çıkan pek çok araştırmacı, yatay geçki optimizasyonu için Optimum Eğrilik İlkesi' ni (OCP: Optimum Curvature Principle) geliştirmiştir. Bu çalışmaya benzer bir çalışma varyasyonlar hesabının ulaştırma problemlerine yönelik olarak geliştirilmesinde Thomson ve Skykes' ın [7] çalışmasında görülmektedir. Ağ optimizasyonu yaklaşımındaki temel düşünce, yatay geçki hattının ağ yaklaşımı olarak çözümlenmesidir. Burada, geçkinin başlangıç ve bitiş noktaları eğrisel düzlem üzerinde birleştirildikten sonra en kısa mesafenin bulunması gibi pek çok ağ optimizasyon yönteminin uygulanması ile problem çözülmektedir. OECD [5]' e göre, Massachusetts Institute of Technology (MIT) ve Miami Üniversitesi' nde yapılan çalışmalar bu çözümü kapsamaktadır. Buna benzer bir yaklaşım Turner [8] tarafından GCARS (Generalized Computer Aid Route Selection) sisteminde kullanılmıştır. Dinamik programlama, karayolu geçki optimizasyon çalışmalarında, özellikle düşey geçkinin optimizasyonu için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bunun yanında, yatay geçki optimizasyonu için dinamik programlamanın kullanılmasında ilk aşama, başlangıç ve bitiş noktalarının birleştirilmesi ile oluşan geçki hattına dik ve eşit aralıklara bölünmüş enkesit çizgilerinin yerleştirilmesi ile oluşmaktadır. Problemin çözümündeki her bir aşamada, sınırlar dik doğrultu üzerindeki düğüm noktaları veya gridlerdir. Arama sırasında, amaç fonksiyonu genellikle son aşamadan ilk aşamaya doğru hesaplanmaktadır. Sonuç geçki hattının eğrilik kısıtını sağlamak için bir sonraki aşamada sadece sınırlı sayıda düğüm noktasının, bulunulan aşamadaki düğüm noktası ile birleşmesine izin verilmektedir. Dinamik programlama kullanılarak yapılan yatay geçki optimizasyonu ve 3 boyutlu optimizasyon çalışmalarına, OECD [5], Hogan [9], Nicholson [10] ve Trietsch [11]' de rastlanmaktadır. Problemin çözümü incelendiğinde, yatay geçkinin optimizasyonu için kullanılan dinamik programlama modelinin en kısa yol problemi olarak formüle edilebileceği görülmektedir. Genetik

algoritmalar, en iyinin korunumu ve doğal seçim ilkesinin benzetim yoluyla bilgisayarlara uygulanması ile elde edilen bir arama yöntemidir. Çoğu optimizasyon probleminde karışık değişkenler (sürekli ve kesikli) ve araştırma alanında süresizlikler söz konusudur [12]. Jong vd. [13], yaptıkları çalışmada verilen iki nokta arasında yatay karayolu geçkisinin optimizasyonu için genetik algoritmaların ve coğrafi bilgi sistemlerinin birlikte kullanılmasını sunmuşlardır. Önerilen yaklaşım amacı topografik olarak engebenin fazla olduğu arazilerde yatay tasarım optimizasyonunun gerçekleştirilmesidir.

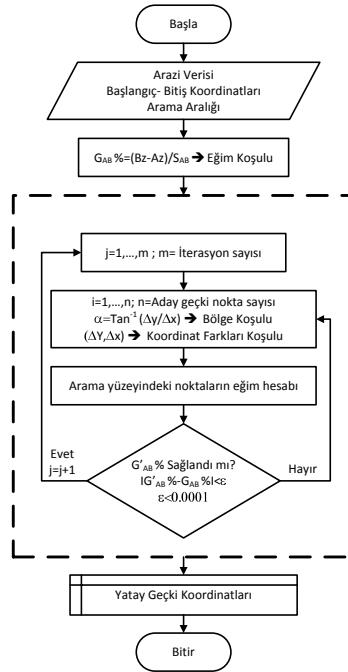
Bu çalışmada, geçki planlaması için alternatif arama yapısına sahip olan bir yaklaşım sunulurken, algoritması, genel kabulleri ve hesaplamaları verilmektedir. Bunun yanında, yaklaşımın hesaplama performansını göstermek amacı ile yüksek çözünürlüklü LIDAR verisinden elde edilen sayısal yükseklik modeli yardımıyla üç farklı geçki hattına ait sayısal bir uygulama yapılmıştır.

