

BİLGİSAYAR DESTEKLİ ORMAN YOLU PLANLAMA MODELİ

A.E. Akay¹, O. Erdaş¹, A. Yüksel¹, N. Bozali¹, R. Gündoğan², T. Öztürk³

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, 46100 Kahramanmaraş, akay.erdas.ayuksel.nbozali@ksu.edu.tr

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, 46100 Kahramanmaraş, rgundogan@ksu.edu.tr

³İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, 34473 Bahçeköy-İstanbul, tozturk@istanbul.edu.tr

ÖZET

Orman yolunun yapım ve bakım maliyetleri, orman ürünlerinin üretiminde toplam maliyetin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Ayrıca, orman yolları akarsulara sediment taşıyan en önemli unsurlardandır. Bu nedenle, sadece toplam yol maliyetini en aza indiren değil aynı zamanda akarsulara taşınan sediment miktarını da azaltan optimum orman yolu güzergahı seçilmelidir. Bu çalışma, toplam yol maliyeti en düşük olan orman yolu güzergahını seçen ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı sediment hesaplama modeli kullanarak yollardan derelere ulaşan yıllık ortalama sedimenti hesaplayan bir orman yolu planlama modelini sunmaktadır. Ayrıca, model KSÜ Başkonuş Araştırma ve Uygulama Ormanı'nda seçilen bir çalışma alanında test edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Ormancılık, Modelleme, Yazılım Geliştirme, CBS

ABSTRACT

COMPUTER-AIDED FOREST ROAD PLANNING MODEL

The costs of forest road construction and maintenance represent a considerable proportion in the total cost of producing forest products. Besides, forest roads are one of the major elements delivering sediment to streams. Therefore, an optimum forest road alignment, which not only minimizes the total road costs but also reduces the amount of sediment delivered to streams, should be selected. This study presents a forest road planning model that selects the road alignment with minimum total road costs and computes the average annual sediment yield delivered from roads to streams by using a GIS-based sediment prediction model. Besides, the model was implemented in a study area selected in KSU Baskonus Research and Application Forest.

Keyword: Forestry, Modeling, Software Development, GIS

1. GİRİŞ

Orman yollarının planlanmasında uygun güzergahın seçimi bir dizi fiziksel, ekonomik ve çevresel faktöre bağlı olan karmaşık bir mühendislik problemidir. Orman ürünlerinin üretiminde, toplam maliyetin önemli bölümünü orman yollarının yapım ve bakım maliyeti oluşturmaktadır (Akay ve Sessions, 2005). Ayrıca, ormanlık alanlarda akarsulara ulaşan sedimentin en önemli kaynağı düşük standartta inşa edilen ve yetersiz bakım uygulanan orman yollarıdır (Skaugset and Allen, 1998; Grace ve ark. 1998; McClelland ve ark. 1999). Bu nedenle, orman yollarının planlanmasında sadece toplam yol maliyetini en aza indiren değil aynı zamanda akarsulara taşınan sediment miktarını da azaltan optimum orman yolu güzergahının seçilmesi gerekmektedir (Akay ve ark., 2006). Bir çok alternatif arasından optimum güzergahın seçilebilmesi için geliştirilen bilgisayar destekli orman yolu planlama modelleri en iyi çözümü sistematik olarak araştıran modern optimizasyon yöntemleri ile donatılmıştır.

Orman kaynaklarının hızlı ve verimli üretilmesi, ülke kalkınmasında ormanlardan çok yönlü yararlanmanın sağlanabilmesi ve aynı zamanda orman ekosisteminin korunabilmesi için, Türkiye ormancılığında modern yöntemlerle planlamanın ve işletmenin önemi giderek daha iyi anlaşılmaktadır (Görücü, 2001). Orman amenajman planlarının geliştirilmesinde modern yöntemlerin uygulandığı çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Başkent 2001, Başkent ve ark. 2001, Mısır 2001, Başkent ve Jordan 2002, Altun ve ark. 2003 ve Asan 2003). Aynı zamanda, ülkemiz ormancılığında orman yollarının bilgisayar destekli planlanmasına yönelik çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Hasdemir ve Demir 1998, Aykut ve ark. 2000, Demir ve Öztürk 2004). Ancak, modern optimizasyon teknikleri kullanılarak orman yollarında optimum güzergahın tespit edilmesi ülkemiz ormancılığı için oldukça yeni bir konudur. Ayrıca, uluslararası arenada da orman yollarının optimizasyonu konusunda yapılan çalışmaların sayısı da oldukça sınırlıdır.

Ichihara ve ark. (1996), yol yapım maliyetini en aza indiren optimum düşey güzergahı tespit etmek için “sezgisel” yöntemler kullanarak bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Bu modelde, yol güzergahı boyunca eğimin değiştiği optimum kontrol noktaları Genetik Algoritma (GA) kullanılarak yerleştirilirken, toplam yapım maliyetini en aza indiren optimum yol eğimini tespit etmek için Dinamik Programlama (DP) kullanılmıştır. Daha sonra, örnek bir yol dizaynında modelin performansı geleneksel orman yolu planlama yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar “sezgisel” yöntemlerin kullanılması durumunda yol planlamada toplam hesaplama zamanının önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Ancak, bu modelde çevresel faktörler ve sürücü güvenliği göz önüne alınmamıştır.

Suzuki ve ark. (1998), bazı rekreasyon değerleri göz önünde tutarak GA yardımı ile optimum orman yolu planlaması üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, görsel estetik değerler, yol eğimi, yol aralıkları, arazi eğimindeki değişimler ve yol uzunluğu gibi faktörler dikkate alınmıştır. GA kullanılarak güzergah boyunca yerleştirilen kontrol noktalarının optimum düşey koordinatlarının tespiti, hesaplama zamanını önemli ölçüde azaltmıştır. Bu çalışmada, toplam maliyetin en aza indirilmesi hedeflenmediği gibi, çevresel faktörler ve sürücü güvenliği de göz önüne alınmamıştır.

