

Demiryolu Viyadük İnşaatı Şantiye Kuruluş Yerlerinin Toplam Taşıma Maliyetlerini Minimize Edecek Şekilde Belirlenmesi

Ahmet ERGÜLEN^{1*}, Arzum BÜYÜKKEKLİK¹, Mustafa BÜYÜKKEKLİK²

¹Niğde Üniversitesi İ.İ.B.F. İşletme Bölümü, NİĞDE
²Niğbaşı, Niğde Beton Sanayi A.Ş., NİĞDE

Özet: İnşaat firmalarında proje tipi işlerde malzemelerin, araç ve teçhizatın, ekipmanların ve çalışanların şantiyeler arasında taşınması üretimin maliyetini artıran ve verimliliğini düşüren önemli bir problemdir. Bu çalışmada, bir inşaat firması tarafından ihalesine hazırlanan bir viyadük inşaatı projesinin zorunlu teslim süresine uyularak en düşük taşıma maliyetiyle bitirilmesi problemi ele alınmıştır. Probleme doğrusal programlama yaklaşımı kullanılarak, toplam taşıma maliyetlerini minimize edecek şantiye kuruluş yerinin seçimi için matematiksel bir model kurulmuş ve kurulan model Microsoft Excel Solver Programı ile çözülmüştür.

Anahtar kelimeler: Viyadük İnşaatı, Şantiye Kuruluş Yeri, Microsoft Excel Solver Programı, Doğrusal Programlama

The Minimisation of Transportation Costs in Determining Places for Railway Viaduct Construction Sites

Abstract: In large scale projects, one of the most important problems that construction firms faces is the transportation of materials, equipments and hardware, vehicles and workers among construction sites because it increases the cost of production and reduces productivity. In this study, the problem of completing the project with the least transportation cost that a firm getting ready to bid for viaduct construction project faces is examined. To solve the problem, a mathematical construction site choice model which minimises the total transportation costs is developed using linear programming approach and the model is solved with Microsoft Excel Solver Programme.

Key Words: Viaduct Construction, Construction site, Microsoft Excel Solver Programme, Linear Programming

Giriş

İnşaat firmalarının aldıkları proje tipi işlerin başarılı bir şekilde geliştirilip, uygulanmasında "planlama süreci" kritik bir önem taşır. Bu süreç, makro ve mikro planlama olarak iki aşamada değerlendirilebilir [1]. Makro planlama aşamasında, inşaat projesine başlanmadan önce yapılan;

* E-mail: aergulen@nigde.edu.tr

ana stratejilerin oluşturulması, projenin inşa edilebilirliğinin belirlenmesi, maliyetinin hesaplanması, şantiye kuruluş yerlerinin seçimi, ana operasyonlara ve inşa rotasına göre şantiye yerleşim planlarının belirlenmesi, proje gereği kullanılacak araç, metot ve kaynakların düzenlenmesi gibi konuları içeren ön planlama faaliyetleri yerine getirilir. İnşaat projesinin uygulamasına geçilmesiyle başlayan mikro planlama aşamasında ise, operasyonların planlanan periyotlarda (günlük, haftalık... gibi) düzenli bir şekilde yerine getirilmesini sağlayacak detaylı planlama çizelgeleri oluşturulur [2]. Bu çizelgelerin oluşturulmasında kullanılan bilgilerin çoğu da makro planlama aşamasının çıktılarıdır. Dolayısıyla, inşa projelerinin ön planlama safhası olan makro planlama aşamasındaki faaliyetler, projenin bütününün başarıyla tamamlanmasında çok önemlidir. Bu süreçte, projeye ilgili teknik bilgilerin planlama ekibinin tecrübesi ile birleştirilerek, modelleme araçlarının da kullanımıyla, doğru kararlara dönüştürülmesi gerekmektedir.

Literatürde, inşa projelerinin planlama aşamasında doğrusal programlama ([2],[3]), bulanık doğrusal programlama ([4],[5]), hedef programlama, sanal gerçeklik teknolojileri ([1], [6]), yapay zeka uygulamaları gibi tekniklerden faydalanılmıştır. Bu teknikler, proje planlayıcıların inşa süreçlerini daha projeye başlamadan önce gözlerinin önüne getirmelerini, analiz etmelerini ve değerlendirmelerini sağlayarak, karar verme süreçlerini geliştirmektedir.

Bu çalışmada, bir inşa firmasının gireceği bir ihale için düşük fiyat vermek amacıyla, şantiyeler arası taşıma maliyetlerini minimize etmeye çalıştığı makro planlama aşamasındaki bir ön planlama faaliyeti ele alınmıştır. Buna göre, ihaleye konu olan Viyadük İnşaatı Projesinde ana şantiye kuruluş yerlerinin, toplam taşıma maliyetlerini minimize edecek şekilde belirlenmesi problemi, kurulan doğrusal programlama modeli ile optimize edilmiştir. Model, Microsoft Excel Solver Programı ile çözülmüştür.

TCDD Eskişehir-İstanbul hızlı tren demiryolu güzergahı, yapılan bir proje kapsamında belirlenmiştir. İki kesimden oluşan güzergahın birinci kesimi Köseköy-Vezirhan arası; ikinci kesimi Vezirhan-İnönü arası demiryolu hattını kapsamaktadır. Demiryolu hattının güzergahı üzerinde çeşitli kilometrelerde bir çok viyadük ve köprü mevcuttur. İlk olarak birinci kesiminin yapılması planlanan demiryolu hattının viyadüklerinin inşası projesi, ihale usülü bir inşa firmasına verilecektir.