2. AÇI VE UZUNLUĞA DAYALI İTERATİF YAKLAŞIM

2.1. Model Tasarımı

Açı ve uzunluğa dayalı iteratif arama yaklaşımında geçki oluşturma çalışması, verilen iki noktanın sabit eğim koşuluna dayalı ve toprak işi maliyetinin en aza indirilmesi öngörülerek birleştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bu amaç doğrultusunda, başlangıç ve bitiş noktalarına bağlı olmak üzere sıfır poligonu hattının otomatik olarak oluşturulması tasarlanmıştır. Yeryüzüne ait verilerin otomatik olarak değerlendirilmesi, çalışma bölgesine ait her noktadaki veri davranışının kontrol edilmesi ve tüm olasılıkların göz önüne alınması ile mümkündür. Ancak, çalışma bölgesindeki arazi verisine ait öncül bilginin olmaması, arama sınırlarının genişlemesi veya daralması ile farklı sonuçların üretilmesi veya üretilmemesi gibi sorunlar oluşmaktadır. Bundan dolayı, bu yaklaşım, sıfır poligonu hattının klasik olarak geçirilmesi sürecini taklit ederek, sonuç geçki hattının oluşturulması şeklinde tasarlanmıştır.

Yönteme ait model tasarımında geçki hattına ait ara noktaların tespit edilmesi, değişen açı değerlerine bağlı oluşturulan arama çemberi üzerindeki noktaların eğim değerlerine bağlı olarak yapılmaktadır. Şekil 1’ de, önerilen yaklaşımın algoritması gösterilmektedir. Buna göre, algoritmanın başlama koşulu için iki farklı veri grubunun olması gerekmektedir. Bu farklı tipteki veriler: (1) arazi verisine ait noktaların üç boyutlu koordinatları (2) başlangıç ve bitiş noktalarına ait üç boyutlu nokta koordinatlarıdır. Bunun yanında, arama yapılacak aralık değerin de belirtilmesi gerekmektedir.

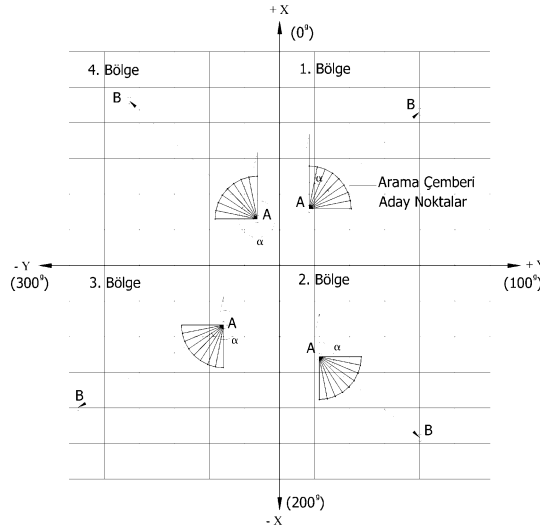


Şekil 1. Açı ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımının işlem akışı

Başlangıç ve bitiş noktalarına ait üç boyutlu koordinatlardan boyuna eğim değeri hesaplanarak, hesaplanan bu değer eğim koşulu olarak atanmaktadır. Hesaplanan bu eğim değeri, bu noktadan sonra hesaplanacak her bir iterasyondaki aday ara noktalar için sabit olarak tanımlanmıştır. Algoritma, her bir iteratif adımda aday ara noktalar üretmekte ve bu noktalar arasından seçimi, eğim değerini sağlayan noktanın bulunması ile tamamlamaktadır. Eğim koşulunun belirlenmesi, aday noktaların yükseklik değerlerine göre seçimi için gerekli olan bir koşuldur. Ancak aday noktaların yatay plan üzerinde yerlerinin tespit edilmesi için her bir adımda tanımlanması gereken arama yüzeylerine ihtiyaç vardır. Eşit mesafeli arama noktaları oluşturduğu için arama yüzeyi olarak çember yüzeyler seçilmiştir. Bu sayede, her aşamada her bir nokta için istenen eğim değeri ve aranan noktaların eğim değerlerinin karşılaştırılmasına olanak sağlanmaktadır. Karşılaştırma ile aranan noktanın yerinin bulunması; başlangıç ve bitiş noktalarına ait boyuna eğim değeri ile ilk nokta ve oluşturulan çember yüzeyi üzerindeki noktalar arasında hesaplanan eğim değerlerinin farklarının eşit olduğu durum için geçerlidir. Hesaplamalarda eşitliğin sağlanabilmesi için bir tolerans sınır değeri ($\varepsilon = 0,0001$) belirlenmiştir. Tüm noktalarda tolere edilebilecek yükseklik farkı değerinin bulunamaması veya yükseklik farkı değerinin mutlak değerce sağlanması fakat istenen fark değeri ile ters işaretli olması durumunda, o noktadaki arama aralığı (limit değerleri) değiştirilerek, işlemler tekrarlanmaktadır. İstenen fark değerine ulaşıldığı anda nokta otomatik olarak seçilmektedir.

