

Plentmiks Temel Tabakası Yapımında Krom Pasa Malzemesi Kullanımı ve Ekonomik Analizi

Mehmet Tevfik SEFEROĞLU^{1*}, Elif Nur ACI¹

^{1,2} İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, Türkiye
^{*1} mtseferoglu@gmail.com, ² acinur.elif@gmail.com

(Geliş/Received: 11/11/2024;

Kabul/Accepted: 18/01/2025)

Öz: Bu araştırmanın amacı, Karayolu Teknik Şartnamesi (KTS) standartlarına uygun tasarlanacak olan bir plentmiks temel (PMT) tabakası için Kop Dağı (Bayburt) krom maden sahasında cevher üretim faaliyetleri sonucu ortaya çıkan ve ekonomik değeri bulunmayan atıl durumdaki krom (Cr) pasa malzemesinin belirli oranlarda kullanımının sağlayacağı mali faydaların belirlenmesidir. Pasa karışım oranlarının maliyet analizleri yapılarak bir karayolunun PMT tabakası yapım maliyetleri de dahil olmak üzere krom pasasının temin noktasına olan mesafeye bağlı ekonomiklik değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma neticesinde %100 Cr içerikli karışımın PMT tip-1 tabakalarında kullanımının mümkün olduğu ve %100 doğal agrega (Da) ile tasarlanan tabakaya kıyasla en uzak mesafe için bile %18'in üzerinde mali kazanç sağladığı belirlenmiştir. Cr pasa malzemelerinin, PMT tip-1 tabakaları için Da yerine alternatif olabileceği ve çevresel faydaların yanısıra tatmin edici ölçüde ekonomik fayda da sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Plentmiks temel tabakası, krom pasa malzemesi, maden atığı, geri dönüşüm, maliyet analizi.

Financial Analysis of the Use of Chrome Waste Material in the Construction of Plant mix Base Layer

Abstract: The purpose of this research is to determine the financial benefits of using certain proportions of chrome (Cr) waste material, which is a result of ore production activities in Kop Mountain (Bayburt) chrome mine site and has no economic value, for a plant mix base (PMB) layer to be designed in accordance with the Türkiye Highway Technical Specification standards. Cost analyses of waste mixture ratios were performed, and an economic evaluation was made depending on the distance to the chrome waste supply point, including the PMB layer construction costs of a highway. As a result of the study, it was determined that the use of the mixture with 100% Cr content in PMB type-1 layers is possible and provides a financial gain of over 18% even for the longest distance compared to the layer designed with 100% natural aggregate (NA). It was concluded that Cr waste materials can be an alternative to Da for PMB type-1 layers and that they will provide satisfactory economic benefits in addition to environmental benefits.

Key words: Plant mix base layer, Chrome waste material, mine waste, recycling, cost analysis.

1. Giriş

İnşaat sektörü ihtiyaçlar doğrultusunda sürekli yenilenme ve değişim sürecindedir. Tükenmek üzere olan doğal kaynakların korunması ve artan malzeme maliyetlerinin karşılanabilmesi için yeni yöntem ve kaynakların oluşturulması/geliştirilmesi gerekmektedir. Doğal malzeme kullanım oranlarının azaltılması, doğal kaynakların kontrollü kullanımı, düşük maliyetli ve kaliteli malzeme üretimi gün geçtikçe daha büyük bir zorunluluk haline gelmektedir. Bu nedenle, halihazırdaki hammadde rezervlerinin ve öz kaynakların kontrollü bir şekilde kullanımı önem taşımaktadır. Bu sebeple geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı önem arz etmektedir.

Agrega, karayolu tabakalarının en önemli ve en çok kullanılan malzemesidir. Agreganın yol tabakalarındaki kullanımını doğal agrega rezervlerini azalttığından ve yeni taş ocağı arayışlarına neden olduğundan, geri dönüşüm seçeneğinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu alandaki agrega ihtiyacını karşılamak için krom madenlerinden, cevheri çıkartıldıktan sonra atık durumunda olan krom (Cr) pasasının karayolu üstü yapı tabakasında kullanılması hem ekonomik hem de çevreci bir geri dönüşüm yöntemi olabilir. Bu sayede atık pasalar yeniden değerlendirilerek taş ocaklarından elde edilen doğal agregaya (Da) olan ihtiyaç azalacak ve doğal rezervlerin tükenmemesine katkıda bulunulacaktır.