Demiryolu hattında bulunan her bir köprü ya da viyadükte fore kazık sistemleri, viyadük ayakları, başlık kirişleri ve öngerilmeli köprü kiriş sistemleri gibi bir çok uygulama konusu bulunmaktadır. Her bir uygulama konusu için ayrı ayrı ekipler oluşturularak; iş makinaları, ekipman ve inşa demirleri gibi gerekli olan makina, teçhizat ve malzemenin viyadük şantiyelerine taşınması gerekmektedir. Viyadüklerde yerinde uygulama haricindeki çalışmalar için ana şantiye yerlerinin belirlenmesi, buralarda kurulacak beton santrallerinde üretilen betonun transmikserler ile viyadük şantiyelerine ulaştırılması faaliyetleri de planlanmalıdır. Burada, viyadük ve köprülerde kullanılacak öngermeli köprü kirişlerinin üretimi ile başlayan; istiflenmesi, nakliye araçları ile viyadük şantiyelerine nakledilmesi ve iş makinaları ile başlık kirişleri üzerine montajlarının yapılması ile biten süreçteki faaliyetler, zaman ve maliyet açısından en kritik faaliyetleri oluşturmaktadır.

Projeyi almayı düşünen inşa firmasının yürütülen planlama ve uygulama faaliyetlerinin temel amacı, demiryolu güzergahının birinci kesiminde bulunan toplam 19 viyadüğün yapılabilmesi için gerekli makina parkının oluşturulması, ekiplerin belirlenmesi, ana şantiyelerin kurulması (ana şantiyelerde beton santrallerinin kurulması, ekipler için sosyal tesislerin oluşturulması, öngörme hatlarının kurulması vb.) faaliyetlerinin planlanarak projenin mümkün olan en düşük maliyet ile en kısa sürede bitirileceğinin taahhüt edilmesidir.

En kritik faaliyet olarak belirlenen öngerilmeli köprü kiriş üretim hatlarının bulunduğu, buna ilaveten beton santralleri ve sosyal tesisleri de içeren ana şantiyelerin, Kesim-1 hattı üzerindeki toplam 104 km'lik mesafede, kaçınıcı kilometrelere kurulması gerektiği problemi, firmanın bütün plan ve maliyetlerini belirleyecek en önemli konusu durumundadır.

I. İnşaat Projelerinde Makro Planlama Faaliyetleri için Şantiye Yeri Seçimi Problemi

Buradaki karar probleminde, inşaat firmasının gireceği bir ihale için düşük fiyat vermek amacıyla taşıma maliyetlerini minimize edeceği, optimum şantiye yeri belirleme faaliyeti ele alınmış ve kurulan doğrusal programlama modeli ile optimize edilmiştir.

Bu probleme ait genel doğrusal programlama modeli aşağıdaki şekilde yazılabilir:

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min TTM} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m U_{ij} \cdot t_{ij} \cdot VT_i \cdot TM$$

Sınırlar

$$\sum_{j=1}^1 \text{ŞKM}_j \leq \sum_{j=2}^2 \text{ŞKM}_j \dots\dots\dots [1]$$

$$\sum_{j=1}^1 \text{ŞKM}_j \geq \sum_{i=1}^1 VKM_i \dots\dots\dots [2]$$

$$\sum_{j=2}^2 \text{ŞKM}_j \leq \sum_{i=19}^{19} VKM_i \dots\dots\dots [3]$$

$$\sum_{j=2}^2 \text{ŞKM}_j - \sum_{j=1}^1 \text{ŞKM}_j \leq 90 \dots\dots\dots [4]$$

$$\sum_{j=1}^n \text{ŞÜT}_j \leq 45.000.000 \dots\dots\dots [5]$$

$$\sum_{j=1}^n t_{ij} = 1 \quad \forall i \dots\dots\dots [6]$$

Pozitiflik Şartı

$S_j \geq 0$ ve tamsayı

$t_{ij} \in \{0,1\}$

İndisler,

i Viyadük sıra numarası (i=1,2,...,m)

J Şantiye numarası (j=1,...,n)

olmak üzere, kullanılan parametre ve karar değişkenleri:

TM Birim Taşıma Maliyeti (YTL/ton*mesafe)

V_i i. Viyadük

VKM_i i. Viyadüğün kilometresi

Ş_j j. Şantiye

ŞKM_j j. Şantiyenin bulunduğu kilometre

U_{ij} j. Şantiyenin i. Viyadüğe olan uzaklığı (km olarak)

VT_i i. Viyadük kirişlerinin tonajı

ŞÜT_j j. Şantiyenin üretim tonajı

t_{ij} i. Viyadük kirişlerinin j. Şantiyede üretilmesi durumu

şeklindedir.

2. Firmanın Şantiye Kuruluş Yeri Planı

Projede ana şantiye kuruluş yerlerinin belirlenebilmesi için, her bir viyadük şantiyesindeki gerekli ekip sayısı, beton miktarı, öngörülen kiriş miktarı; iş makinası ve nakliye araçlarının kapasiteleri; taşıma maliyetleri ve viyadüklerin güzergah üzerinde kaçınıcı kilometreler üzerinde olması gerektiği bilgileri ile ilgili detaylar aşağıdaki başlıklarda verilmiştir.