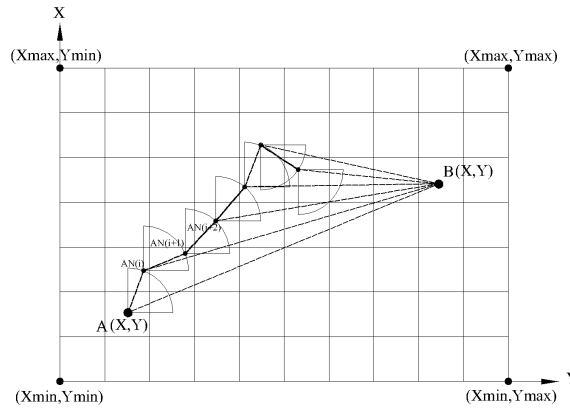
Arama yüzeyinin çember olarak tanımlanması, aynı eğim farkına sahip farklı doğrultularda birden çok noktanın bulunmasına ve geçki hattında geriye dönüşlerin yaşanmasına neden olmaktadır. Çember arama yüzeyi, aday noktaların sınırlandırılması durumunda aramanın yön değiştirmesine neden olacak, aday nokta dağılımları göstermektedir. Bundan dolayı, yaklaşımın akış diyagramı üzerine iki farklı koşul eklenmiştir. Bunlardan ilki, arama doğrultusunun yönlendirilmesi için, noktalar arasındaki açıklık açısının kısıtlayıcı koşul

olmasıdır. Noktalar arasındaki açıklık açısının yönlendirilmiş doğrultu olarak kullanılması için arama çemberi daraltılarak 100° ’lık merkez açı dilimleri halinde hesaplanmıştır. Diğer bir kısıt ise, arama yapılacak daraltılmış çemberin yönlendirilmesinde kullanılan koordinat farklarıdır. Şekil 2, açıklık açısına göre tanımlanmış bölgeler için arama çemberinin sınırlandırılmış durumunu göstermektedir.



Şekil 2. Jeodezik koordinat sistemine göre arama çemberlerinin tanımlanmış bölgeleri

Yönelme yönü, sırasıyla A ve B noktaları başlangıç ve bitiş ana kontrol noktaları alınmak üzere, nokta koordinatlarının iki boyutlu düzlemde farklarından tayin edilmektedir. Şekil 3 üzerinde uzunluk ve açı doğrultusuna göre kare grid veri üzerinde arama yaparak geçki tasarımı verilen iki ana noktaya bağlı en uygun eğim değerine göre geçki tasarımının görsel hali bulunmaktadır. Ayrıca, grid veri yapısının kenar uzunluğuna yani çözünürlük miktarına göre mesafe atamalarının seçilmesi, uygun yükseklik değerlerinin bulunmasını sağlamıştır. Algoritma, bulduğu en uygun noktayı, geçki için ara nokta olarak atayarak, bir sonraki adıma geçmektedir.



Şekil 3. Geçkinin yatay planda sunumu

Algoritmanın sonlandırılması için sonuç değeri olarak, B noktasının yatay koordinatları tanımlanmıştır. Bu durumda, her bulunan ara noktanın yatay koordinatları, sonuç olarak tanımlanan B noktasına ait koordinatlarla karşılaştırılmaktadır. Tanımlanan arama mesafesi değişmediği ve her arama yüzeyinde sabit alındığı için, programın sonlandırılması için gerekli olan koşul, B noktasının bir “yaklaşım değeri (y_s)” ile denetlenmesi ile mümkün olmaktadır. Aksi durumda, B noktasına varış mümkün olmamakta, son noktalar arama çemberi üzerinde sürekli yer değiştirerek yeni noktalar üretilmektedir. Bu durumun önlenmesi için yaklaşım sınır mesafesi denetimi konularak, son noktaya varış, bir önceki arama noktası ile B noktası arasındaki yatay koordinat farkının tolerans değeri içinde kaldığı anda arama sonlandırılmaktadır.

2.2. Açık ve Uzunluk ile Gridlerde Arama Algoritması

A_x, A_y, A_z = Başlangıç noktasının koordinatları, B_x, B_y, B_z = Bitiş noktasının koordinatları, olmak üzere; iteratif yaklaşımda aramaya başlama işlemi aşağıda verilen hesap adımları ve koşulların sağlanması ile başlamaktadır.

