

UYGUN BİR GEOTEKSTİL KULLANIMI İLE YOL İNŞAATINDA MALİYETLERİN DÜŞÜRÜLMESİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

H. Recep YILMAZ

Yrd.Doç.Dr.

DEÜ.Müh.Fakültesi

ÖZET

Mekanik ve hidrolik muhtelif fonksiyonlara sahip olan geotekstiller yol inşaatlarında kullanıldıklarında mekanik fonksiyonları arasında yer alan ayırma özelliğinden yararlanılmakta olup, donatı özelliği ile alttaki zayıf temel zemininin taşıma gücü arttırılmakta, hidrolik fonksiyonları arasında yer alan drenaj özelliği yardımıyla da yüzeysel suların drenajı sağlanmaktadır.

Bu çalışmada geotekstilin yol inşaatlarında kullanımı için uygulanan statik ve dinamik dizayn metodlarından bahsedildikten sonra trafiği düşük seviyede olan kaplamasız bir yol geotekstilli ve geotekstilsiz olarak projelendirilerek gerekli olan agrega tabakası kalınlıkları farklı olarak hesaplanmakta ve toplam maliyetler içindeki direkt ve indirekt geri kazanımların tümü dikkate alınarak toplam geri kazanım yolun beher kilometresi için hesaplanarak geotekstil kullanımı ile sağlanacak ekonomi vurgulanmaktadır.

1. AMAÇ

Fonksiyonlarının çeşitliliği, inşaat işlerine getirdiği kolaylık, istenen mühendislik parametrelerinin kontrol edilebilirliği ve ekonomik oluşu gibi nedenlerle tüketimi dünyada ve ülkemizde hızla artan geotekstillerin ulaştırma mühendisliğinde; kaplamalı ve kaplamasız yollarda, demiryollarında ve otoyollarda kullanılabilmesi ve yeterli tecrübe ile birikimin oluşmuş olması nedeniyle bu ürünün kullanımını tavsiye etmek ve sağlanan tasarrufları ve gerçek kazanımları somut bir biçimde göstermek amaçlanmıştır.

2. YOL İNŞAATINDA GEOTEKSTİL KULLANIMI

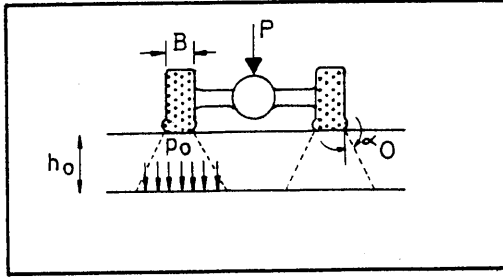
Geçici amaçlı yollar ile düşük maliyetli kaplamasız yollarda genel olarak temel zeminine direkt olarak serilen bir agregata tabakası vardır. Amacı tekerlekten intikal eden yükleri yayarak ve azaltarak temel zeminine aktarmaktır. Alt temel tabakası özellikle koheziv ise ve agregata yetersiz kalınlıkta ise temel zemini göçmeye maruz kalır. Bu durumda temel zeminine uygun dayanımlı bir geotekstil serilirse, geotekstil agregata tabakası kalınlığında bir azalmaya neden olur ve yolun imalat masrafları düşer. Geotekstil kullanımının ana amaçları şu şekilde sıralanabilir :

- i. Yolun kalitesini arttırmak
- ii. Yolun maliyetini düşürmek
- iii. Yolun ömrünü uzatmak

Geotekstilde projelendirme metodlarından en kapsamlısı Giroud ve Noiray tarafından geliştirilmiştir (1).