Aruga ve ark. (2005), orman yollarında optimum düşey güzergahın belirlenmesi çalışmalarında iki ayrı “sezgisel” yöntemin (GA ve Tabu Search) performanslarını karşılaştırmışlardır. Bu modelde de kazı ve dolduru hacimlerinin dengelenmesinde Lineer Programlama (LP) kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, Tabu Search yöntemi iyi kalitede çözümleri GA yöntemine oranla daha kısa hesaplama süresinde bulmuştur. Ancak, bu çalışmada akarsulara ulaşan sediment üretimi göz önüne alınmamıştır.

Akay ve Sessions (2005), modern optimizasyon yöntemlerini ve CBS tekniklerini kullanarak, toplam yol maliyeti en düşük olan orman yolu güzergahının belirlenmesinde yardımcı olmak üzere bir orman yolu planlama modeli (TRACER) geliştirmişlerdir. Bu modelde, toplam yol maliyeti en az olan düşey güzergahı tespit etmek için “sezgisel” bir yöntem olan “Simulated Annealing (SA)” kullanılırken, kazı ve dolduru hacimlerinin dengelenmesinde maliyeti en aza indiren Lineer Programla (LP) kullanılmıştır. Başlangıç güzergahı, yüksek-çözünürlükteki bir SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) yardımıyla oluşturulan arazinin ekrandaki 3D görüntüsü üzerinde kontrol noktalarının interaktif olarak yerleştirilmesi suretiyle geliştirilmektedir. Daha sonra, geometrik, çevresel ve sürücü güvenliği şartlarını göz önüne alan model, otomatik olarak yatay ve düşey güzergahı yerleştirmektedir. Modelde, Kuzey Amerika’daki yaygın yol planlama spesifikasyonları, ekonomik veriler ve orman şartları temel alınmıştır. Ayrıca, model CBS-tabanlı bir sediment tahmin modeli olan SEDMODL (Boise Cascade Corporation, 1999)’ı kullanarak her bir alternatifin yol güzergahının yıllık ortalama sediment üretimini de hesaplamaktadır.

Ülkemizde orman yollarının planlanmasında CBS teknolojisinin kullanıldığı çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Hasdemir ve Demir (1997), orman yollarının planlanmasında CBS’den yararlanma olanaklarını incelemişlerdir. Erdaş ve Gümüş (2000), orman yollarının planlanması sırasında CBS yardımıyla orman yol geçkilerinin belirlenmesini araştırmışlardır. Geçki etüdünün yapılmasında ve yol yoğunluğu, yol aralığı, ortalama sürütme mesafesi ve işletmeye açma oranları gibi karar verme değişkenlerinin belirlenmesinde sayısal haritalar kullanılmıştır. Tunay (2000), optimum orman yolu ağının geliştirilmesinde CBS’nin kullanılma olanaklarını sunmuştur. Gümüş ve ark. (2003), orman yollarının yapımında güzergah boyunca kazı ve dolgu hacimlerinin hesaplanmasında CBS’nin kullanılması üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarda, sadece veri katmanlarının oluşturulmasında değil, aynı zamanda verilerin analizlerinin yapılmasında, güzergahlarının tespitinde ve planlanan orman yollarının bilgisayar ekranında gösterilmesinde yaygın CBS yazılımları kullanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’deki yol planlama spesifikasyonlarını, ekonomik dataları ve orman özelliklerini temel alarak, toplam yol maliyetini en aza indiren ve sediment üretimi ve sürücü güvenliği gibi faktörleri göz önüne alan yenilenmiş bir optimum orman yolu planlama modeli geliştirmektir. Çalışmada, CBS teknikleri gerekli veri katmanlarının oluşturulmasında ve sayısallaştırılmasında kullanılmakta, ancak veri analizi, orman yolu planlaması ve planlanan yolun gösterimi bilgisayar programlama ile geliştirilecek algoritmalar yardımıyla, herhangi bir CBS yazılımından bağımsız olarak gerçekleştirilmektedir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Veriler

Yol güzergahının bilgisayar ortamında üretilebilmesi için çalışma alanına ait gerekli CBS verilerinin üretilmesi ve modelin kullanabileceği veri formatına çevrilmesi gerekmektedir. Orman yolunun planlanması sırasında arazi eğiminin ve diğer topografik özelliklerin tespitinde yüksek-çözünürlükte bir SYM (1m x 1m)’ne gereksinim vardır. Model tarafından okunabilmesi için SYM arazi yüzeyini temsil eden aralıklı metrik veri noktalarından (X, Y ve Z) oluşmaktadır. SYM’nin geliştirilmesi için yüksek hassasiyetteki ölçüm araçlarından (Total station) yararlanılabileceği gibi LiDAR tabanlı yükseklik verileri de kullanılabilir. Çalışma alanının topografik bilgileri toplandıktan ve toplanan veriler çeşitli CBS yazılımları (ArcGIS) kullanılarak analiz edildikten sonra, SYM ve diğer konumsal veriler (toprak ve akarsu) ASCII formatında kaydedilmektedir. Toprak verileri toprak haritalarından üretilmekte, daha sonra yapılacak toprak testleri ile iyileştirilmekte ve sınıflandırılarak ASCII formatında kaydedilmektedir. Modelde sediment hesaplamaları için gerekli olan akarsu verileri SYM ve arazi çalışmaları ile elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmakta (Vogt ve ark., 2003) ve daha sonra mevcut haritalar ve arazi keşifleri yardımıyla bu veriler iyileştirilerek ASCII formatında kaydedilmektedir. Diğer CBS verilerini oluşturmak için güncel uydu görüntüsü, ortofotolar, topografik haritalar, tematik haritalar, memleket haritaları, amenajman verileri ve haritaları, meteorolojik ve jeolojik veriler ve meşçere haritalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu haritalar, tarama veya sayısallaştırma yöntemleri ile bilgisayar ortamında kaydedilmektedir. Daha sonra, bu veriler arazi çalışmaları yardımıyla test edilerek iyileştirilmektedir.