Adım 1: Başlangıç Yönelme Yönünün Tayini

Hesap 1: A ve B noktalarının açıklık açılarının bölgelerine göre tespiti

$$\begin{aligned}\Delta y &= |By - Ay| \\ \Delta x &= |Bx - Ax|\end{aligned}\quad (1.a)$$

koordinat farkları olmak üzere;

$$\begin{aligned}\text{Eğer: } \Delta x > 0 \text{ ve } \Delta y = 0 \text{ ise; } \alpha_{AB} &= 0^g \\ \text{Eğer: } \Delta x = 0 \text{ ve } \Delta y > 0 \text{ ise; } \alpha_{AB} &= 100^g \\ \text{Eğer: } \Delta x < 0 \text{ ve } \Delta y = 0 \text{ ise; } \alpha_{AB} &= 200^g \\ \text{Eğer: } \Delta x = 0 \text{ ve } \Delta y < 0 \text{ ise; } \alpha_{AB} &= 300^g \\ \alpha_{AB} &= \arctan\left(\frac{By - Ay}{Bx - Ax}\right)\end{aligned}\quad (1.b)$$

$$\begin{aligned}\text{Eğer: } \Delta x < 0 \text{ ve } \Delta y > 0 \text{ ise; } \alpha_{AB} &= \alpha_{AB} + 200^g \\ \text{Eğer: } \Delta x < 0 \text{ ve } \Delta y < 0 \text{ ise; } \alpha_{AB} &= \alpha_{AB} + 400^g \\ \text{Eğer: } \Delta x > 0 \text{ ve } \Delta y > 0 \text{ ise; } \alpha_{AB} &= \alpha_{AB}\end{aligned}$$

Hesap 2: Yönelmenin koordinat farklarına göre tespiti:

$$\begin{aligned}\Delta y &= |By - Ay| \\ \Delta x &= |Bx - Ax|\end{aligned}$$

Adım 2: Amaç Fonksiyonu

Koşul 1: Yükseklik farklarının hesabı

$$G_{AB}(\%) = (B_z - A_z) / S_{AB} \quad (2)$$

$$S_{AB0} = ((A_x - B_x)^2 + (A_y - B_y)^2)^{0.5} \quad (3)$$

$$D_m = 1.5$$

$$S_{AB} = D_m * S_{AB0} \quad (4)$$

A= Başlangıç noktası, B= Bitiş noktası; S_{AB0} = A ve B noktaları arasındaki izdüşüm mesafesi, $G_{AB}(\%)$ = A ve B noktaları arasındaki boyuna eğim değeri, D_m = Dolanma mesafesi katsayısı, ss= Arama aralığı, olmak üzere yaklaşımın çalışma kriterleri ve koşulları verilmektedir.

Adım 3: İteratif Aramaya Başlama

Koşul 1: $\alpha_{AB} > 0^g$ ve $\alpha_{AB} < 100^g$ için; $i=1:101$ ve $\phi = [0:1:100]$ olmak üzere;

$$AN(x(i)) = Ax + ss \times \cos((\phi(i))) \quad (5.a)$$

$$AN(y(i)) = Ay + ss \times \sin((\phi(i))) \quad (5.b)$$

Koşul 2: $\alpha_{AB} > 100^g$ ve $\alpha_{AB} < 200^g$ için; $i=1:101$ ve $\phi = [0:1:100]$ olmak üzere;

$$AN(x(i)) = Ax + ss \times \cos((\phi(i) + 100^g)) \quad (6.a)$$

$$AN(y(i)) = Ay + ss \times \sin((\phi(i) + 100^g)) \quad (6.b)$$

Koşul 3: $\alpha_{AB} > 200^g$ ve $\alpha_{AB} < 300^g$, $|Ay - By| > |Ax - Bx|$ için; $i=1:101$ ve $\phi = [100:1:200]$ olmak üzere;

$$AN(x(i)) = Ax + ss \times \cos((\phi(i) + 100^g)) \quad (7.a)$$

$$AN(y(i)) = Ay + ss \times \sin((\phi(i) + 100^g)) \quad (7.b)$$

Koşul 4: $\alpha_{AB} > 200^g$ ve $\alpha_{AB} < 300^g$, $|Ay - By| < |Ax - Bx|$ için; $i=1:101$ ve $\phi = [100:1:200]$ olmak üzere;

$$AN(x(i)) = Ax + ss \times \cos((\phi(i))) \quad (8.a)$$

$$AN(y(i)) = Ay + ss \times \sin((\phi(i))) \quad (8.b)$$

Koşul 5: $\alpha_{AB} > 300^g$ ve $\alpha_{AB} < 400^g$ için; $i=1:101$ ve $\phi = [0:1:100]$ olmak üzere;