2.1. Ekip Sayıları: Bir viyadüğün inşası için gerekli olan ekipte: fore kazık makinası operatörü, kepçe operatörü, demir işçiliği ekibi, beton işçiliği ekibi, uzman bir şantiye şefi ve yeterli sayıda teknisyen bulunmalıdır. Her bir viyadük için yapılan iş programları çerçevesinde ekipler, ilgili viyadükteki kendilerine ait işleri tamamladıktan sonra bir diğer viyadük şantiyesine hareket eder ve genel plan dahilinde viyadükler sırası ile tamamlanır. Bu ekiplerin, kurulacak ana şantiyelerde barınmaları ve buradan yemek ihtiyaçlarının karşılanması gerekmektedir. Sabah çıkarılan servis araçları ile şantiyelere dağıtılan ekiplere, öğle yemekleri için ayrıca yemek servisi yapılmalı ve akşam çıkarılan servisler ile de ekipler tekrar ana şantiyeye dönmelidir. Dolayısıyla toplam 19 viyadüğün bulunduğu projede, ana şantiyelerin konumlarının iyi tespit edilmesi ekiplerin gidiş-dönüş maliyetlerini azaltacak, çalışma zamanlarını uzatacak ve verimliliği artıracaktır.

2.2. Beton Miktarları: Viyadüklerde uygulanan fore kazıklar, köprü ayakları ve başlık kirişleri için beton temin edilmesi gerekmektedir. Ana şantiyelerde kurulacak beton santrallerinde hazırlanacak beton, transmikserler ile viyadük şantiyelerine nakledilecektir. Beton dökümünün başlamasından sonra arka arkaya gelecek transmikserler ile uygulanan betonun soğuk derz oluşturmaması için, beton santralleri ile şantiyeler arasındaki mesafelerin transmikser gidiş dönüş süreleri hesaba katılarak belirlenmesi ve bu süreler göre uygun sayıda transmikser ile çalışılması gerekmektedir. Yaş karışım olarak hazırlanacak betonun kimyasal yapısı sebebiyle santralden çıktığı andan itibaren 120 dakikada işlenmesi zorunludur. Buna göre betonun uygulama süresinin 30 dakika olduğu varsayımı altında, santral ile şantiye arasındaki mesafe transmikser ile 90 dakikada katedilebilir olmalıdır. Ortalama 30 km/saat hızla gidebilen dolu bir mikserin 90 dakikada alabileceği mesafe ise yaklaşık 45 km'dir.

2.3. Öngerilmeli Kiriş Miktarları: Öngerilmeli üretim tekniği, iki öngerme babası arasına yerleştirilen kiriş kalıpları içine bırakılan kiriş donatısı arasından geçirilerek iki baba yuvalarındaki jak sistemleri ile sıkıştırılan, çeşitli çap ve sayıdaki çelik halatların, öngerilme pompaları ile projesinde belirtilen kuvvetlere gerilmesi ve gerili durumdaki halatlar üzerine beton dökülmesi, kürlenmesi ve transfer mukavetine ulaşan köprü kirişlerinin halatlarının kafalarından kesilerek kirişlerin kalıptan alınması işlemlerinden oluşmaktadır. İki baba arasındaki mesafenin belirlenmesi, öngerme hattının kapasitesinin de belirlenmesi anlamına gelmektedir. Yani 30 mt uzunluğundaki kirişleri üretmek için kurulacak 30 mt'lik öngerme yatağında günde bir kiriş üretilebilirken kurulacak 60 mt'lik yatakta iki kiriş üretilebilmektedir. 30 mt'lik yatak ile 60 mt'lik yatak arasındaki fark öngerme babalarının taşıyacağı yüke göre maliyetlerin değişmesidir.

Toplam 19 viyadükten oluşan Kesim-1 Viyadük Projesinde yapılan hesaplamalar sonucunda Tablo 1' de de görüldüğü gibi, toplam 69.187.188 kg kiriş üretiminin yapılması gerektiği tespit edilmiştir. Firma, planlanan sürede bir hatta en fazla 45.000.000 kg üretim yapabilmektedir. Bu durum, Kesim-1 güzergahındaki viyadüklerin tamamlanabilmesi için en az iki öngerme hattının kurulması gerektiğini göstermektedir.

2.4. Viyadük Kilometreleri: İstanbul Eskişehir yolunun 110. km' sindeki Köseköy mevkiinde başlayan 1.Viyadük (VK-1) ile aynı yolun 192. km' sindeki Vezirhan mevkiinde biten 19.Viyadük (VK-19) arasında kalan Kesim-1 güzergahı viyadüklerinin projeye göre olması gerekli kilometreleri Tablo 2' de verilmiştir. Güzergah üzerinde belirli bölgelerde önemli kot farkları ile rampalı ve virajlı yollar bulunmaktadır. Ancak, bu şekildeki yollar ulaşım ve nakliye açısından maliyetleri değiştirebilecek nitelikte bir problem oluşturmamaktadır.

Tablo 1. Viyadüklere ait Kiriş / kg Bilgileri

VIYADÜK NO	TONAJ
1.VK	349.872 Kg
2.VK	374.976 Kg
3.VK	349.872 Kg
4.VK	349.872 Kg
5.VK	349.872 Kg
6.VK	374.976 Kg
7.VK	3.744.000 Kg
8.VK	2.340.000 Kg
9.VK	14.450.778 Kg
10.VK	12.255.825 Kg
11.VK	2.093.337 Kg
12.VK	2.340.000 Kg
13.VK	698.880 Kg
14.VK	3.744.000 Kg
15.VK	4.186.674 Kg
16.VK	18.142.254 Kg
17.VK	2.340.000 Kg
18.VK	354.120 Kg
19.VK	347.880 Kg
TOPLAM TONAJ	69.187.188 Kg