Yol planlamada gerekli olan model verileri oluşturulduktan sonra aşağıdaki bilgiler elde edilmelidir:

- Yol standartları: Yol standardı, yüzey sel kaplama tipi, orman yolu profili spesifikasyonları, yol istasyonları arasındaki mesafe, ortalama araç hızı, araç spesifikasyonları ve trafik yoğunluğu.
- Ekonomik veriler: Yol yapımı ve bakım aktivitelerinin birim masrafları ve kullanılan araçların saatlik masrafları.
- Lokal bilgiler: Toprak şişme ve büzülme faktörleri, arazi yüzeyini kaplayan vejetasyon tipi, jeolojik bilgiler, ağaç bilgileri ve yol yapımında gerekli materyallerin temin edildiği kaynaklara uzaklık.

2.2. Deneme Güzergahının Oluşturulması

Gerekli veriler ve bilgiler girildikten sonra, arazinin 3D görüntüsü üzerinde yerleştirilen kontrol noktaları yardımıyla ve yol standardı şartlarını sağlamak koşuluyla yolun başlangıç ve son noktaları arasında bir deneme güzergahı tespit edilmektedir. Yol standardı şartları modelde geometrik ve çevresel olmak üzere iki ana gruba ayrılmıştır. Geometrik dizayn şartlarından bazıları yol eğimi, yatay kurp yarıçapı, düşey kurp uzunluğu (sürücü güvenliği ve araç trafiği için), kurplar arasındaki mesafe ve araçların güvenli durma mesafesidir (sürücü güvenliği için). Çevresel şartlardan bazıları ise uygun drenajı sağlamak için minimum yol eğimi, dere yataklarını koruma amaçlı olarak riparian zonlardan minimum uzaklık ve toprak hareketlerini engellemek için maksimum kazı ve dolgu yüksekliğidir. Model daha sonra, yol standardı şartlarını sağlamak koşuluyla, otomatik olarak yatay ve düşey kurpları yerleştirir ve enine kesitleri yerleştirerek kazı ve dolgu hacimlerini hesaplamaktadır.

2.3. Kazı ve Dolgu Hacimlerinin Dengelenmesi

Kazı ve dolgu hacminin ekonomik dağılımında Mayer ve Stark (1981)'in LP yaklaşımı kullanılmaktadır. Simpleks algoritması (Bowman and Fetter, 1967) dikkate alınarak LP kotları modele entegre edilmiştir. Lineer programlama orman yolu boyunca toprak karakterlerinin değişkenlik gösterdiği durumlarda kazı ve dolduru dağılımını diğer yöntemlerden daha iyi temsil etmekte ve optimum çözümü garantilemektedir. Bu yaklaşımda kazı, dolduru ve taşıma aktivitelerinin birim fiyatlarının kullanılan kazı ve dolduru materyalinin miktarına bağlı olarak değişmediği ve materyallerin taşıma birim fiyatının taşıma mesafesine bağlı olduğu kabul edilmiştir. Kazı, dolduru ve taşıma aktivitelerinin birim fiyatları yol güzergahındaki toprak tiplerine göre değişmektedir. Dolduruda kullanılan ve taşınan materyallerinin hacimlerinin doğru olarak tahmin edilebilmesi için toprak şişme ve büzülme faktörleri göz önünde tutulmaktadır. Modelin matematiksel amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcılar aşağıdaki gibidir:

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_j C(i, j)X(i, j) + \sum_i \sum_k C_D(i, k)X_D(i, k) + \sum_p \sum_j C_B(p, j)X_B(p, j) \quad (1)$$

- Kazı istasyonu i den dolduru istasyonu j 'ye ($X(i, j)$) ve artan kazı materyalinin boşaltıldığı k ($X_D(i, k)$) deposuna taşınan toplam materyalin miktarı kazı istasyonu i 'deki toplam materyale eşit olmalıdır.
- Kazı istasyonu i den dolduru istasyonu j 'ye ($\sum_j X(i, j)$) ve yandan kazanım alanı p 'den dolduru istasyonu j ye ($\sum_p X_B(p, j)$) taşınan toplam materyalin miktarı dolduru istasyonu j 'de gerekli olan toplam dolduru miktarına eşit olmalıdır. Kazı istasyonu i den ve yandan kazanım alanı p 'den taşınan materyalin büzülme faktörleri sırasıyla S_{ij}^f ve S_{pj}^f dir.
- Kazı istasyonu i 'den k deposuna taşınan toplam materyalin miktarı ($\sum_k X_D(i, k)$) k 'nin kapasitesine eşit veya daha az olmalıdır. Kazı istasyonu i 'den k deposuna taşınan materyalin şişme faktörü S_{ik}^f dir.
- Yandan kazanım alanı p 'den dolduru istasyonu j 'ye taşınan toplam materyalin miktarı ($X_B(p, j)$) p 'de bulunan toplam materyalin miktarına eşit veya daha az olmalıdır.

Gerekli materyalin kazı istasyonu i 'den dolduru istasyonu j 'ye taşınma ve sıkıştırma masrafı ($C(i, j)$), sırasıyla kazı (u_e), taşıma (u_h), ve sıkıştırma (u_c) aktivitelerinin birim fiyatlarına göre tespit edilmektedir.

2.4. Düşey Güzergahın Optimizasyonu

Başlangıç düşey güzergahı oluşturulduktan sonra, yeni güzergah alternatifleri ilk düşey güzergahın “sezgisel” bir yöntem olan SA yardımıyla sistematik olarak değiştirilmesi yoluyla oluşturulmaktadır. SA yöntemi metalürjik bir fenomene dayanır. Buna göre, katı materyal önce ısıtılırlar ve daha sonra bu materyalden en iyi ürünü üretmek için aşamalı olarak ve yavaş yavaş soğutulur (Reeves, 1993). SA'nın bir optimizasyon yöntemi olarak kullanılması fikri ilk olarak Kirkpatrick ve ark. (1983) tarafından ortaya atılmıştır. SA birçok değişik disiplin tarafından kullanılmıştır. Bu modelde de, bilgisayar programına kolayca bütünleştirilebildiği ve iyi kalite ve optimuma yakın sonuçlar verdiği için düşey güzergahın optimizasyonunda SA kullanılmaktadır.