Son yıllarda tüm Dünya'da olduğu gibi ülkemizde de atıkların inşaat sektöründe agrega olarak kullanılabilirliği ve bunların ekonomik olarak değerlendirilmesine yönelik araştırmalar yapılmakta olup, bu çalışmaların sayısı her geçen gün artmaktadır. Literatür incelendiğinde yapılan çalışmaların yine de yetersiz olduğu

* Sorumlu yazar: mtseferoglu@gmail.com Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-4677-3335 ² 0009-0005-7518-9025

ve genellikle magmatik kayalar [1], kalker kayalar [2] gibi doğal malzemelerin beton agregası olarak kullanılabilirliğini incelemeye yönelik çalışmalar olduğu görülmektedir. Bunun yanısıra uçucu kül, mermer atığı, geri dönüştürülmüş beton atığı (RCA) veya geri dönüştürülmüş asfalt atıklarının (RAP) da yol üst yapısında kullanımı ile ilgili çalışmalar da mevcuttur. Uçucu kül ile zemin stabilizasyonu yapılan bir yol zemininden alınan numunelerin uçucu kül olmayan zemine kıyasla 10 kat daha büyük CBR değeri elde edilmiştir [3]. Başka bir çalışmada belirli oranlarda kireç-bentonit ve çimento-bentonit karışımı kum numunelerine uçucu kül ikame edilerek, köy yolları gibi trafik yoğunluğu az yollarda zemin stabilizasyonu yapılmış, dolgu ve katkı malzemesi olarak uçucu kül kullanılmasının olumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir [4]. Son 10 yılda atık malzemelerin yol üst yapısında ya da betonda kullanılması durumunda ortaya çıkan mali kazanç ve üst yapıdaki mekanik etkileri gözlemleyen çeşitli araştırmalar incelendiğinde; Mermer maden atıklarının yol temel malzemesi olarak kullanılması durumunda Türkiye Karayolu Teknik Şartnamesi (KTŞ) standartlarında belirtilen temel malzemesi kriterlerinin sağlanabildiği [5], kömür madeni atık malzemelerinin yol dolgu malzemesi olarak kullanılabilmesi [6], atık depo sahalarında depolanan mermer atıklarının bitümlü sıcak karışım (BSK) tabakaları için KTŞ standartlarını sağlandığı ve mermer atıklarının agrega olarak kullanılmasının kalker agregaya göre daha ucuz olduğu [7], kurşun-çinko maden pasa atıkları ile hazırlanan betonlarda, karışımlardaki pasa oranının artmasının betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine olumlu katkısı bulunduğu [8], RAP malzemesi, uçucu kül, çimento ve kireç katkı maddesi kullanılarak hazırlanan karışımların yapısal bağlayıcı kapasitesinin yüksek olduğu ve arazide başarılı sonuçlar verdiği [9], bozulmuş haldeki bitümlü sıcak kaplama aşınma tabakasından elde edilen RAP malzemesi ile doğal agrega ve bağlayıcı olarak da çimento kullanılarak plentmiks temel (PMT) tabakası yapımı ve nakliyesinin maliyetinde RAP kullanımının büyük ekonomik kazanç sağladığı [10], mermer madeni pasa atıklarının beton agregası olarak kullanılması halinde karbonat kökenli pasanın beton üretiminde agrega olarak kullanılabilmesi, bu pasa malzemesinin kullanılmasıyla büyük ekonomik kazançlar elde edilebileceği ve bu gibi birçok farklı maden pasa malzemesinin kullanılmasının ekonomik kazançların yanı sıra çevresel faydalar oluşturabileceği sonucuna varılmıştır [11].

Bu çalışmada krom madenlerinde ekonomik değeri olan cevher ayrıştırıldıktan sonra geri kalan atık durumdaki krom pasa malzemelerinin, karayolu PMT tip-1 tabakasında agrega olarak kullanım oranı belirlenmiştir. Belirlenen oranlarda hazırlanan karışımlardan KTŞ standartlarına uygun olanlar için PMT yapım ve malzeme taşıma maliyetleri açısından maliyet analizleri yapılmıştır. Tamamı Da ile yapılacak olan bir PMT tabakasına göre, uygun Cr-Da karışımlarının ekonomiklik oranları belirlenmiştir.