Tablo 2. Projeye Göre Viyadüklerin km' leri

VIYADÜK NO	KM'Sİ
1.VK	110.Km
2.VK	114.Km
3.VK	116.Km
4.VK	120.Km
5.VK	121.Km
6.VK	136.Km
7.VK	138.Km
8.VK	141.Km
9.VK	137.Km
10.VK	142.Km
11.VK	145.Km
12.VK	146.Km
13.VK	153.Km
14.VK	171.Km
15.VK	182.Km
16.VK	186.Km
17.VK	187.Km
18.VK	191.Km
19.VK	192.Km

2.5. İş Makinaları ve Nakliye Araçları: Viyadük şantiyelerinde çalışacak iş makinaları ve nakliye araçlarının firmanın taşeronlarına ait olması ve kiralık olarak çalıştırılması planlanmaktadır. Buna göre, taşeron firma iş makinaları için çalıştıkları saat üzerinden, nakliye araçları için ise taşıdıkları yükün ağırlığına ve mesafesine göre hak ediş yapacaktır. Dolayısıyla, hangi şantiyede kaç araca ihtiyaç bulunduğu ve ne kadar süre ile çalıştırılacağı bilgisi taşeronu

verildiği takdirde taşıeron firma, gerekli sayıda aracı gerektiği zamanda temin edebilmektedir. Bu sebeple, iş makineleri ve nakliye araçları ile ilgili bir kısıt bulunmamaktadır.

2.6. Taşıma Maliyetleri: Ana şantiyelerden viyadük şantiyelerine yapılan insan, malzeme ve kırış naklieleri taşıeron firmaya verilecek, taşıdığı mesafeye ve taşıdığı yükün ağırlığına göre firma hak ediş yapacaktır. Daha önceki projelerden taşıeron firmanın birim taşıma fiyatları bilinmektedir. Buna göre, sabah ve akşam işçi ekiplerini dağıtmak ve toplamak için km başına 2 YTL; malzeme ve kırış nakliyesinde de taşıdığı her bir ton yük için km başına 5 YTL ücret talep edeceği tahmin edilmektedir. Dolayısıyla, işin toplam tonajına ve taşınacak güzergah uzunluğuna bakıldığında, nakliye ücretlerinin toplam maliyetler içinde küçümsenmeyecek bir değere ulaşacağı rahatlıkla hesaplanabilmektedir.

3. Firma Şantiye Kuruluş Yeri Planına Göre Optimum Çözüm Planı

Proje ile ilgili bu bilgiler ışığında, ihaleyi almak isteyen inşaat firmasının proje müdürlüğü bünyesinde yürütülen planlama ve uygulama faaliyetlerinin amacı, demiryolu güzergahının birinci kesiminde bulunan toplam 19 viyadüğün yapılabilmesi için gerekli makina parkının oluşturulması, ekiplerin belirlenmesi, ana şantiyelerin kurulması (ana şantiyelerde beton santrallerinin kurulması, ekipler için sosyal tesislerin oluşturulması, öngerilme hatlarının kurulması vb.) faaliyetlerinin planlanarak projenin en ekonomik şekilde en kısa sürede bitirilmesidir. Bu faaliyetlerden, çalışmamıza konu olan, ana şantiye kuruluş yerlerinin belirlenmesi problemiyle ilgili olarak, modelin kurulmasına yardımcı olacak aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

Hesaplamalara ilk önce viyadük proje metrajları çıkarılarak başlanmıştır. Yapılan metrajlar sonucunda, öngermeli kırış tonajı ile viyadük şantiyesi beton ihtiyaçlarının; beton metrajı ile de işgücü sayısının doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, 3.744.000 kg ağırlığında öngerilmeli kırış sevkiyatı yapılacak VK-7' nin fore kazık, ayaklar ve başlık kırışleri için gerekli beton ihtiyacı 3.100 m3, inşaat demiri ihtiyacı 305 ton ve işgücü ihtiyacı da 37 adam/gün*25 iken; 12.255.825 kg ağırlığında öngerilmeli kırış sevkiyatı yapılacak VK-10' nun fore kazık, ayaklar ve başlık kırışleri için gerekli beton ihtiyacı 10.000 m3, inşaat demiri ihtiyacı 1.000 ton ve işgücü ihtiyacı da 37 adam/gün*75' dir.

Tablo 3. Örnek Viyadükler için Oranlar

	Kırış İhtiyacı (kg)	Beton İhtiyacı (m3)	Demir İhtiyacı (ton)	İşgücü ihtiyacı (adam/gün*25)
VK-7	3.744.000	3.100	305	37
VK-10	12.255.825	10.000	1.000	111
ORANLAR	0,31	0,31	0,31	0,33

Tablo 3' de görüldüğü gibi bütün oranlar 0.31 ile 0.33 arasında değişmektedir. Dolayısıyla, bir viyadük için köprü kırışleri ve diğer malzemelerin nakliye tonajı ile çalışacak işgücünün viyadük şantiyelerine taşınması orantılı olacağından, şantiye kuruluş yerlerini tespit etmek amacı ile kurulacak modelde sadece kırış parametrelerinin kullanılması yeterli görülmektedir. Böylece, parametre sayısı azaltılmış ve modelin çalışması kolaylaştırılmış olacaktır.

Problemin tanımlanması, varsayım ve kabullerinin yapılmasından sonra problemi temsil edecek modelin kurulması aşamasına geçilmiştir.