$$AN(x(i)) = Ax + ss \times \cos((\phi(i) + 300^g)) \quad (9.a)$$

$$AN(y(i)) = Ay + ss \times \sin((\phi(i) + 300^g)) \quad (9.b)$$

Adım 4: Uygun ara noktaların seçimi

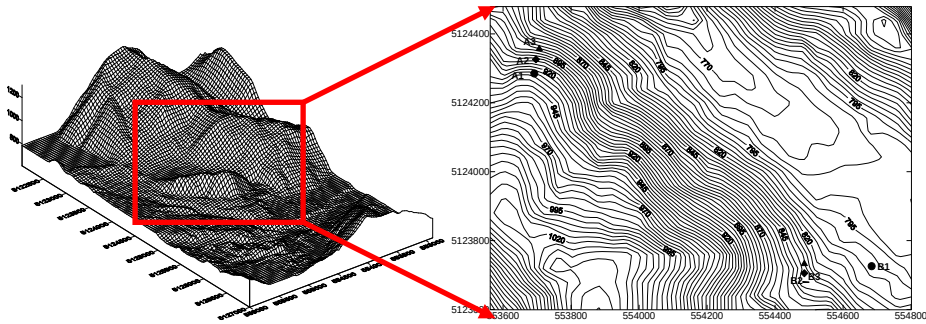
Adım 5: Yaklaşım mesafesi denetimi

Adım 6: Bitiş noktasına (B) varış, aramanın sonlandırılması

3. SAYISAL UYGULAMA

3.1. Çalışma Bölgesi

Önerilen yaklaşımın performans değerlendirmesinin yapılması amacı ile ABD' nin Washington Eyaleti' ndeki Saint Helen bölgesine ait bir alan çalışma bölgesi olarak seçilmiştir. LIDAR verisi kullanılarak gerçekleştirilen uygulama için seçilen çalışma bölgesinin tümü 5038240 noktadan oluşmaktadır. Sayısal yükseklik modeli oluşturmak amacı ile Kriging enterpolasyon yöntemi kullanılmış ve arazi nokta yoğunluğu dikkate alınarak [14,15, 16] seçilen 3 m' lik grid değerine göre 3×3 m kare grid aralığında model oluşturulmuştur. Çalışma bölgesine ait minimum yükseklik değeri 608.7100 m ve maksimum yükseklik değeri 1310.5500 m olup, arazi dalgalı bir topografyaya sahiptir (Şekil 4).



Şekil 4. Çalışma bölgesine ait perspektif görüntü ve geçki noktalarının yatay planda görüntüsü: LIDAR verisi ile elde harita ve A-B noktalarının gösterimi