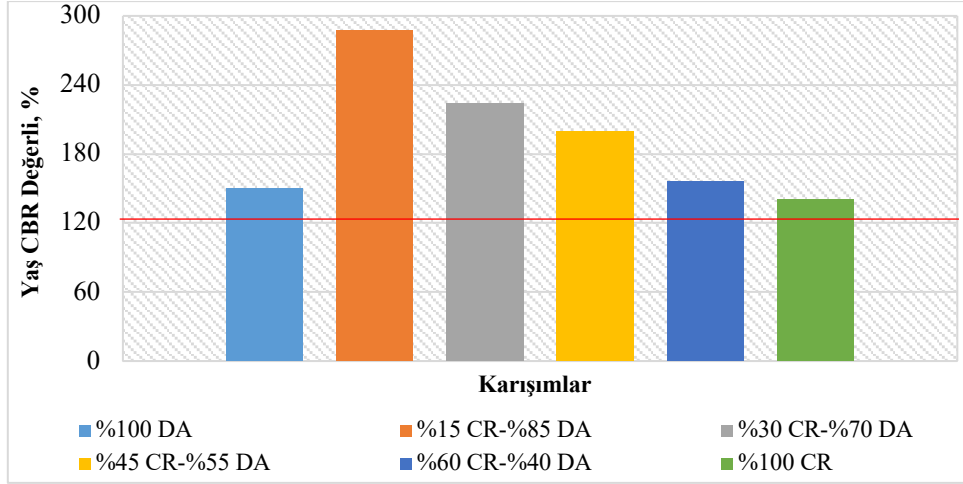
2. Materyal ve Yöntem

Cr pasası ve Da malzemesi çalışmada kullanılan malzemelerdir. Kullanılan doğal agreganın dane boyut içeriği 0-5 mm, 5-12 mm, 12-19 mm'lik gruplardan oluşmaktadır. Cr pasa malzemesi Bayburt Kop Dağı Krom Maden Ocağı'ndan temin edilmiştir. Elde edilen Cr pasası konkasörde kırma işlemine tabi tutularak maksimum dane boyutu 25 mm olacak biçimde ayarlanmıştır. Da yerine Cr ikame edilmesiyle, PMT tabakası tip-1 yapımı için farklı oranlarda karışım numuneleri hazırlanmıştır. Bu karışımlar Tablo 1'de gösterilmekte olup, %100 Da karışımı da kontrol karışımı olarak hazırlanmıştır. KTŞ'nde PMT tip-1 için malzeme kriterleri; belirtilen gradasyon değerleri içerisinde kalması, 0,075 mm'den geçen filler malzeme oranının en fazla %10 olması ve yaş CBR değerinin minimum %120 olmasıdır [12]. Da ve Cr malzemeleri serim alanındaki silolara dane boyutlarına göre ayrı ayrı yerleştirilir. Karışım oranlarına göre hangi dane boyutundan hangi oranda isteniyorsa, istenilen kadar malzeme kayar bantlardan alınıp harmanlanır. Karışımların plente harmanlanacak malzeme dane boyutuna göre oranları Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Karışımların dane boyutlarına bağlı karışım oranları.

Malzeme	Da			Cr
	0-5 mm	5-12 mm	12-19 mm	0-25 mm
Karışım oranları, %				
%100 Da	50	22	28	0
%15 Cr - %85 Da	45	20	20	15
%30 Cr - %70 Da	41	15	14	30
%45 Cr - %55 Da	30	10	15	45
%60 Cr - %40 Da	25	5	10	60
%100 Cr	0	0	0	100

Karışım numuneleri TS 3530 EN 933-1'e [13] göre elek analizi testine tabi tutulmuştur. Hazırlanan Cr-Da karışımlarına uygulanan elek analizi testi sonucu elde edilen gradasyon eğrileri KTŞ standartlarının PMT tip-1 için belirtilen limitler arasında kalmıştır. Ayrıca 0,075 mm'den küçük filler içeriği de %6 olarak belirlenmiş olup, en yüksek limit olarak belirtilen %10 kriterini sağlamaktadır. AASHTO T 193'e [14] göre yapılan yaş CBR testi sonuçlarına göre %100 Da ve Cr içeren karışımların tamamında KTŞ [12] minimum yaş CBR değeri olan %120 değerinin sağlandığı görülmekte olup krom pasasının karışımdaki oranı arttıkça CBR değerlerinde lineere yakın bir azalma olmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Karışımların yaş CBR test sonuçları.

3. Maliyet Analizi

Da ile Cr pasası karışımlarından oluşturulan PMT tip-1 tabakası yapımı için maliyet hesaplamalarını oluşturan giderler; malzemelerin maliyetleri, bu malzemelerin nakliye maliyetleri ve PMT tabakası yapım maliyetidir. Çalışmada kullanılacak olan Cr pasasının malzeme maliyeti, Cr bir atık olması ve kullanımı için bir bedel ödenmemesi sebebiyle malzeme maliyeti hesaplamalarına katılmamıştır.