3.1. Modelin Kurulması

3.1.1. Karar Değişkenlerinin ve Parametrelerin Tanımlanması

İndisler,

i	Viyadük sıra numarası (i=1,2,...,19)
J	Şantiye numarası (j=1,2)
olmak üzere	
TM	Birim Taşıma Maliyeti (YTL/ton*mesafe)
V_i	i. Viyadük
VKM_i	i. Viyadüğün kilometresi
$\$j$	j. Şantiye
$\$KM_j$	j. Şantiyenin bulunduğu kilometre
U_{ij}	j. Şantiyenin i. Viyadüğe olan uzaklığı (km olarak)
VT_i	i. Viyadük kirişlerinin tonajı
$\$ÜT_j$	j. Şantiyenin üretim tonajı
t_{ij}	i. Viyadük kirişlerinin j. Şantiyede üretilmesi durumu

3.1.2. Sınırlayıcı Şartların Formüle Edilmesi

Sınırlar

1. şantiye km'si 2. şantiye km' inden küçük veya eşit olmalıdır.

$$\$1km \leq \$2km \dots\dots\dots [1]$$

1. şantiye km'si 1. (ilk) viyadük km' inden büyük veya eşit olmalıdır.

$$\$1km \geq VK1km \dots\dots\dots [2]$$

2. şantiye km'si 19. (son) viyadük km' inden küçük veya eşit olmalıdır.

$$\$2km \leq VK19km \dots\dots\dots [3]$$

İki şantiye arası mesafe, yaş beton uygulama sürecinde, transmikserler ile belirli bir sürede katedilebilir olmalıdır. Yani, iki şantiyeden birbirlerine doğru yola çıkan mikserlerin maksimum 90 dakikada (45 km sonra) karşılaşmaları gerekmektedir. Dolayısıyla iki şantiye arası mesafe maksimum 90 km olmalıdır.

$$\$2km - \$1km \leq 90 \dots\dots\dots [4]$$

Şantiyelerdeki öngörülen köprü kirişi üretimi 45.000.000 kg' ı geçemez.

$$\$jt \leq 45.000.000 \dots\dots\dots [5]$$

Herhangi bir viyadüğe ait kiriş, sadece bir şantiyede üretilmelidir. Aynı viyadük kirişi iki şantiyede birden üretilmemelidir. Dolayısıyla, üretilen toplam miktar da 19 adet olmalıdır. Bu durum, sadece 0 veya 1 değerini alabilen t_{ij} değişkeninin modele eklenmesiyle aşağıdaki sınırlar setinde verilmiştir.

$$t_{11} + t_{12} = 1$$

$$t_{21} + t_{22} = 1$$

$$\dots\dots\dots [6]$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots$$

$$t_{191} + t_{192} = 1$$

$$t_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{i.viyadük kirişi j.şantiyede üretilirse} \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

3.1.3. Amaç Fonksiyonunun Formüle Edilmesi

Toplam Taşıma Maliyetinin (TTM) minimize edilmesi için amaç fonksiyonu da,

$$TTM_{\min} = \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^{19} U_{ij} \cdot t_{ij} \cdot VT_i \cdot TM$$

şeklinde olacaktır.

3.2. Modelin Çözdürülmesi

Doğrusal programlama modellerinin çözülmesi aşamasında Lindo, Tora, Microsoft Excel gibi paket programlardan faydalanılmaktadır ([7],[8],[9],[10]). Bu çalışmada ise, Microsoft Excel Solver paket programından faydalanılarak, Ek-1 ve Ek-2' de verilen tablolar oluşturulmuş ve Ek-3' deki çözüme ulaşılmıştır.

Ek-1' deki proje verilerinin bulunduğu başlangıç tablosunda, şantiye kuruluş yeri olarak 1. şantiye için 120. km ve 2. şantiye için de 170. km hesaplamaların başlaması için rastgele olarak belirlenmiştir. Bu tabloda, J ve K sütunlarındaki hücreler, başlangıçta belirlenen şantiye kilometrelerine göre viyadük şantiyelerine olan uzaklıkları mutlak değer olarak hesaplamaktadır. Programın şantiye kuruluş yerlerini değiştirmesi ile uzaklık mesafeleri sürekli güncellenecektir. Yine aynı tablonun O ve P sütunları da, viyadük şantiyesine hangi kuruluş yerindeki ana şantiye yakın ise viyadük kirişlerinin o ana şantiyede üretilmesini sağlayacaktır. Y sütünü ise, viyadük kirişlerinin üretildiği şantiyeden viyadük şantiyesine taşınmanın maliyetini hesaplamaktadır. Bütün hücreler birbirlerine formül ile bağlı olduğundan programın şantiye kuruluş yerlerini değiştirmesi ile hesaplanan maliyet, sürekli güncellenecektir.

Ek-2' de, modelin çözülebilmesi için gerekli tanımlamalar programa eklenmiştir. Bunlar modelin sınırlarını ve amaç fonksiyonunca istenen hedef hücrenin yerini göstermektedir. Buna göre, "çözücü parametreleri" penceresinde "çöz" komutu verildiğinde kurulan doğrusal programlama modelinin çözümünün hesaplandığı Ek-3' deki tabloda yer alan sonuçlara ulaşılmıştır. Bu tabloda görüldüğü gibi program, 1.şantiye kuruluş yeri için 138. km'ye 40.000.000 kg'lık bir önerilmeli giriş tesisi ve 2. şantiye kuruluş yeri olarak da 186. km'ye 30.000.000 kg'lık bir önerilmeli giriş tesisinin kurulması gerektiğini göstermektedir. Bu kilometrelere kurulacak şantiyeler ile Kesim-1 güzergahı için çıkarılan toplam taşıma maliyeti, 1.164.725 YTL ile minimum olmaktadır.