Optimizasyon sürecinde, model güzergah üzerinde yer alan kontrol noktalarından rastlantısal olarak seçilen herhangi bir kontrol noktasının yüksekliğini önceden belirlenmiş ölçü aralıklarına bağlı olarak değiştirir. Oluşturulan her bir alternatifin model tarafından değerlendirilmeden önce yol standardı şartlarına uygunluğu araştırılır. Uygunluğu onaylanan alternatif güzergahların enine kesitleri ve kazı ve dolgu hacimleri hesaplanır, LP ile hacim dengelemesi yapılır ve toplam yol maliyeti ile toplam sediment üretimleri hesaplanır. Toplam yol maliyeti bir önceki alternatifin toplam yol maliyetinden düşük veya önemli miktarda yüksek değilse, model bu alternatifi en iyi alternatif olarak kaydeder. Optimizasyon süreci aynı mantığı kullanarak önceden belirlenen tekrar sayısına ulaşınca kadar devam eder. Algoritma durduktan sonra, en iyi çözüm olarak kaydedilen ve hiçbir kısıtlayıcı tarafından sınırlanmadan toplam yol maliyetini en aza indiren alternatif optimum güzergah adayı olarak kaydedilir. Daha sonra, diğer başlangıç güzergahları oluşturularak aynı optimizasyon süreci takip edilerek diğer optimum güzergah adayları üretilir. Yeteri kadar alternatif üretildiğine karar verildiğinde, karar vericiler oluşturulan optimum güzergah adaylarının koordinat bilgilerini kaydederek arazide GPS yardımıyla uygulanabilirliklerini test ederler. Arazide uygulanabilir olan ve toplam maliyeti en aza indiren güzergah adayı optimum güzergah olarak tespit edilir.

2.5. Sediment Üretiminin Hesaplanması

Modelin ilk versiyonunda orman yollarından derelerle ulaşan yıllık ortalama sediment miktarını hesaplamak için CBS tabanlı bir sediment modeli olan SEDMODL (Boise Cascade Corp. 1999) kullanılmıştır. SEDMODL kullanıcılara sediment üretme potansiyeli yüksek olan yol kesitlerini belirleme ve bazı sediment önleme yöntemlerinin başarısını değerlendirme imkanı sunmaktadır (Akay ve ark., 2005). Yenilenmiş modelde ise Boise Cascade Corp. ve NCASI (National Council on Air and Stream Improvement) tarafından geliştirilen ve SEDMODL'in ileri versiyonu olan SEDMODL2 (Glass ve Megahan, 2000) kullanılmıştır. Bu model, erozyon faktörlerine (ana kaya, yol kaplaması tipi, trafik yoğunluğu, yol eğimi, bitki örtüsü ve dereye olan uzaklık) bağlı olarak önceki çalışmalardan elde edilen veriler ışığında hesap yapmaktadır (Reid ve Dunne 1984, Megahan ve ark. 1986; Bilby ve ark. 1989; WDNR 1995). Bu faktörler arasındaki deneysel ilişkilerin belirlenmesinde yapılan ölçümler Amerika Birleşik Devletleri'nin Washington, Oregon, Idaho, Carolina ve Virginia eyaletlerinde yer alan orman havzalarından seçilen orman yolu kesitlerinde gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, modelin farklı iklim kuşaklarında, topografilerde ve toprak yapılarında uygulanması durumunda, sonuçların yerel şartlar dikkate alınarak yorumlanması gerekmektedir (NCASI, 2003). SEDMODL2 modelinde erozyon faktörleri CBS veri katmanları olarak kaydedildiğinden, CBS verilerinin doğruluk derecesi de hesaplanan sediment üretimini yakından etkilemektedir. SEDMODL2'de, toplam yıllık ortalama sediment miktarı (ton/yıl), yüzeysel sediment (YS) ve kazı şevi sedimenti (KS) olmak üzere iki grup altında hesaplanmaktadır (Glass ve Megahan 2000; Akay ve ark. 2006):

$$\text{Toplam Sediment} = (YS + KS)Z_f \quad (2)$$

Yollardan kaynaklanan sediment miktarı yolun inşa edildiği tarihten sonra geçen zamana bağlı olarak değiştiği için yukarıdaki formülde toplam sediment değeri zaman faktörü (Z_f) ile çarpılmaktadır (Luce ve Black, 1999). Bu konuda yapılan çalışmalara göre, yolun inşa edildiği ilk yıl için zaman faktörü değeri 10, ikinci yıl için 2 ve 2 yıldan sonra 1'dir (Ketcheson ve ark. 1999; Luce ve Black 1999). Yüzeysel sediment ve kazı şevi sedimenti ise aşağıdaki formüllere bağlı olarak hesaplanmaktadır:

$$YS = ugJ_fK_fT_fE_fY_fU_f \quad (3)$$

$$KS = uyJ_fB_fY_fU_f \quad (4)$$

Bu formüllerde, u = yol uzunluğu (m), g = yol genişliği (m), y = kazı şevi yüksekliği (m), J_f = jeolojik erozyon faktörü, K_f = yüzey kaplaması faktörü, T_f = trafik faktörü, E_f = yol eğimi faktörü, Y_f = yağış faktörü, U_f = sediment ulaştırma faktörü, B_f = kazı şevi koruma örtüsü faktörüdür. Erozyon faktörlerinin değerleri SEDMODL2 dokümanında yer alan tablolarda kullanıcıya sunulmuştur (NCASI, 2003; Akay ve ark. 2006). Yüzeysel sediment yol yüzeyi ve drenaj hendeklerinden kaynaklanan sediment birleştirilerek hesaplandığı için yüzey genişliği yol genişliği ile drenaj hendeğinin genişliğinin toplamına eşittir. Bitki örtüsü ile kaplanan dolduru şevlerinden derelere ulaşan sediment miktarının oldukça düşük olduğu düşünüldüğünden, dolduru şevinden kaynaklanan sediment hesaplanmamaktadır. Modelde, dere geçişlerinde yer alan yollardan sediment üretiminin tamamı; derelere uzaklığı 30 m ve daha az olan yollardan %35'i; derelere uzaklığı 30 m ve 60 m arasında olan yollardan %10'u ve derelere uzaklığı 60 m ve daha fazla olan yollardan derelere sediment ulaşmadığı kabul edilmiştir (Ketcheson ve Megahan, 1996).