2.1. STATİK DURUMDA PROJELENDİRME

Şekil 1. de drenajsız kayma dayanımı C_u (kpa) olan saf kil temel zemini üzerinde H_0 kalınlığında serilen agregata ile iki tekerlekle aktarılan W yükü verilmektedir. Tekerlek yükü agregata tabakası içinde yayılarak alt



Şekil 1. Geotekstilsiz Durum (1), (2), (6)

temel zeminine P_0 yükü intikal eder. P_0 'ın değeri, dingil ağırlığı P ye ve tekerleklerin değme alanı $B \times L$ ye bağımlı olup:

$$P_0 = \frac{P}{2(B + 2H_0 \tan \alpha_0)(L + 2H_0 \tan \alpha_0)} \quad (1)$$

şeklinde hesaplanabilir. Formülde ;

H_0 değerinin arttırılarak P_0 'ın azaltılabileceği görülmektedir. Müsaade edilebilir maksimum p_n değeri zeminin maksimum elastik taşıma gücüne yani;

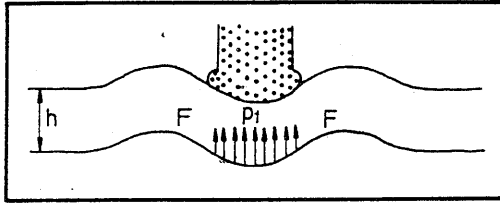
$$P_0 = \pi C_u \quad (2)$$

değerine eşittir. Yani $P_0 < \pi C_u$ olmak üzere H_0 belirlenecektir. $P_0 > \pi C_u$ olunca yol, geçilmez olana dek tekerlek izleri oluşur. Agregat tabakası, kil tabakasına batar ve neticede H_0 azalır.

Agrega ile temel zemini arasına geotekstil koyulunca iki tabaka karışıp H_0 azalamaz. Bu durumda alt temel tabakası üzerindeki basıncın

$$P_u = (\pi + 2) C_u \quad (3)$$

nihai taşıma kapasitesine kadar yükselmesine müsaade edilir. R derinliğinde bir tekerlek izi oluşarak agrega-geotekstil ara yüzeyi trampren şeklini alır, ve deforme olur. Bu deformasyon nedeni ile geotekstilde çekme gerilmeleri oluşur. Şekilde görülen F çekme kuvvetinin yukarı doğru bir



Şekil 2. Geotekstilli Durum (1), (2), (6)

P_1 bileşeni oluşur. P_0 a benzer olan P_2 değeri aşağı doğrudur. Bileşke basıncı ise $P_2 - P_1$ olur. Böylece geotekstil ayırtman olarak etki ettiği gibi temel zeminine gelen basıncı da azaltmış olur. Tekerlek izinin oluşumuna izin verildiği için elastik taşıma gücü de artarak

$$P_2 - P_1 = (\pi + 2) C_u \quad (4)$$

değerine ulaşır.

K : Geotekstilin deformasyon modülü

ϵ : Geotekstilin deformasyonu

λ : Tekerlek izi derinliği ve dingil geometrisinin bir fonksiyonu

olmak üzere

$$P_1 = \epsilon \cdot K \cdot \lambda \quad (5)$$

$$P_2 = \frac{P}{2(B + 2h \tan \alpha)(L + 2h \tan \alpha)} \quad (6)$$

$$P_2 = P_1 + (\pi + 2) C_u \quad (7)$$

dur. Yukarıdaki denklemlerin çözümü ile elde edilen h değeri azalmış agrega kalınlığıdır ki bu durumda geotekstil kullanılarak agrega kalınlığında

$$\Delta h = h_0 - h \quad (8)$$

kadar bir kazanım söz konusu olmaktadır. (1)

2.2. DİNAMİK DURUMDA PROJELENDİRME

Yukarıda açıklanan iki çözüm statik durum içindir. Gerçekte trafik dinamik bir yükür ve statik yöntemde tekerlek geçiş sayısı dikkate alınmaz. Yine Giroud ve Noiray'ın elde ettikleri amprık bir denklemle donatısız olarak oluşturulan bir yolda trafik yükü de dikkate alınarak gerekli olan h'_0 agrega kalınlığı şu şekilde hesaplanabilmektedir. (1)

$$h'_0 = \frac{119 \log N + 471 \log P - 279 R - 2283}{(C_u)^{0.63}} \quad (9)$$

Burada :

N : Trafik yükü

R : İz derinliği

C_u : Drenajsız kayma mukavemeti

P : Dingil ağırlığı - dır.