3.2. Uygulama

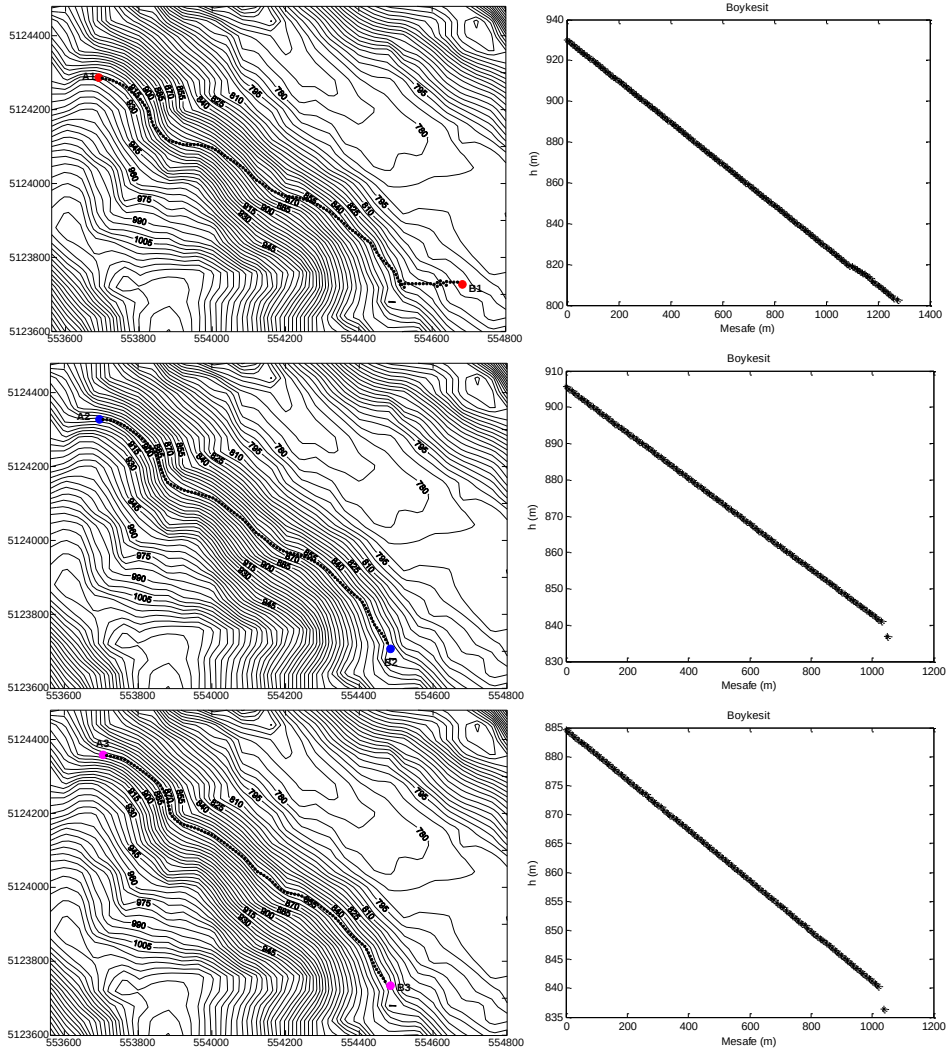
Çalışma için seçilen üç farklı hattın (Çizelge 1) başlangıç ve bitiş noktalarının sırasıyla oluşturduğu A1-B1, A2-B2 ve A3-B3 geçkilerinin önerilen arama yaklaşımı kullanılarak elde edilen yatay plan ve boykesit hatları Şekil 5' de sunulduğu gibi elde edilmiştir. Tüm geçkilerde arama aralığı genişliği 10 m olarak alınmıştır. Arama uzunluğunun seçiminde, arazi verisinin grid çözünürlüğü dikkate alınmıştır. Bu değerın tespit edilmesi için yapılan deneysel çalışmalarda grid aralığının üç katına kadar olan uzunlukların arama uzunluğu olarak alınmasının çalışma hassasiyetini değiştirmedeği görülmüştür.

Çizelge 1. A1-B1, A2-B2 ve A3-B3 geçkilerine ait özet bilgiler

		Sağa Değer (m)	Yukarı Değer (m)	Yükseklik (m)
1. Geçki	A1	553690.4324	5124286.5868	930.0773
	B1	554682.5387	5123727.0626	802.7105
2. Geçki	A2	553695.3196	5124327.5276	905.6705
	B2	554484.6062	5123706.5922	836.9042
3. Geçki	A3	553705.0941	5124358.2332	884.5953
	B3	554484.6062	5123733.8860	836.4447

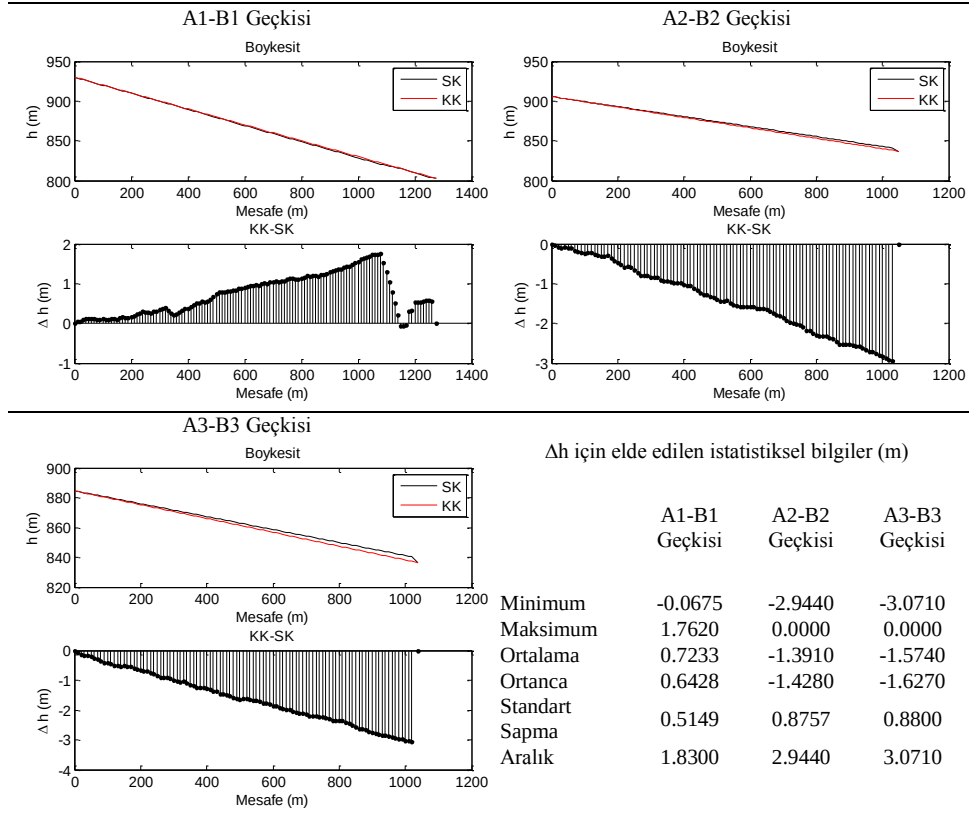
Elde edilen geçki ara noktalarının öngörülen sabit eğim değerlerinden sapma miktarları ve bu sapmalara ait istatistiksel bilgiler Şekil 6' da verilmektedir. Buna göre, noktalar arasındaki boyuna eğim değeri % 11.18 olan A1-B1 geçkisi, en az farkın olduğu geçki olmuştur. Yaklaşımın zorlamalı olarak devam eden bir arama sürecini kullanmasından dolayı, son noktanın algoritmanın bitirilmesi için koşul olması, yönelimi B1 noktasına yaparak, yatay planda arama