3. BULGULAR VE SONUÇLAR

3.1. Modelin Uygulaması

Modelin uygulaması KSÜ Başkonuş Araştırma ve Uygulama Ormanı'ndan seçilen 15 hektar alana sahip bir çalışma alanında gerçekleştirilmiştir. Seçilen çalışma alanında ortalama yükseklik ve arazi eğimi sırası ile 1298 m ve % 26'dır. Örnek yol güzergahının bilgisayar ortamında üretilebilmesi için çalışma alanına ait gerekli CBS verilerinin

üretilecek modelin kullanılabileceği veri formatına çevrilmiştir. İlk olarak çalışma alanının yüksek-çözünürlükteki SYM'ini üretmek için, yüksek hassasiyette üç boyutlu (3B) ölçüm yapan Total Station cihazı ile toplam 563 poligon noktasında x, y ve z ölçümleri yapılmıştır (Şekil 1-a). Çalışma alanına ait toprak katmanını oluşturmak için arazide toprak profilleri açılarak toprak örnekleri toplanmıştır (Şekil 1-b). GPS kullanılarak profil açılan noktalar CBS ortamına aktarılmış ve daha sonra toprak örnekleri laboratuvar ortamında analiz edilerek ArcGIS 9.1 ile çalışma alanının toprak haritası geliştirilmiştir. Çalışma alanındaki dere yataklarının belirlenmesi için arazide bir dizi çalışma yapılmıştır. Daha sonra, arazide temin edilen veriler ve topografik harita yardımı ile ArcGIS 9.1 ortamında dere katmanı geliştirilmiştir.



(a)



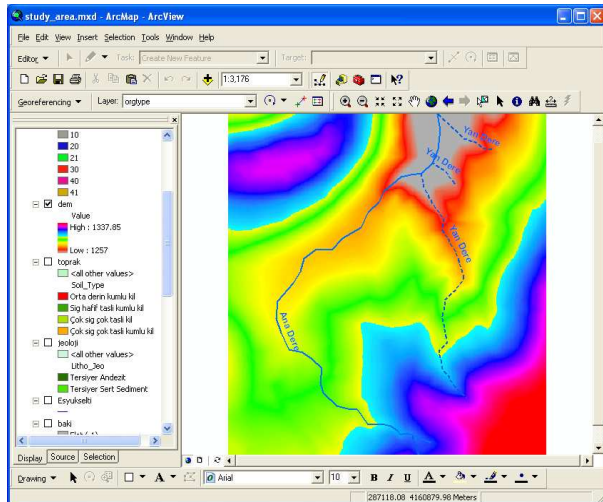
(b)

Şekil 1. Total Station cihazı ile poligon noktalarına ait koordinatların ölçülmesi (a) ve toprak örneklerinin alınması (b)

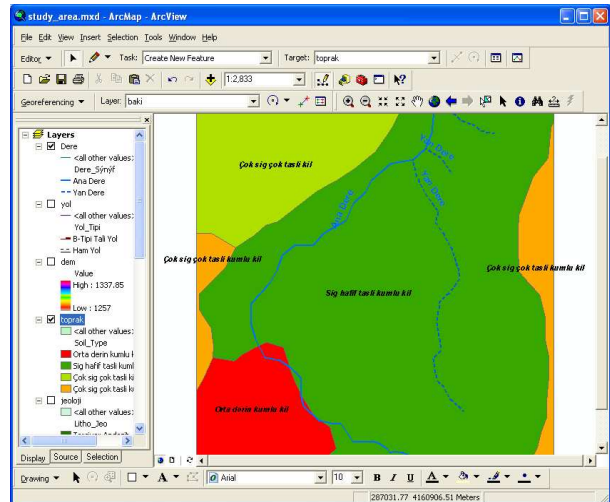
3.2. Bulgular

Yol güzergahının bilgisayar ortamında üretilebilmesi için çalışma alanının CBS veri katmanları üretilmiştir. Arazi ölçümlerinden elde edilen poligon noktaları kullanılarak çalışma alanının TIN veri katmanı oluşturulmuştur. Daha sonra, TIN kullanılarak vektör tabanlı eşyüksekti eğrisi haritası ve raster tabanlı SAM (1m x 1m) geliştirilmiştir (Şekil 2-a). Modelin çalışması için gerekli olan arazi eğiminin ve arazinin diğer yapısal özelliklerin tespitinde yüksek-çözünürlükteki SYM temel alınarak, arazi yüzeyini temsil etmek üzere aralıklı metrik veri noktalarından (x, y ve z) oluşan ASCII veri dosyası oluşturulmuştur. Çalışma alanındaki toprak tipini temsil etmek üzere, sayısal toprak haritası ASCII formatına dönüştürülerek veri dosyasına 4. bir sütun olarak ilave edilmiştir (x, y, z ve toprak). Çalışma alanında 4 değişik toprak türü tespit edilmiştir: (1) Çok sıg çok taşlı kumlu kil, (2) Orta derin kumlu kil, (3) Sıg hafif taşlı kumlu kil, (4) Çok sıg çok taşlı kil (Şekil 2-b). Daha sonra, modelde sediment hesaplamaları için gerekli olan dere bilgileri, dere veri katmanını temel alınarak ASCII dosyasına ilave edilmiştir (x, y, z, toprak, dere).