Elde sadece temel taban zemini CBR değerleri mevcutsa

$$C_u \approx 23 \times \text{CBR (\%)} \text{ kN/m}^2 \quad (10)$$

ilişkisinden yararlanarak C_u hesaplanabilir (2). Dinamik trafik etkisini dikkate alan direkt bir metod olmadığından statik analiz ile elde edilen kazanımın değişmediği kabul edilir. Donatı kullanılan bir yolda da gerekli agrega kalınlığı

$$H' = H_0 - \Delta H$$

(11)

olarak hesaplanabilir.

3. PROJELENDİRME YÖNTEMİ VE UYGULAMASI

Projelendirme için Şekil 3 ve Şekil 4 kullanılacaktır. Yatay ekseninde C_u (kpa) düşeyde ise ΔH veya H_0 elde edilmekte olup seçilen geotekstilin modülüne göre K değeri, ayrıca trafik yükü de dikkate alınmaktadır. Tekerlek izi derinliği ve dingil ağırlıkları da şekillerde belirlenmiştir (2).

3.1. UYGULAMA 1

Trafik yükü 1000 olan bir kır yolu orta büyüklükte damperli kamyon için projelendirilecek olup, tekerlek izi derinliği 300 mm. ve $C_u = 20$ kpa iken geotekstilsiz (donatısız) olarak gereken agrega kalınlığı nedir? $K = 400$ kN/m olan bir geotekstil kullanılıncaya agrega kalınlığı ne kadar azalacaktır?

Çözüm :

Şekil 4 kullanılarak (Tekerlek izi = 300 mm) $C_u = 20$ kpa değeri seçilerek $N = 1000$ eğrisi ile kesiştirilir ve B noktası elde edilir. B den çizilen yatay, düşey eksen 0.7 m de keser. Yani $H'_0 = 700$ mm dir.

400 kN/m. deformasyon modülüne sahip olan bir geotekstil kullanılıncaya $C_u = 20$ kpa dan çizilen düşey hat $K = 400$ eğrisini A da keser. Buradan çizilen yatay doğruya göre $H_0 = 0.26$ m dir. $K = 400$ kN/m değeri için geotekstilin deformasyonu da $\epsilon = \%8$ seçilmiştir. (Kesik çizgi) K değerinin deformasyona göre değişimi de aşağıdaki çizelgede belirli tür bir geotekstil için verilmektedir. Bu değerler kontrol edilerek uygun bir geotekstil ve deformasyon seviyesi seçilmelidir.

Örnek olmak üzere Amoco türü bir geotekstilin çeşitli türlerinin deformasyon yüzdesine bağlı olan sekant veya deformasyon modülü şu şekilde, verilmektedir (3).

Geotekstil kalınlaşıp sağlamlaştıkça bu modül büyümektedir. Yukarıda da ifade edildiği gibi geotekstilin modülü bir sekant modülü olarak ifade edilir. ϵ_x deformasyonuna karşı T_x yükü mevcutsa ;

$$K = \frac{T_x}{\epsilon_x} \text{ kN/m} \quad (12)$$

Çizelge 1. Amoco Grade geotekstilin deformasyon-rijitlik ilişkisi

Amoco Grade	K (kN/m) Deformasyon modülü						
	(ε) Deformasyon %						
	2	4	6	8	10	12	14
6050	225	175	154	152	140	135	128
6060	275	225	208	194	185	179	170
6062	325	300	275	256	254	237	220
6064	750	600	550	530	480	450	400

olarak ifade edilir. Gerçekte yük-deformasyon karakteristiği lineer olmayıp non lineerdir ve küçük deformasyonlar için K büyük, büyük deformasyonlar için ise küçüktür. Hiçbir durumda kırılma (kopma) yüke veya kopma deformasyonuna ulaşılmamalıdır (4).