Sonuç ve Öneriler

İnşaat projelerinde, projeyi üstlenen firmaların en önemli öncelikleri, projenin zamanında, planlanan maliyet ile ve kaliteden ödün vermeden tamamlanmasıdır. Bu önceliklerin yerine getirilmesinde, makro ve mikro aşamalar olarak ayrılabilen planlama süreci büyük önem taşımaktadır. Bu süreçte, projeye ilgili teknik bilgilerin planlama ekibinin tecrübesi ile birleştirilerek, modelleme araçlarının da kullanımıyla, doğru kararlara dönüştürülmesi gerekmektedir. Başarılı planlama çalışmaları, projenin bütünü için süre ve maliyet yönünden firmalara avantaj sağlamaktadır.

Yapılan bu çalışmada, şantiye kuruluş yerlerinin belirlenmesi faaliyetini de içeren, makro planlama aşamasındaki bir karar problemi ele alınmıştır. İhalesine hazırlanan bir viyadük inşaatı projesi ile ilgili, ana şantiye kuruluş yerlerinin toplam taşıma maliyetlerini minimize edecek şekilde belirlenmesi problemi doğrusal programlama yaklaşımı ile çözülmüştür. Kurulan doğrusal programlama modeli ile, projenin Köseköy Vezirhan hattının kaçınıcı kilometrelerinde ana şantiyelerin kurulması gerektiği, şantiyelerin tesis kapasiteleri ile beraber ve toplam taşıma maliyetlerini minimize edecek şekilde hesaplanmıştır.

Şantiye kuruluş yeri seçimi birçok etkenin aynı anda düşünülmesini gerektiren karmaşık ve çoğu durumda da belirsizlikler içeren bir süreçtir. Çünkü yapılacak inşaat faaliyetlerinin çevresel, lojistik, finansal, yasal ve fonksiyonel birçok değişkeni vardır. Dolayısıyla, yapılacak yeni çalışmalarda, şantiye kuruluş yeri seçimi için taşıma maliyetinin yanı sıra, daha fazla parametrenin kullanıldığı matematiksel modeller kurulabilir.

Makro planlama aşaması için yapılan bu çalışmaya ek olarak, ileride, firmanın ihaleyi almasıyla beraber, mikro planlama aşaması için de çalışmalar yapılabilir. Belirlenen ana şantiye kuruluş yerlerine ve projenin bitiş tarihine göre günlük taşıma ve üretim planlama çizelgeleri oluşturulabilir.

Kaynaklar

1. Waly, A.F. and Thabet, W.Y., "A Virtual Construction Environment for Preconstruction Planning", **Automation in Construction**, v.12: 139-154 (2002).
2. Skibniewski, M. and Anibal, A., "Linear Programming Approach to Construction Equipment and Labour Assignments", **Civil Engineering Systems**, v.7, n.1: 44-50 (1990).
3. Ergülen, A. ve Gürbüz, E., "İnşaat ve Enerji Sektöründe Beton Direk Üretimi Planlaması: Tamsayılı Doğrusal Programlama", **Celal Bayar Üniversitesi Yönetim ve Ekonomi Dergisi**, Cilt 13, Sayı 1: 1-15 (2006).
4. Eshwar, K. and Kumar, V.S.S., "Optimal Deployment of Construction Equipment Using Linear Programming with Fuzzy Coefficients", **Advances in Engineering Software**, v.35: 27-33 (2004).
5. Soltani, A.R. and Fernando, T., "A Fuzzy Based Multi-Objective Path Planning of Construction Sites", **Automation in Construction**, v.13: 717-734 (2004).
6. Retik, A. and Shapira, A., "VR-Based Planning of Construction Site Activities", **Automation in Construction**, v.8: 671-680 (1999).
7. Alan, M.A. ve Yeşilyurt, C., "Doğrusal Programlama Problemlerinin Excel ile Çözümü", **Cumhuriyet Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi**, Cilt 5, Sayı 1: 151-162 (2004).
8. Özgüven, C., **Doğrusal Programlama ve Uzantıları**, Detay Yayıncılık, 1. Baskı, Ankara (2003).
9. Öztürk, A., **Yöneylem Araştırması**, Ekin Yayınevi, 9. Baskı, Bursa (2004).
10. Taha, H.A., **Yöneylem Araştırması**, 6. Basımdan Çeviri, Çeviren ve Uyarlayanlar: Ş. Alp Baray ve Şakir Esnaf, İstanbul (2000).

Ek-1. Proje Verileri

Microsoft Excel - Viyadük Projesi-1 Kesim Planlarına

Yardımlar: Dosya Düzen Görünüm Ekle Biçim Araçlar Yeri Pencere Yardım Tümünü Göster Yardım İçin Sürü Yazın