Yol maliyetinin hesaplanmasında ve sediment üretiminin belirlenmesinde gerekli olan diğer CBS verilerini oluşturmak için güncel uydu görüntüsü, ortofotolar, topografik haritalar, memleket haritaları, amenajman verileri ve haritaları, meteorolojik ve jeolojik veriler ve meşçere haritaları kullanılarak ve tarama veya sayısallaştırma yöntemleri ile veriler bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. CBS verileri ilk etapta araştırma ormanının tamamı için hazırlanmış ve daha sonra “subset” fonksiyonu ile çalışma alanı için üretilmiştir. Böylece bu çalışma kapsamında KSÜ Başkonuş Araştırma ve Uygulama Ormanı'nın CBS veri tabanı güncellenmiş ve zenginleştirilmiştir.



(a)



(b)

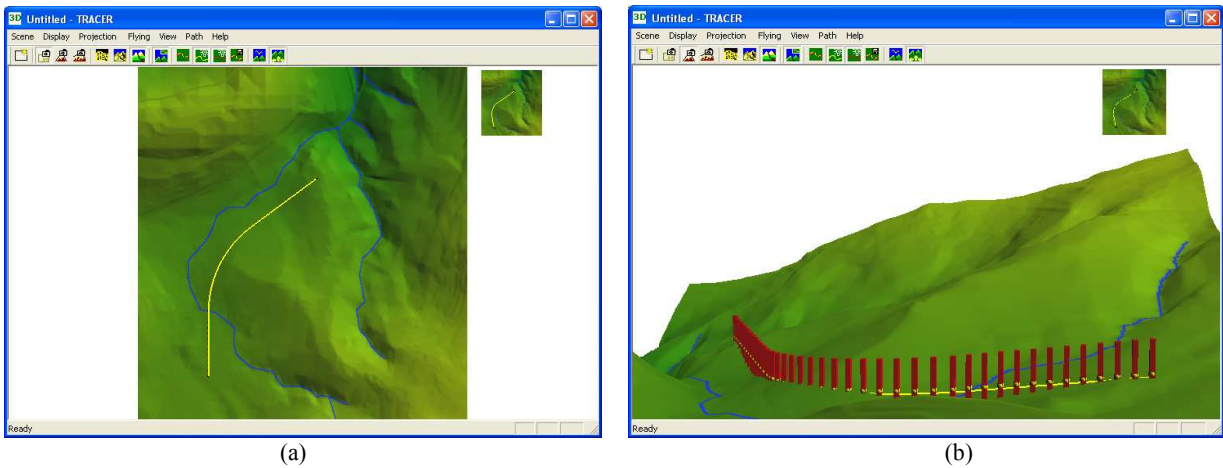
Şekil 2. Çalışma alanına ait SAM (a) ve toprak haritası (b)

CBS verileri tamamlandıktan sonra yol planlama standartları, ekonomik veriler ve yerel bilgiler (Tablo 1 ve 2) modele girilerek, arazinin 2B ve 3B görüntüsü üzerinde yerleştirilen kontrol noktaları yardımıyla, yol planlama standartlarını sağlamak koşuluyla, seçilen başlangıç ve son noktaları arasında B-tipi tali orman yolu standardında bir yol güzergahı geliştirilmiştir (Şekil 3-a). Model, 1200 alternatif güzergah arasından yol standartlarını sağlayan 74 adet kabul edilebilir alternatif güzergahı değerlendirmiş ve toplam yol maliyeti en az olan güzergahı belirlemiştir (Şekil 3-b).

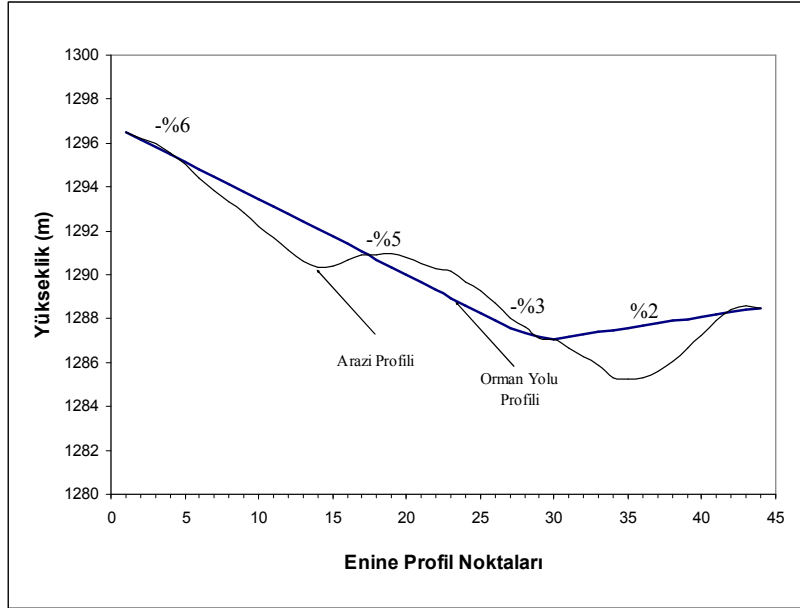
Standartlar	Değer
Platform genişliği (m)	4 m
Şerit genişliği	3 m
Banket genişliği (her iki taraftan)	0,5 m
Hendek genişliği	1 m
Kazı şev oranı	1:1 – 1:2
Dolduru şev oranı	1:1 – 2:3
Enine kesitler arasındaki ortalama mesafe	6 m
Minimum yatay kurp yarıçapı	20 m
Minimum düşey kurp uzunluğu	15 m
Düşey kurplarda minimum eğim değişimi	% 5
Minimum yol eğimi	± % 2
Maksimum ters yol eğimi	– % 8
Maksimum yol eğimi	% 12