Yukarıdaki problemde elde edilen 0.26 m değeri K = 400 kN/m rijitliğindeki geotekstili kullanarak elde edilen geri kazanımdır. Daha az rigid bir geotekstille, kazanım daha az olur. Örneğin K = 100 kN/m için H = 0.16 m ye düşmektedir.

Çizelgeye göre Amoco Grade 6064 %8 de formasyona göre seçilince K = 530 kN/m olmaktadır. Bu değer gerekli olan 400 kN/m den fazladır. Yine çizelgeye göre % 14 den fazla deformasyonda yırtılma oluşur.

4. GENEL PROJELENDİRME YÖNTEMİ

Şekil 3 ve 4 de verilen projelendirme eğrileri dingil ağırlıklarının özel değerleri içindir. İhtiyaca kâfi gelmediğinden trafik yükünün her durumdaki değerini bulabilmek için Şekil 5 de verildiği gibi standart 8000 kg lık dingil ağırlıkları esas alınır. Herhangi bir ağırlık ve trafik yükü için trafik yükü

$$N' = N \left(\frac{P}{P_s} \right)^4 \quad (13)$$

şeklinde hesaplara dahil edilir. $P_s = 8000 \text{ kg}$ 'dır.

4.1. UYGULAMA 2

İki dingili 8500'er kg ağırlığında diğeri 6000 kg olan ve $K = 400 \text{ kN/m}$ lik bir geotekstille kuvvetlendirilen yolda gerekli olan agrega kalınlığını saptayınız. $C_u = 30 \text{ kpa}$. maksimum tekerlek izi 300 mm ve $N = 2000$ tekerlek yükü (trafik) dikkate alınacaktır.

Çözüm

Toplam eşdeğer trafik yükü, $P_s = 8000 \text{ kg}$ değeri F: [13] de kullanılarak

$$N' = 2000 \times \left(\frac{8500}{8000}\right)^4 + 2000 \times \left(\frac{8500}{8000}\right)^4 + 2000 \left(\frac{6000}{8000}\right)^4$$

$$N' = 2549 + 2549 + 632$$

$$N' = 5730$$

elde edilir. Şekil 5.b ye $C_u = 30 \text{ kpa}$ değeri ile girilerek $N' = 5730$ için D noktası bulunur. D den çizilen yatay çizgi ile ordinattan $\Delta H(:H'_0) = 600 \text{ mm}$ elde edilir. Benzer şekilde $C_u = 30 \text{ kpa}$ lık düşey hatla $K = 400 \text{ kN/m}$ lik eğriden C noktası elde edilir. Bu noktanın yatay uzantısı ile $\Delta H = 230 \text{ mm}$ değeri hesaplanmaktadır.

Bu nedenle gerekli agrega kalınlığı $H_0 - \Delta H = 600 - 230 = 370 \text{ mm}$ olur. ($\epsilon \leq \%10$ olması gerektiği hatırlanmalıdır) Çizelge 1'e göre Amoco 6064 uygundur.

5. EKONOMİ

Geotekstil kullanılması ile elde edilen ekonomi daha çok yerel şartlara bağlıdır. Gerekli mahalle yakın agrega mevcut mudur? İşçilik maliyeti yüksek veya düşük müdür? Hangi cins ekipman bulunabilir?

Geotekstil kullanımı ile sağlanacak DİREKT KAZANIMLAR'a ait birkaç örnek şunlardır :

- i. İhtiyaç duyulan agreganın kalitesindeki azalış
- ii. İhtiyaç duyulan agreganın miktarındaki azalış
- iii. Kazı ve dolgu yerleştirme maliyetlerindeki azalış
- iv. Bazı inşaat malzemelerindeki toplam azalış.

İNDİREKT KAZANIM ÖRNEKLERİ, ise :

- i. Azalan bakım ile artan yol ömrü
- ii. İnşaat hızının ve çalışılabilir zamanın artması
- iii. Kötü hava koşullarında bile çalışılabilmesi
- iv. Azalan ekipman bakımı ve daha kaliteli yol nedeniyle daha uzun ömürlü ekipman elde edilmesi.