Da malzemesi de Cr malzemesi de siloya karışımların hazırlanması için taşınmaktadır. Dolayısıyla malzemelerin, getirildikleri uzaklığa bağlı olarak bir siloya taşıma maliyeti mevcuttur. Doğal agreganın temin edildiği taş ocağı ile silo arasındaki mesafe 150 m olarak hesaplara katılmıştır. Cr pasasının her halükârda pasa atığının madenden uzaklaştırılıp atık depolama alanına götürülmesi için bir taşıma maliyetinin oluşacağı, serim alanına taşınmasının ilave bir maliyet oluşturmayacağı kabulüyle hesaplamalara katılmamıştır. Hazırlanan karışımların siloda harmanlanıp serim yapılacak çalışma sahasına taşınma maliyetlerinin, taşınan karışımın ne olduğu fark etmeksizin mesafenin aynı olması nedeniyle maliyet hesabına katılmamıştır. Malzeme nakliye maliyetlerinde yalnızca Cr pasasının maden alanından siloya olan taşıma maliyeti hesaplanmıştır. Maliyet analizi yapılacak olan PMT tip-1 tabakasının boyutlarının genişlik×uzunluk×kalınlık ölçülerinin sırasıyla 8 m×1.000 m×0,2 m olduğu kabul edilmiştir.

3.1. Da'nın Taş Ocağından Konkasöre Taşınma Maliyeti

Taş ocağından temini sağlanan Da, konkasör yardımıyla belirlenen dane boyutlarında kırılıp, ayrılarak depolanmak üzere serim sahasındaki silolara getirilir. Da malzemesinin, taş ocağından konkasöre taşıma maliyeti; taşıma uzunluğunun 150 m geçmemesi durumunda PMT tabakasının yapımı için gerekli birim fiyat kalemine dâhildir. Karayolları Genel Müdürlüğü'nün (KGM) KGM/6100/3 pozuna [15] göre (elenmiş ve kırılmış taşıyla) PMT tabakası yapımında ocak ile konkasör arasındaki uzaklığın 150-10.000 m arasında olması veya 10.000 m'nin üzerinde olması durumlarında kazıdan farklı malzemelerinin taşınması için kullanılan iki poz numarası vardır. Bu pozlar Tablo 2'de verilmektedir [16,17]. Denklemlerdeki F taşıma maliyet tutarı (TL/ton), M ortalama taşıma uzaklığı (m), K motorlu araçlara ait taşıma katsayısı ve A zorluk katsayısıdır.

Tablo 2. Kazıdan farklı malzemelerinin taşınmasında kullanılan pozlar.

Poz No	Tanımı	
KGM 07.005/K	Kazıdan başka inşaat malzemesinin taşınması ≤ 10.000 m	$F = A \times 1,25 \times K^* \times 0,00017 \times \sqrt{M}$
	M	Ortalama taşıma mesafesi, m
KGM 07.006/K	Kazıdan başka inşaat malzemesinin taşınması > 10.000 m	$F = A \times 1,25 \times K \times (0,0007 \times M + 0,01)$
	M	Ortalama taşıma mesafesi, km
Her iki poz için	F	Tutar, TL
	K	Motorlu araçlara ait taşıma katsayısı
	A	Zorluk katsayısı
*K= 1.400 olup rayiç cetvelinde belirtilen (Poz 02.017) "Her cins ve tonajda motorlu araca ait" taşıma katsayısıdır.		

Kötü iklim koşulları gibi etkenler sebebiyle zor şartlarda yapılacak taşımalarda, işin özelliklerine göre, keşif yapılırken veya ihaleden önce idarecilerce onaylanmak kaydıyla belirlenen zorluk katsayısı, 1 (dahil) - 3 (dahil) arasında bir değerdir. Herhangi bir olumsuz durum olmayan koşullarda yapılacak taşımalarda bu katsayı, yine ilk keşif sırasında veya ihaleden önce 1'den küçük bir katsayı olarak kabul edilebilir. İlk keşif sırasında veya ihaleden önce bu katsayısının değeri tespit edilmemiş ise 1 olarak alınır [16]. Bu çalışmadaki hesaplamalarda A, 1 olarak kabul edilmiştir.

3.2. PMT Tabakası Yapım Maliyetleri

Elenmiş veya kırılmış ocak taşıyla PMT tabakası yapımında; malzeme, araç ve işçilik için KGM tarafından belirlenen ton (t) başına birim fiyatlar Tablo 3'te verilen KGM/6100/3 pozunda gösterilmektedir. Taş ocağı-konkasör arası 150 m'den fazla taşıma mesafesi, Da ve Cr pasasının plent sahasına, suyun işbaşına ve plente, karışımların serim noktasına nakliye tutarları birim fiyatlar haricindedir [15].