Tablo 1. Örnek orman yolu için planlama standartları

Yol yapım çalışmaları	Birim Maliyet (YTL)	Birim
Ekskavatörle her cins toprağın kazılması ve kullanılması	1,65	m ³
Ekskavatörle her cins küskülüğün kazılması ve kullanılması	2,38	m ³
Ekskavatörle yumuşak kayanın kazılması ve kullanılması	6,59	m ³
Ekskavatörle sert kayanın kazılması ve kullanılması	8,35	m ³
Malzeme nakli	2,69	m ³
Alt yapının sıkıştırılması	0,66	m ³
Fazla kazı materyalinin depolanması	0,11	m ³
Her cins toprak zeminde platfrom tesviyesi	157,30	km
Her cins küskülük zeminde platfrom tesviyesi	239,58	km
Her cins toprak küskülük zeminde hendek tesviyesi	106,48	km
Her cins toprak küskülük zeminde hendek tesviyesi	106,48	km
1.kalite ocak taşı konkrösörle kırılmış alt temel malzemesi	7,26	m ³
Greyder ile serme	0,50	m ³
Arazöz ile sulama yapılması	3,53	ton
Silindir ile sıkıştırma	18,75	sa
Çakıl	19,59	m ³
Kırma taş	14,37	m ³
Çimento	107,50	m ³
Büz (80 cm)	48,77	m

Table 2. Bazı yol yapım çalışmalarına ait birim maliyetler**Şekil 3.** Model arayüzünde geliştirilen orman yolunun 2B (a) ve 3B (b) sayısal yükseklik modeli üzerinde görüntüsü

Modelin geliştirdiği yaklaşık 280 m uzunluğundaki optimum orman yolunun birim maliyeti 34.32 YTL/m ve yoldan dereye ulaşan sediment üretimi 3.26 ton/km olarak hesaplanmıştır. Sonuçlara göre, yol yapım, bakım ve transport maliyeti sırası ile 7657,38 YTL, 1030,08 YTL ve 923,07 YTL olarak bulunmuştur. En yüksek maliyete sahip yol yapım çalışmaları toprak düzlemesi (%73) ve üst yapı çalışmaları (%23) olmuştur. Eğimi %2-%6 arasında değişen yolun ortalama eğimi %4 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Optimum orman yolu güzergahının boyuna profili.

3.3. Sonuçlar

Bu çalışmada, Türkiye'deki yol dizayn spesifikasyonlarını, ekonomik verileri ve orman özelliklerini dikkate alarak, modern optimizasyon yöntemleri ve CBS teknolojisi destekli bir orman yolu modeli sunulmuştur. Bu model birçok alternatif orman yolu güzergahını sistematik olarak değerlendirmekte ve yol dizayn spesifikasyonlarını, çevresel şartları, sürücü güvenliğini ve sediment üretimini göz önünde bulundurmaktadır. Böylece, sadece toplam yapım, bakım ve taşıma maliyetleri en düşük olan değil aynı zamanda trafik güvenliğini ve orman ekosisteminin biyolojik çeşitliliğinin korunması açısından önem taşıyan derelere ve riparian alanlara taşınan sediment miktarını dikkate alan optimum orman yolu güzergahı geliştirilebilecektir. Henüz literatürde yer almayan bu yaklaşımın, bir model halinde geliştirilmesi ve uygulanması, ülkemiz ormancılığında geliştirilmekte olan modern planlama yöntemlerine yeni bir örnek teşkil ederek, ülke ormancılığının ilerlemesinde büyük önem taşıyacağına inandığımız modern planlama tekniklerinin kullanılmasına ve geliştirilmesine ivme kazandıracakı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen ve halen devam eden TOVAG-105 O 516 nolu "Türkiye Ormancılığı Şartlarında Modern Optimizasyon Yöntemleri Ve CBS Kullanarak Orman Yolu Planlama Modelinin Geliştirilmesi ve KSÜ Başkonuş Araştırma Ve Uygulama Ormanında Uygulanması" isimli projenin bir kısmını oluşturmaktadır. Finansal kaynağından dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akay A. and Sessions J., 2005. *Applying The Decision Support System, TRACER, to Forest Road Design*, Western Journal of Applied Forestry, 20 (3): 184-191.
- Akay A.E., Erdaş O., Belen B., 2006. *Orman Yollarından Derelere Ulaşan Sedimentin Hesaplanmasında CBS Tabanlı Sediment Tahmin Modelinin, SEDMODL2, Kullanılması*. Türkiye'de yarı kurak bölgelerde yapılan ağaçlandırma ve erozyon kontrolü uygulamalarının değerlendirilmesi çalışması. 7-10 Kasım 2006. Nevşehir.
- Altun L., Yılmaz M., Acar C., Turna İ., Başkent E.Z., and Bilgili E., 2003. *Evaluating the seasonal changes of water quality of Değirmendere and Galyan Rivers (Trabzon, Turkey)*. J. Of Environmental Biology. 24(4): 415-422.
- Asan Ü., 2003. *Orman Amenajmanında Çağdaş Plan Sorunu ve Planlama Sistemleri*, Orman Mühendisliği Dergisi, Yıl 40, Sayı 9-10, s.20-32. ISSN 1301-3572.