- v. Konstrüksiyon malzemelerinin ve tekniklerinin artan kalite kontrolleri
- vi. Toplam inşaat süresinin azalması
- vii. Maliyet azalması ve hızlandırılan imalatla ilgili olarak kazanılan zamanın parasal değeri

Yerel şartlara bağlı olarak direkt veya indirekt kazanımlar daha az veya daha çok önemli olabilir. Örneğin işçilik ücretlerinin düşük olduğu bir yerde işçilikten yapılacak geri kazanımlar önemli olmayabilir (2), (3), (4).

UYGULAMA 3

"Tipik 2 şeritli kaplamasız bir yol yumuşak bir temel zemini üzerine, agrega ve geotekstil kullanılarak inşa edilecektir. Geotekstil kullanımı ile her km de elde edilebilecek geri kazanımın hesaplanması istenmektedir".

Proje verileri :

Yol, 8000 kg lık standard dingil yükünün 10 000 eşdeğer geçiş trafik yüküne göre projelendirilecek olup yolun ömrü 10 yıl, alt temel zemininin drenajsız kayma mukavemeti $C_u = 20$ kpa ve tekerlek izi maksimum derinliği 300 mm olarak dikkate alınacaktır.

Çözüm :

Şekil 5.b den geotekstilsiz agrega kalınlığı 84 cm olarak hesaplanmıştır. (E noktası) $K = 400$ kN/m olan bir geotekstil kullanılarak agregadan 30 cm kazanıldığı görülmektedir. (F noktası) Yerleştirilecek agrega $84 - 30 = 54$ cm olup %8-9 deformasyon için Amoco 6064 geotekstilde $K = 500$ kN/m olduğu Çizelge 1 de verilmektedir.

Yol genişliği :

Geotekstilsiz 8 m
Geotekstilli 9^x m dir.

5.1. TOPLAM MALİYETİN HESAPLANMASI

i. Geotekstil Maliyeti :

Amoco 6064 : DM $2.50/m^2$ alınarak
. $2,50 \times 9 \times 1000 = DM. 22\,500/km$.

x Şartnamelere göre 1 m içeriden trafik yüküne müsaade edilir.

xx Yaklaşık olarak alındı. Büyük rakamlar yerine DM kullanıldı.

ii. Yerindeki agregası maliyeti : DM 20/m³

Geotekstilsiz :

$$. 0.84 \times 8 \times 1000 \times 20 = \text{DM } 134\,000$$

Geotekstilli :

$$. 0.54 \times 8 \times 1000 \times 20 = \text{DM } 86\,400$$

$$\text{Agregadaki kazanım : DM } 47\,600 / \text{km}$$

Bu durumda direkt kazanım "agrega maliyeti-geotekstil maliyeti" olur, yani :

$$\text{Direkt Kazanım : } 47\,600 - 22\,500 = \text{DM } 25\,100 / \text{km}$$

İNDİREKT KAZANIMLAR :

Bu konuda bazı maddelerde tartışma olabileceği için sadece daha dikkati çeken faktörler dikkate alınmıştır.

Yolun ömrü 10 yıl olarak gözönüne alınmıştır ve bakım dönemlerindeki agregası giderleri eşit kabul edilmiştir. Bakım programı her iki durum için şu şekildedir :

i. Geotekstilsiz yapılan yolda 10 cm agregası 2 yılda bir yenilenmektedir.