Formül Çubuğu: N Y

P31

TCDD ESKİŞEHİR-KÖSEKÖY DEMİRYOLU KESİM-1 (KÖSEKÖY-VEZİRHAN) VIYADÜK VE ŞANTIYE PARAMETRELERİ

VIYADÜK NO	TONAJI (t/whit)	KM'Sİ (yıldırım)	Em. Taşınma Maliyeti (Tm.1)	1. ŞANTIYE MESAFESİ (ULI)	2. ŞANTIYE MESAFESİ (UL2)	ŞANTIYE-1 TONAJI (t/whit)	ŞANTIYE-2 TONAJI (t/whit)	TAŞIMA MALİYETİ (TTM)
1.VK	349.872 t/whit	110.0m	5,00 YTL/whit.km	10 km	60 km	349.872 t/whit	0 t/whit	17.493.600 YTL
2.VK	374.976 t/whit	114.0m	5,00 YTL/whit.km	6 km	56 km	374.976 t/whit	0 t/whit	11.249.280 YTL
3.VK	349.872 t/whit	116.0m	5,00 YTL/whit.km	4 km	54 km	349.872 t/whit	0 t/whit	6.997.440 YTL
4.VK	349.872 t/whit	120.0m	5,00 YTL/whit.km	0 km	50 km	349.872 t/whit	0 t/whit	0 YTL
5.VK	349.872 t/whit	121.0m	5,00 YTL/whit.km	1 km	49 km	349.872 t/whit	0 t/whit	17.49.280 YTL
6.VK	374.976 t/whit	133.0m	5,00 YTL/whit.km	18 km	32 km	374.976 t/whit	0 t/whit	336.950.000 YTL
8.VK	2.340.000 t/whit	141.0m	5,00 YTL/whit.km	21 km	29 km	374.400 t/whit	0 t/whit	245.700.000 YTL
9.VK	14.450.778 t/whit	137.0m	5,00 YTL/whit.km	17 km	33 km	2.340.000 t/whit	0 t/whit	1.228.316.130 YTL
10.VK	12.255.825 t/whit	142.0m	5,00 YTL/whit.km	22 km	28 km	14.450.778 t/whit	0 t/whit	1.348.140.740 YTL
11.VK	2.003.337 t/whit	145.0m	5,00 YTL/whit.km	25 km	25 km	0 t/whit	2.003.337 t/whit	251.057.125 YTL
12.VK	2.340.000 t/whit	146.0m	5,00 YTL/whit.km	26 km	24 km	0 t/whit	2.340.000 t/whit	290.800.000 YTL
13.VK	698.880 t/whit	153.0m	5,00 YTL/whit.km	33 km	17 km	0 t/whit	698.880 t/whit	89.404.800 YTL
14.VK	3.744.000 t/whit	171.0m	5,00 YTL/whit.km	51 km	1 km	3.744.000 t/whit	0 t/whit	18.730.000 YTL
15.VK	4.166.674 t/whit	182.0m	5,00 YTL/whit.km	62 km	12 km	0 t/whit	4.166.674 t/whit	251.200.440 YTL
16.VK	18.142.254 t/whit	183.0m	5,00 YTL/whit.km	65 km	16 km	0 t/whit	18.142.254 t/whit	1.451.390.320 YTL
20.VK	2.340.000 t/whit	187.0m	5,00 YTL/whit.km	67 km	14 km	0 t/whit	2.340.000 t/whit	198.900.000 YTL
18.VK	354.120 t/whit	191.0m	5,00 YTL/whit.km	71 km	21 km	0 t/whit	354.120 t/whit	37.182.800 YTL
19.VK	347.880 t/whit	192.0m	5,00 YTL/whit.km	72 km	22 km	0 t/whit	347.880 t/whit	36.296.800 YTL
TOPLAM TONAJ	69.187.188 t/whit					34.430.043 t/whit	34.747.145 t/whit	6.824.136.715 t/whit

ŞANTIYELER KURULUŞ YERİ

ŞANTIYE-1	100 km
ŞANTIYE-2	170 km
ŞANTIYELER ARASINDAKİ MESAFESİ	50 km

PARAMETRELER / SABİT BİLGİLER / TONAJ / Sayfa1 / Sayfa2 / Sa

Otomatik Sekil

Hazır

BH SAYI

Microsoft Excel - Viyadük Projesi-1 Kesim Planlarına

TR Bağlantılar

Masafalı

Ek-2. Modelin Sınırlarının ve Amaç Fonksiyonunun Tanımlanması

Y24 = TOPLA(Y5:Y23)

TCDD ESKİŞEHİR-KÖSEKÖY DEMİRYOLU KESİM-1 (KÖSEKÖY-VEZİRHAN) VİYADÜK VE ŞANTİYE PARAMETRELERİ

ŞANTİYER NO	TONAJI (YİTİM)	KM'Sİ (YİTİM)	Emm. Tarihine Malîyatı (Tm.)	1. ŞANTİYE MESAFESİ (U11)	2. ŞANTİYE MESAFESİ (U12)	ŞANTİYE-1 TONAJI (Ş11)	ŞANTİYE-2 TONAJI (Ş21)	TAŞIMA MALİYETİ (TTM)
1.VK	349.872 t.kg	110 km	5,00 YTL/da.Ym	10 km	60 km	1.VK	349.872 t.kg	17.493.800 YTL
2.VK	374.976 t.kg	114 km	5,00 YTL/da.Ym	6 km	56 km	2.VK	374.976 t.kg	11.249.580 YTL
3.VK	349.872 t.kg	116 km	5,00 YTL/da.Ym	4 km	54 km	3.VK	349.872 t.kg	6.997.440 YTL
4.VK	349.872 t.kg	120 km	5,00 YTL/da.Ym	0 km	50 km	4.VK	349.872 t.kg	0 YTL
5.VK	349.872 t.kg	121 km	5,00 YTL/da.Ym	1 km	49 km	5.VK	349.872 t.kg	17.49.360 YTL
7.VK	374.400 t.kg	138 km	5,00 YTL/da.Ym	16 km	34 km	6.VK	374.976 t.kg	29.696.080 YTL
8.VK	2.340.000 t.kg	141 km						336.600.000 YTL
9.VK	14.650.778 t.kg	137 km						245.700.000 YTL
10.VK	12.255.625 t.kg	122 km						1.228.316.130 YTL
11.VK	2.093.337 t.kg	142 km						1.348.140.740 YTL
12.VK	2.340.000 t.kg	143 km						251.687.125 YTL
13.VK	668.880 t.kg	163 km						290.600.000 YTL
14.VK	37.44.000 t.kg	171 km						59.404.800 YTL
15.VK	4.188.574 t.kg	182 km						187.20.000 YTL
16.VK	18.142.254 t.kg	182 km						251.200.440 YTL
17.VK	2.340.000 t.kg	187 km						145.1.880.320 YTL
18.VK	354.120 t.kg	191 km						198.000.000 YTL
19.VK	347.880 t.kg	190 km						37.182.600 YTL
20.VK								38.296.800 YTL
24. TOPLAM TONAJ	89.187.188 t.kg							5.834.128.718 t.kg