- Aruga K., Sessions J., and Akay A.E.,** 2005. *Heuristic techniques applied to forest road profile*. The Japanese Forest Society, J. For. Res. 10 (2): 83-92.
- Aykut T., Demir M., and Acar H.,** 2000. *Designing Forest Road Network and Transportation Plans in Computer*. Forest and Wood Technology Environment, International Scientific Conference, Page 35-42, ISBN 80-7157-471-6, November 20-22nd 2000, Brno, Czech Republic.
- Başkent E.Z.,** 2001. *Combinatorial optimization in forest ecosystem managemen.,* Turkish Journal of Agriculture and Forestry. (25):187-194.
- Başkent E.Z., Wightman A.R., Jordan G.A., and Zhai Y.,** 2001. *Object-oriented abstraction of contemporary forest management design*, Ecological Modelling, 143(3)147-164.
- Başkent E.Z. and Jordan G.A.,** 2002. *Forest landscape (ecosystems) management with simulated annealing*, Forest Ecology and Management. (165)1-3: 29-45.
- Bilby R.E., Sullivan K., and Duncan S.H.,** 1989. *The Generation and fate of road-surface sediment in forested watersheds in southwestern Washington*, Forest Science 35(2), 453-468.
- Boise Cascade Corporation,** 1999. *SEDMODL-Boise Cascade road erosion delivery mode.,* Technical documentation. 19 p.
- Bowman E.H. and Fetter R.B.,** 1967. *Analysis for production and operations management*, Irwin Series in Quantitative Analysis for Business. Yale University. 870 p.
- Demir M. and Öztürk T.,** 2004. *A Research on Forest Road Planning and Projecting by Inroads Software in Bolu Region of Turkey*, American Journal of Applied Sciences 1(4): 295-301, 2004, ISSN 1546-9239, New York, U.S.A.
- Erdaş O. and Gümüş S.,** 2000. *Orman Yol Geçkilerinin Belirlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinden Yararlanma İmkanları Üzerine Bir Araştırma*, Turk J. Agric. For. 24:611-619.
- Glass D. and Megahan W.,** 2000. *SEDMODL2: A geographic information system (GIS) based model of road erosion to determine priorities for control activities*, 352-355 in Proceedings of the 2000 NCASI West Coast Regional Meeting. Research Triangle Park, NC: National Council for Air and Stream Improvement, Inc.
- Görücü Ö.,** 2001. *Orman Kaynakları Üretim Planlamasında Lineer Programlama Kullanım.,* V. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu.Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi. Ekonometri Bölümü. Adana.
- Grace J. M., Rummer B., Stokes B. J., and Wilhoit J.,** 1998. *Evaluation of erosion control techniques on forest roads*, Trans. ASAE 41(2): 383–391.
- Gümüş S., Acar H.H., Tunay M., and Atesoglu A.,** 2003. *Calculation of Cut and Fill Volumes by GIS in Forest Roads Projecting*, “The Conceptual Framework of Wood Logistics Systems in Turkish Forestry”, XII. World Forestry Congress, Canada.
- Hasdemir M. ve Demir M.,** 1997. *Orman Yollarının Planlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemlerinden (GIS) Yararlanma Olanakları*, İ.Ü.Orman Fakültesi Dergisi Seri B, Cilt 44, Sayı 3-4, Yıl 1994, Syf: 89-102, ISSN 0535-8418, İstanbul.
- Hasdemir M. ve Demir M.,** 1998. *Orman Yollarının Planlanmasında Bilgisayar Programlarından Yararlanma İmkanları*, Cumhuriyetimizin 75.Yılında Ormancılığımız Sempozyumu, İ.Ü.Orman Fakültesi Yayın No:4187/458, Syf: 461-468, 21-23.Ekim.1998, Askeri Müze ve Kültür Sitesi, Harbiye, İstanbul, Türkiye.
- Ichihara K., Tanaka T., Sawaguchi I., Umeda S., and Toyokawa K.,** 1996. *The method for designing the profile of forest roads supported by genetic algorithm*, The Jap. Forestry Society, Journal of Forest Research. 1: 45-49.
- Kirkpatrick, S., C.D. Gerlatt, and M.P. Vecchi.** 1983. Optimization by simulated annealing, Science. 220: 671-680.
- Ketcheson G.L. and Megahan W.F.,** 1996. *Sediment production and downslope sediment transport from forest roads in granitic watersheds*, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station.
- Ketcheson G.L., Megahan W.F., and King J.G.,** 1999. *“R1-R4” and “BOISED” sediment prediction model tests using forest roads in granitics*. Journal of the American Water Resources Association 35(1):83-98.

- Luce C.H. and Black T.A.**, 1999. *Sediment Production from Forest Roads in Western Oregon*, Water Resources Research. 35(8), 2561–2570.
- Mayer R. and Stark R.**, 1981. *Earthmoving logistics*, Journal of Const. Div. 107(CO2):297-312.
- McClelland D.E., Foltz R.B., Falter C.M., Wilson W.D., Cundy T., Schuster R.L., Saurbier J., Rabe C., and Heinemann R.**, 1999. *Relative effects on a low-volume road system of landslides resulting from episodic storms in Northern Idaho*. In 7th International Conference on Low-Volume Roads, Washington, D.C. 2(1652), 235–243.
- Megahan W.F., Seyedbagheri K.A., Mosko T.L., and Ketcheson G.L.**, 1986. *Construction phase sediment budget for forest roads on granitic slopes in Idaho*, In: Drainage Basin Sediment Delivery, R.F. Hadley, ed. International Institute of Hydrologic Science, Publication 159. pp. 31-39.
- Mısır M.**, 2001. *Çok Amaçlı Orman Amenajman Planlarının Coğrafi Bilgi Sistemlerine Dayalı Olarak Amaç Programlama Yöntemi İle Düzenlenmesi (Orman Üstü Planlama Örneği)*, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- NCASI**, 2003. *Technical Documentation for SEDMODL Version 2.0 Road Erosion/Delivery Model*, <http://www.ncasi.org/support/downloads/Detail.aspx?id=5>, February 2003.
- Reeves C.**, 1993. *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*. Department of Statistic and Operational Research School of Mathematical and Information Sciences, Coventry University. 320 p.
- Reid L.M.**, 1981. *Sediment Production from Gravel-surfaced Forest Roads*, Clearwater Basin, Washington. M.S. Thesis, University of Washington.
- Skaugset A. and Allen M.M.**, 1998. *Forest road sediment and drainage monitoring project report for private and state lands in Western Oregon*. Oregon Department of Forestry, Salem, Oregon, 97310. 20 pp.
- Suzuki H., Ichihara K., and Noda I.**, 1998. *Road planning in forest for recreation*. Journal of the Japan Forest Engineering Society. 13(3): 151-160.
- Tunay M.**, 2000. *Design of an Optimum Forest Road Network Using GIS*, ICGESA International Conference on GIS for Earth Science Applications, Proceedings CD, Izmir.
- Vogt V.J., Colombo R., Bertolo F.**, 2003. *Deriving drainage networks and catchment boundaries : a new methodology combining digital elevation data and environmental characteristics*, Geomorphology. 53:281-298.
- WDNR**, 1995. *Standard methodology for conducting watershed analysis, Version 3.0*. Washington Forest Practices Board.