ii. Geotekstilli yapılan yolda 10 cm agregası 5 yılda bir yenilenmektedir. ve

Geotekstilsiz yolda maliyet :

$$5 \times 20 \times 0.10 \times 1000 = \text{DM } 80\,000 / \text{km}$$

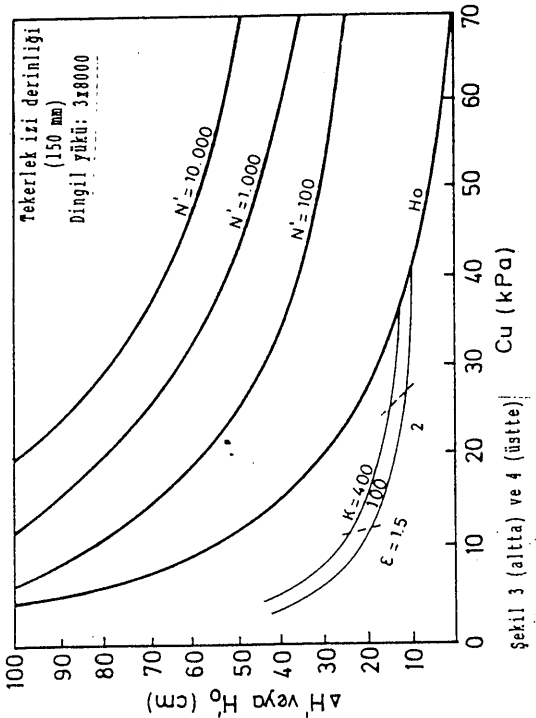
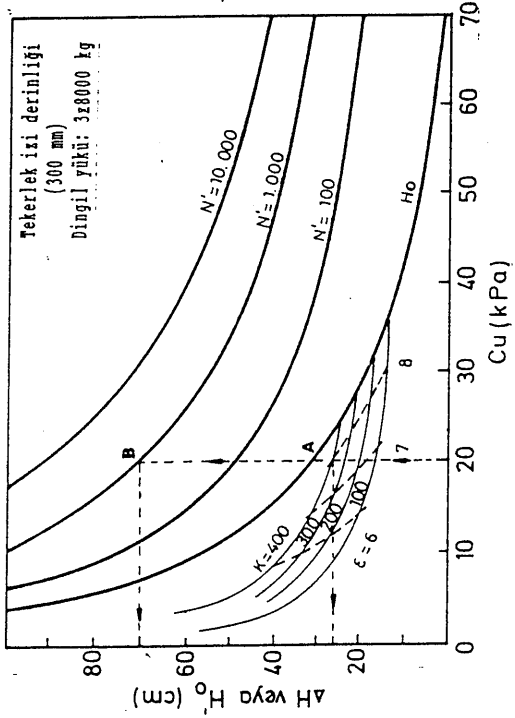
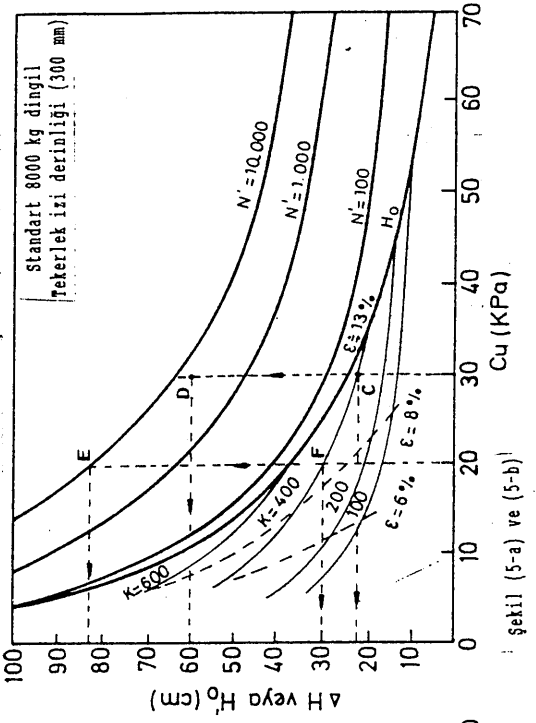
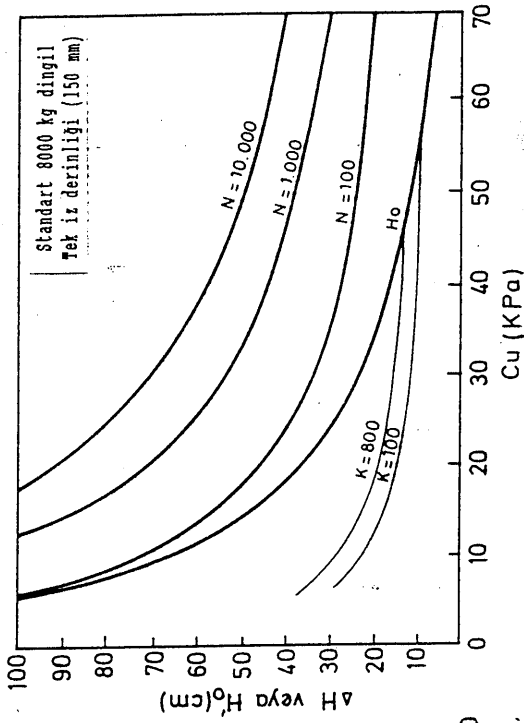
Geotekstilli yolda maliyet :