Tablo 3. PMT yapımı için kullanılan KGM/6100/3 pozu [15].

Rayiç No	Açıklama	2024 Birim Fiyat, TL/t
KGM/4103	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 19 mm (3/4") ve 12,5 mm (1/2") lik agrega hazırlanması	244,38
KGM/4105	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 12,5 mm (1/2") ve 9,5 mm (3/8") lik agrega hazırlanması	264,59
KGM/4107	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 4,75 mm (No.4) ve daha küçük agrega hazırlanması	280,74
KGM/4465/3	Plentmiks alttemel ve temel karışımı hazırlanması	52,81
KGM/4269	Malzemenin kantar ile tartılması	0,48
KGM/4466/5	Plentmiks temel ve alttemel karışımlarının elektronik duyarlı finişer ile serilmesi ve silindire sıkıştırılması	126,09
KGM/15.047	Arazöz ile sulama	104,79
Agrega ocağı ile konkasör arası mesafe 150 m'ye kadar taşınması fiyata dâhildir.		

Bu çalışmada teşkil edilecek PMT tip-1 tabakasının boyutları, AASHTO T 180 [18]'e göre gerçekleştirilen modifiye proktor testi ile belirlenmiş olan maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{maks}) değerleri ve gerekli olan toplam malzeme ağırlıkları Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. PMT tabaka yapımında kullanılacak toplam malzeme ağırlıkları.

Malzeme	Genişlik, m	Uzunluk, m	Kalınlık, m	γ_{maks} , t/m ³	Toplam malzeme ağırlığı, t
%100 Da	8	1.000	0,20	2,24	3.584,00
%15 Cr - %85 Da				2,252	3.603,20
%30 Cr - %70 Da				2,259	3.614,40
%45 Cr - %55 Da				2,268	3.628,80
%60 Cr - %40 Da				2,205	3.528,00
%100 Cr				2,069	3.310,40

3.3. Krom Pasa Malzemesi Siloya Taşıma Maliyetleri

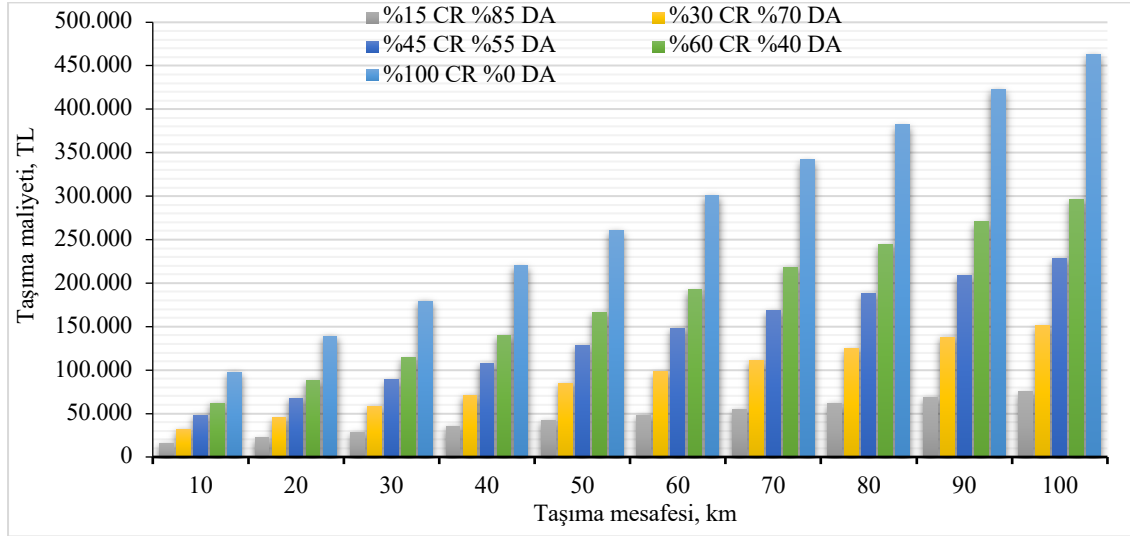
Cr pasasının maden ocağından silolara nakliye maliyeti Tablo 2’de verilen denklemler yardımıyla hesaplamalara dahil edilmiştir. Krom maden ocağının siloya olan uzaklığının 10.000 m’den fazla olduğu kabulüyle 07.006/K poz numarasından faydalanarak hesap yapılmıştır. Hazırlanan tüm karışımlar için Cr pasa malzemesinin siloya taşıma maliyetleri mesafeye bağlı olarak hesaplanarak Tablo 5’te gösterilmektedir.