sınırlarında değerlerin üretilmesine neden olmuştur. Bu durum, hem koordinat farkları kontrolünde hem de açıklık açısı kontrollerinde, istenen eğim farkının en az olduğu ara noktayı yakalamasını da sağlamaktadır. Sonuç olarak, A1-B1 geçkisinde kırmızı kot ile siyah kot arasındaki fark aralığı 1.8300 m ve farklara ait standart sapma 0.5149 m olarak bulunmuştur. Kot değerleri arasında en fazla farkın olduğu geçki ise A3-B3 geçkisidir. Buna rağmen, arazinin düzgün dağılım gösteren dalgalı bir yapıda olması ise yaklaşımın bu tip veri gruplarında uygun sonuçlar üretmesine neden olmaktadır. A3-B3 geçkisi için hesaplanan yüksekliklere ait fark aralığı 3.0710 m ve standart sapma değeri 0.8800 m olarak bulunmuştur. Son geçki olan A2-B2 geçkisinde ise, hesaplanan yüksekliklere ait fark aralığı 2.9440 m ve standart sapma değeri 0.8757 m olarak bulunmuştur.



Şekil 5. Önerilen yaklaşımdan elde edilen A1-B1, A2-B2 ve A3-B3 geçkilerine ait yatay plan ve boykesit görünüşleri

Bu sonuçlar doğrultusunda, açı ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımının dalgalı ve nispeten düz arazi yapısına sahip arazi topografyasında uygun sonuçlar ürettiği görülmüştür. Beklendiği gibi bu yaklaşım, dağlık arazi yapısında yani yükseklik farklarında ani ve büyük değişimlerin yaşandığı arazilerde, amaç fonksiyonu koşulunu sağlamakta zorlamalar yaşamakta ve profil üzerindeki eğim değerlerinde süreksizlikler meydana getirmektedir. Bunun nedeni, arama uzunluğu ve arama açısına bağlı sınırlı bir alanda geçki ara noktalarının seçiminin iteratif yapılmaya çalışılmasıdır. Bu özellik aynı zamanda zorlamalı bir arama oluşturmakta ve bunun neticesinde yerel optimum noktalarının yakalanmasını kaçınılmaz kılmaktadır.



Şekil 6. Yaklaşımın uygulanması sonucu elde edilen geçki noktalarının kırmızı kot (KK) ve siyah kot (SK) değerleri arasındaki farklar

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada önerilen yaklaşım, iteratif bir arama süreci ile geçki ara noktalarının öngörülen arama aralığı ile bulunmasını amaçlamaktadır. Yaklaşımın genelleştirilmesinde, sabit olarak alınan geçki son noktası ile hesaplanan geçki ara noktalarının yatay koordinat farkları ve buna bağlı olarak hesaplanan açıklık açıları uygun eğim değeri dikkate alınarak kullanılmıştır. Yöntem, dalgalı arazi tiplerinde ve doğrusal eğim değişimine sahip bölgelerde, bulunan geçki noktalarının yükseklikleri ile öngörülen eğim değerine ait yükseklik değerleri arasındaki farklar incelendiğinde hassas sonuçlar üretmektedir.