$$1 \times 20 \times 0.10 \times 8 \times 1000 = \text{DM } 16\,000 / \text{km}$$

$$\text{Toplam kazanım : DM } 64\,000 / \text{km}$$

Ayrıca yukarıda belirtilmiş olan indirekt kazanımlardan (ii + iii) dikkate alınmıştır. iv. de de kazanım vardır. ve dikkate alınmamıştır. v: sıfır alınmıştır.

10 yıllık süre dikkate alınarak direkt kazanımların faiz gelirleri yıllık faiz % 60 alınsa



şekil 3 (altta) ve 4 (üstte)

$$(1.60)^{10} \times \text{DM } 25\,100 - 25\,100 = 2\,484\,900 \text{ DM/km}$$

$$\text{Toplam indirekt kazanımlar ise} = 2\,548\,900 \text{ DM/km}$$

$$\text{Toplam direkt kazanımlar ise} = 25\,100$$

$$\text{Netice direkt kazanım} : 2\,575\,000 \text{ DM/km}$$

6. SONUÇ

Bu basit örnekten görülmektedir ki indirekt kazanımlar en önemli kazançtır. Bu nedenle direkt kazanımların olmadığı zamanlarda bile indirekt kazanımlar önemli mertebede olabilir. Bu nedenle yolun ekonomik ömrü boyunca bir kâr-maliyet analizi yapılmalıdır. Tüm masraflar bugüne indirgenerek maliyet mukayese edilmelidir. Faiz oranının çok küçük olduğu batı ülkelerinde bile aynı yolla önemli geri kazanımlar hesaplanmaktadır ve geotekstilli yollar tercih edilmektedir. Ülkemizde de artık üretimi yapılan bu ürünlere unutmamalıdır ki talep oldukça üretim artacak ve birim maliyetler azalacaktır. Bu uygulamada uygun olarak projelendirilmiş geotekstil ile önemli geri kazanımların elde edileceği görülmektedir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- 1- Giroud J.P. and Noiray L, 1981: "Geotekstile reinforced unpaved road design" Jour.of the Geot. Eng. Div. ASCE, Vol. 107 No 6 T 9.
- 2- Richard W. Carriker, "Economic Justification for use of geotextiles in Road Construction", V th. African Highway Conference, 1983.
- 3- Wasti, Y. (1991) "Geotekstillerin Kullanım ve Seçim Esasları". ODTÜ. İnş.Müh.Böl. ANKARA.
- 4- Wasti, Y. (1990) "Karayollarında Geotekstillerin Kullanılması ve Ottoyollarda Bir Uygulama" Zemin Mekaniği ve Temel Müh.3. Ulusal Kongresi Bildirileri Cilt II. s.354-372.
- 5- Autoway Geotextile Woven Fabric Ticari Broşürü, Godfreys of Dundee Ltd Scotland.
- 6- A Geotextiles Design Guide. Don & Low plc. Broşürü Scotland p:5-14.