Tablo 5. Cr pasa malzemelerinin farklı mesafelere bağlı olarak siloya taşınma maliyetleri.

Karışımlar	%100 Cr	%15 Cr - %85 Da	%30 Cr - %70 Da	%45 Cr - %55 Da	%60 Cr - %40 Da
Cr ağırlığı, t	3.310,40	540,48	1.084,32	1.632,96	2.116,8
Taşıma mesafesi, km	Cr pasa malzemesi taşıma maliyetleri (maden sahasından siloya, TL)				
10	98.484,40	16.079,28	32.258,52	48.580,56	62.974,80
20	139.036,80	22.700,16	45.541,44	68.584,32	88.905,60
30	179.589,20	29.321,04	58.824,36	88.588,08	114.836,40
40	220.141,60	35.941,92	72.107,28	108.591,84	140.767,20
50	260.694,00	42.562,80	85.390,20	128.595,60	166.698,00
60	301.246,40	49.183,68	98.673,12	148.599,36	192.628,80
70	341.798,80	55.804,56	111.956,04	168.603,12	218.559,60
80	382.351,20	62.425,44	125.238,96	188.606,88	244.490,40
90	422.903,60	69.046,32	138.521,88	208.610,64	270.421,20
100	463.456,00	75.667,20	151.804,80	228.614,40	296.352,00

Karışımlardaki Cr malzemesinin, temin edildiği maden ile silo arasındaki mesafenin 10-100 km arasında olmasından doğacak toplam siloya taşıma maliyetleri Şekil 2’de grafiksel olarak gösterilmektedir.

Karışımlardaki Cr oranı arttıkça malzemenin serim yapılacak alandaki silolara taşıma maliyeti de doğrusal olarak artmaktadır. Karışımda %100 Cr kullanılması durumunda 100 km uzaklığa taşınma maliyeti, %15 Cr içerikli karışımın taşınma maliyetinin yaklaşık 6 katıdır. Yapılan maliyet hesaplarında ilgili denklemlerde kullanılan A zorluk katsayısı 1 olarak kabul edilmiştir. Arazi ve iklim koşullarının da az zorlayıcı olması durumunda A, 1’den daha düşük olabilecek ve bu şekilde taşıma maliyeti de düşebilecektir.



Şekil 2. Karışımlardaki Cr pasasının farklı mesafelere göre siloya taşınma maliyetleri.

3.4. Karışımlardan PMT Yapım Maliyetleri

Geleneksel olarak %100 Da ile yapılacak bir PMT tabakası için KGM/6100/3 pozuna göre hesaplanan yapım maliyeti Tablo 6'da gösterilmektedir. Taş ocağı ile konkasör arasındaki uzaklığın 150 m'yi geçmediği kabul edilmiştir. Dolayısıyla taş ocağı ile konkasör arasındaki taşıma maliyetinin temel tabakası yapım maliyetine dahil edilmiştir. Bu maliyetlere, malzemelerin konkasörden serim yapılacak alana taşıma maliyeti dahil değildir. 1 km uzunluğunda bir yol için PMT tabakası yapımında kullanılacak %100 Da ağırlığı 3.584 t olarak belirlenmiştir.

Tablo 6. %100 Da malzemesi ile PMT yapım maliyeti.

Poz No	Tanımı	Kullanım Oranı, %	Miktar, t	2024 Birim Fiyat, TL	Tutar, TL
KGM/4103	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 19 mm (3/4") ve 12,5 mm (1/2") lik agregaların hazırlanması	28	1.003,52	244,38	245.240,22
KGM/4105	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 12.5 mm ve 4,75 mm. (No.4) lik agregaların hazırlanması	22	788,48	264,59	208.623,92
KGM/4107	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 4,75 mm (No.4) ve daha küçük agregaların hazırlanması	50	1.792,00	280,74	503.086,08
KGM/4465/3	Plentmiks alttemel ve temel karışımı hazırlanması	-	3.584,00	52,81	189.271,04
KGM/4269	Malzemenin kantar ile tartılması	-	3.584,00	0,48	1.720,32
KGM/4466/5	Plentmiks alttemel ve temel karışımlarının elektronik duyarlı fişerle serilmesi ve sıkıştırılması	-	3.584,00	126,09	451.906,56
KGM/15.047	Arazöz ile sulama	-	3.584,00	104,79	375.567,36
Agrega ocağı ile konkasör arası 150 m mesafeye kadar taşınması fiyata dâhil				Toplam	1.975.415,50

Tablo 7’de %15 Cr - %85 Da karışımı için, PMT yapım maliyeti ve maden-serim alanı arasındaki uzaklığın 50 km olması durumuna göre KGM 07.006/K denklemi kullanılarak madenden serim alanına taşıma maliyeti hesap örneği gösterilmektedir. Krom için 0-25 mm malzeme hazırlanması pozu bulunmadığı için Özel poz/1 olarak isimlendirilmiş, atık sahasından ücretsiz temin edildiği için malzeme birim fiyatı kullanılmamıştır.