Çözümü Parametreler

Hedef Hücre: En Büyük En Küçük Değer: 0

Eşittir: Tahmin

Değişen Hücreler: Ekle

Kısıtlamalar: Değiştir

Sil

Sil

Sil

Sil

Çöz

Seçenekler

Tümünü Sifirle

Yardım

PARAMETRELER / SABİT BİLGİLER / TONAJ / Sayfa1 / Sayfa2 / Sa

Basla

Yiyaduk/Projesi/ Kesim

FR. Bağlantılar / Masafdu / 11.15

SAYI

Ek-3. Modelin Çözümü

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
TCDD ESKİŞEHİR-KÖSEKÖY-DEMİRYOLU KESİM-1 (KÖSEKÖY-VEZİRHAN) VİYADÜK VE ŞANTIYE PARAMETRELERİ																								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
VIYADÜK NO		TONAJ		KURUS		Emm. Taşıma		1. ŞANTIYE MESAFESİ		2. ŞANTIYE MESAFESİ		ŞANTIYE-1 TONAJ		ŞANTIYE-2 TONAJ		TAŞIMA MALİYETİ								
1.VK		349.872 kg		110 Jm		5,00 YTL/ton Jm		28 Jm		76 Jm		1.VK		349.872 kg		48.992,151 YTL								
2.VK		37.4976 kg		114 Jm		5,00 YTL/ton Jm		24 Jm		72 Jm		2.VK		37.4976 kg		44.997,193 YTL								
3.VK		349.872 kg		116 Jm		5,00 YTL/ton Jm		22 Jm		70 Jm		3.VK		349.872 kg		38.485,991 YTL								
4.VK		349.872 kg		120 Jm		5,00 YTL/ton Jm		18 Jm		66 Jm		4.VK		349.872 kg		31.489,851 YTL								
5.VK		349.872 kg		121 Jm		5,00 YTL/ton Jm		17 Jm		65 Jm		5.VK		349.872 kg		29.739,191 YTL								
6.VK		37.4976 kg		136 Jm		5,00 YTL/ton Jm		2 Jm		50 Jm		6.VK		37.4976 kg		37.49,833 YTL								
7.VK		37.44.000 kg		138 Jm		5,00 YTL/ton Jm		0 Jm		48 Jm		7.VK		37.44.000 kg		760 YTL								
8.VK		2.340.000 kg		141 Jm		5,00 YTL/ton Jm		3 Jm		45 Jm		8.VK		2.340.000 kg		35.099,524 YTL								
9.VK		14.650.778 kg		137 Jm		5,00 YTL/ton Jm		1 Jm		49 Jm		9.VK		14.650.778 kg		72.599,830 YTL								
10.VK		12.555,825 kg		142 Jm		5,00 YTL/ton Jm		4 Jm		44 Jm		10.VK		12.555,825 kg		2.451,14.005 YTL								
11.VK		2.063,337 kg		145 Jm		5,00 YTL/ton Jm		7 Jm		41 Jm		11.VK		2.063,337 kg		73.596,369 YTL								
12.VK		2.340.000 kg		146 Jm		5,00 YTL/ton Jm		8 Jm		40 Jm		12.VK		2.340.000 kg		93.899,524 YTL								
13.VK		668.880 kg		153 Jm		5,00 YTL/ton Jm		15 Jm		33 Jm		13.VK		668.880 kg		52.416,888 YTL								
14.VK		37.44.000 kg		171 Jm		5,00 YTL/ton Jm		33 Jm		15 Jm		14.VK		37.44.000 kg		290.799,065 YTL								
15.VK		4.186,574 kg		182 Jm		5,00 YTL/ton Jm		4 Jm		11 Jm		15.VK		4.186,574 kg		83.731,349 YTL								
16.VK		18.142,254 kg		183 Jm		5,00 YTL/ton Jm		48 Jm		0 Jm		16.VK		18.142,254 kg		9.033 YTL								
17.VK		2.340.000 kg		187 Jm		5,00 YTL/ton Jm		49 Jm		1 Jm		17.VK		2.340.000 kg		11.701,191 YTL								
18.VK		354.120 kg		191 Jm		5,00 YTL/ton Jm		53 Jm		5 Jm		18.VK		354.120 kg		8.853,180 YTL								
19.VK		347.880 kg		192 Jm		5,00 YTL/ton Jm		54 Jm		6 Jm		19.VK		347.880 kg		10.439,577 YTL								
TOPLAM TONAJ		64.187.188 kg						40.072,290		28.114,928 kg		TOPLAM				1.164.726,418 kg								
ŞANTIYELER		KURULUŞ YERİ																						
ŞANTIYE-1		138 Jm																						
ŞANTIYE-2		185 Jm																						
ŞANTIYELER		ARASI MESAFE		48 Jm																				
ARASI MESAFE		48 Jm																						
<p>PARAMETRELER / SABİT BİLGİLER / TONAJ / Sayfa1 / Sayfa2 / Sa</p> <p>Otomatik Şekil</p> <p>Hazır</p> <p>Baslar</p> <p>Yıvadük Projesi / Ke...</p> <p>Bağlantılar</p> <p>Masafistü</p> <p>SAYI</p>																								