Bunun yanında, yöntemde önerilen yapının tüm arazi tiplerinde uygulanabilirliğinin sağlanması için yapılan genelleştirme, arazide dönüşün yaşandığı kesimlerde arama çemberi sınırlarının zorlanmasına neden olmakta ve bu çemberin sınır noktalarında geçki ara noktaları üretilmektedir. Ancak, açıklık açısı 2. bölge ve $\Delta x > \Delta y$ için oluşan bir durumda arama çemberi, tanımlanan bölgede oluşturulmasına rağmen arazide dönüş meydana geldiğinden uygun eğim değeri 3. bölgede bulunmaktadır. Buna benzer yapı, açıklık açısı 4. bölge ve $\Delta y > \Delta x$ için oluşan durumda, arama çemberi tanımlanan bölgede oluşturulmasına rağmen, arazide dönüş meydana geldiğinden uygun eğim değeri 3. bölgede bulunmaktadır. Sonuçta, uygun geçki ara noktaları arama çemberinin tanımlandığı alan içinde veya bu çemberin sınırlarında oluşmaktadır. Her aday arama noktasında, öngörülen eğim değeri farklarının minimum olması koşulundan dolayı çözüm üretilmesine rağmen belirtilen arazi yapısına sahip alanlarda düşeyde ondülasyonların meydana gelmesi kaçınılmaz olmaktadır. Sonuç olarak, aç ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımı, arazi yapısının ani değiştiği bölgelerde yerel optimum noktalarını yakalayarak, istenen çözümleri üretmekte yetersiz kalmakta, ancak bu bölgelerin dışındaki alanlarda yüksek çözünürlüklü arazi verisinin kullanılması ile arama aralığına bağlı olarak standart sapması düşük hassas sonuçlar üretmektedir.

Bu yöntemin avantajı, hat üzerinde geri dönüşlerin oluşmaması ve yaklaşımın basit arama algoritmasına sahip olmasıdır. Bunun yanı sıra dezavantaj olarak ise belirtilen durumlarda iteratif aramanın global çözüm noktalarını bulmada zorlanması, çoklu yerel optimum noktalarını yakalaması, elde edilen geçkinin süresiz yapıda olması ve geçki olarak sunumu için bir dizi işlem gerektirmesi sıralanabilir.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Macpherson, G., "Highway & Transportation Engineering & Planning", Ed. Longman Scientific and Technical, 1997.
- [2] Hickerson, F.T., "Route Location and Design", 5th Edition. New York: McGraw-Hill; 1964.
- [3] Yayla, N., "Karayolu Mühendisliği", Birsan Yayınevi, 2006
- [4] Kiper, T., "Karayolu Projesi Temel Bilgileri", Yollar Türk Milli Komitesi, Ankara, 2002.
- [5] OECD, "Optimization of Road Alignment by the Use of Computers, Organization of Economic Co-operation and Development", Paris, 1973.
- [6] Jha, M.K., Schonfeld, P.M., Jong, J.C. et. al., "Intelligent Road Design", WITpress, Southampton, Boston, 2006.
- [7] Thomson, N. R. and Skyes, J. F., "Route Selection through a Dynamic Ice Field by Using the Maximum Principle", Transportation Research Part B, 5: 339-356, 1998.
- [8] Turner, A. K. and Miles, R. D., "A Computer-Assisted Method of Regional Route Location", Highway Research Record 348: 1-15, 1971.
- [9] Hogan, J. D., "Experience with OPTLOC- Optimum Location of Highways by Computer", In PTRC Seminar Proceedings on Cost Models and Optimization in Highways (Session L10), London, 1973.
- [10] Nicholson, A. J., Elms, D.G., and Williman, A., "A Variation Approach to Optimal Route Location", Highway Engineers, 23: 22-25, 1976.
- [11] Trietsch D., "A Family of Methods for Preliminary Highway Alignment", Transportation Science, 21: 17-25, 1987.
- [12] Bingül, Z., Sekmen, A.S., Palaniappan, S. et. al., "Genetic Algorithms Applied to Real Time Multiobjective Optimization Problems", Proceedings of the 2000 IEEE SoutheastCon Conference, 95-103, 2000.

- [13] Jong, J.C., Jha, M.K. and Schonfeld, P., "Preliminary Highway Design with Genetic Algorithms and Geographic Information Systems", *Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 15(4): 261-271, 2000.
- [14] Li, Z., Zhu, Q. and Gold, C., "Digital Terrain Modeling- Principles and Methodology", CRC Press, Florida, 2005.
- [15] Gong, J., Li, Z., Sui, H. et. al., "Effects of various factors on the accuracy of DEM: an intensive experimental investigation", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66, 9: 1113-1117, 2000.
- [16] Liu, X., Zhang, Z., Peterson, J. Et. al., "The effect of lidar data density on DEM accuracy", *Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM07)*, Christchurch, New Zealand, 2007. [2]