Tablo 7. %15 Cr - %85 Da karışımından yapılan PMT tabakası yapım ve nakliye maliyeti hesabı.

Poz No	Tanımı	Kullanım Oranı, %	Miktar, t	2024 Birim Fiyat, TL	Tutar, TL
KGM/4103	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 19 mm (3/4”) ve 12,5 mm (1/2”) lik agregası hazırlanması	20	720,64	244,38	176.110,00
KGM/4105	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 12,5 mm (1/2”) ve 9,5 mm (3/8”) lik agregası hazırlanması	20	720,64	264,59	190.674,14
KGM/4107	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 4,75 mm (No.4) ve daha küçük agregası hazırlanması	45	1621,44	280,74	455.203,06
KGM/4465/3	Plentmiks alttemel ve temel karışımı hazırlanması	-	3.603,20	52,81	190.284,99
Özel Poz/1	Krom pasasından 0-25 mm’lik agregası malzemesi hazırlanması	15	540,48	0	0
KGM/4269	Malzemenin kantar ile tartılması	-	3.603,20	0,48	1.729,54
KGM/4466/5	Plentmiks alttemel ve temel karışımlarının elektronik duyarlı fişerle serilmesi ve silindire sıkıştırılması	-	3.603,20	126,09	454.327,49
KGM/15.047	Arazöz ile sulama	-	3.603,20	104,79	377.579,33
KGM 07.006/K	Kazıdan başka inşaat malzemesinin taşınması >10.000 m (Cr nakliyesi)	$F = A \times 1,25 \times K \times (0,0007 \times M + 0,01)$		283.752,00	
		A	1		
		K	1.400		
		M, km	50		
			Miktar, t	3.603,20	
Toplam					2.129.660,54

Hazırlanan karışımlar KTS’nde PMT tabakası için gereken kriterleri sağlamıştır. Da’nın temin edildiği taş ocağının siloya 150 m’den yakın olduğu, dolayısıyla da PMT yapım maliyetine dahil olduğu kabul edilmiştir. Tüm karışımlar için PMT yapım maliyetleri ve Cr malzemesinin siloya taşınma maliyetleri toplamı 10-100 km aralığındaki mesafeler için ayrı ayrı hesaplanmış olup Tablo 8’de gösterilmektedir.

Karışımlardaki Cr oranı arttıkça malzemenin serim yapılacak alandaki silolara taşıma maliyeti de doğrusal olarak artmaktadır. Karışımda %100 Cr kullanılması durumunda 100 km uzaklığa taşınma maliyeti, %15 Cr içerikli karışımın taşınma maliyetinin yaklaşık 6 katıdır. Yapılan maliyet hesaplarında ilgili denklemlerde kullanılan A zorluk katsayısı 1 olarak kabul edilmiştir. Arazi ve iklim koşullarının da az zorlayıcı olması durumunda A, 1’den daha düşük olabilecek ve bu şekilde taşıma maliyeti de düşebilecektir.

Karışımlardaki Cr oranı arttıkça malzemenin serim yapılacak alandaki silolara taşıma maliyeti de doğrusal olarak artmaktadır. Karışımda %100 Cr kullanılması durumunda 100 km uzaklığa taşınma maliyeti, %15 Cr içerikli karışımın taşınma maliyetinin yaklaşık 6 katıdır. Yapılan maliyet hesaplarında ilgili denklemlerde kullanılan A zorluk katsayısı 1 olarak kabul edilmiştir. Arazi ve iklim koşullarının da az zorlayıcı olması durumunda A, 1’den daha düşük olabilecek ve bu şekilde taşıma maliyeti de düşebilecektir.

Tablo 8’de belirtilen %100 Da ile yapılacak PMT tabakası için konkasörden-serim yapılacak alandaki siloya uzaklığın 150 m geçmemesi durumunda toplam maliyet yaklaşık olarak 1.975.415,50 TL olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi %100 Cr karışımı için, temel tabakası yapım maliyeti tamamı %100 Da’dan yapılacak bir temel tabakasına kıyasla 10-100 km arasındaki tüm mesafelerde daha ekonomik olmaktadır.

PMT tabakasının %100 Da yerine, Cr pasası karışımlarının kullanılması durumunda elde edilecek toplam kâr-zarar karşılaştırılmıştır. Krom pasasının madenden, serim alanındaki siloya olan mesafesinin 100 km uzaklıkta olması durumu hesaplanıp Tablo 9'da gösterilmektedir.

Tablo 8. PMT yapımı dahil Cr pasa atık malzemesinin siloya taşınma maliyeti.

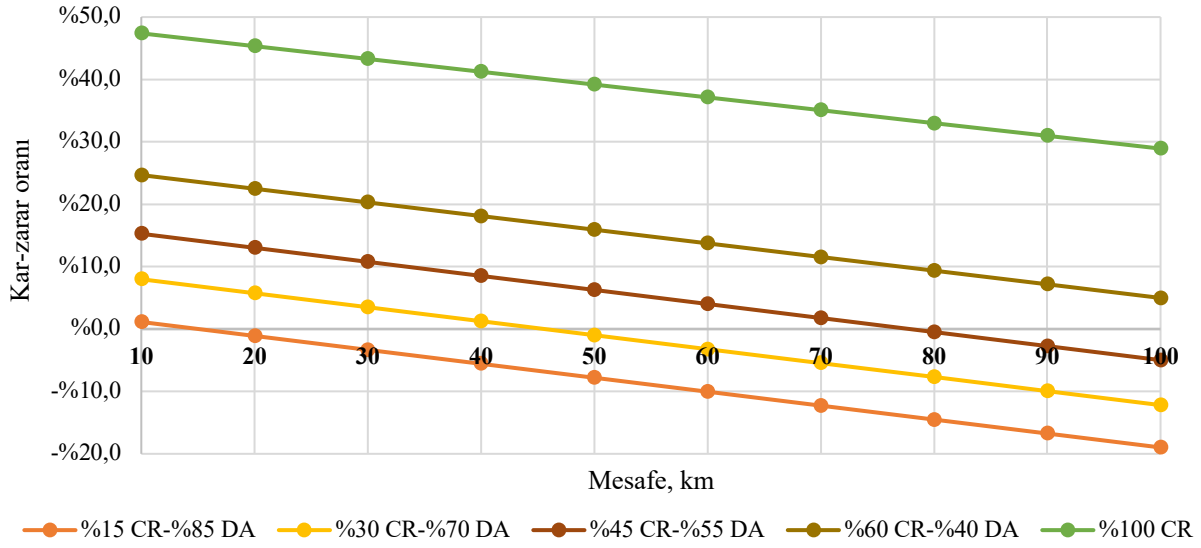
Karışımlar	%15 Cr-%85 Da	%30 Cr-%70 Da	%45 Cr-%55 Da	%60 Cr-%40 Da	%100 Cr	%100 Da
Ağırlık, t	3.603,20	3.614,40	3.628,80	3.508,00	3.310,40	3.584,00
Taşıma mesafe, km	Tutar (Malzeme taşıma maliyeti dahil PMT yapım maliyeti, TL)					
10	1.953.103,74	1.817.772,48	1.673.813,02	1.488.013,40	1.039.200,77	1.975.415,50
20	1.997.242,94	1.862.048,88	1.718.265,82	1.531.231,4	1.079.753,17	
30	2.041.382,14	1.906.325,28	1.762.718,62	1.574.449,4	1.120.305,57	
40	2.085.521,34	1.950.601,68	1.807.171,42	1.617.667,4	1.160.857,97	
50	2.129.660,54	1.994.878,08	1.851.624,22	1.660.885,4	1.201.410,37	
60	2.173.799,74	2.039.154,48	1.896.077,02	1.704.103,4	1.241.962,77	
70	2.217.938,94	2.083.430,88	1.940.529,82	1.747.321,4	1.282.515,17	
80	2.262.078,14	2.127.101,28	1.984.982,62	1.790.539,4	1.323.619,57	
90	2.306.217,34	2.171.983,68	2.029.435,42	1.833.757,4	1.363.619,97	
100	2.350.356,54	2.216.260,08	2.073.888,22	1.876.975,4	1.404.172,37	

Tablo 9. Karışımlardan sağlanan kar-zarar oranları (maden-silo arası mesafe 100 km için).

Karışım	Tutar, TL/km	Kâr (+) / Zarar (-) Miktarı, TL	Kâr oranı, %
%100 Da	1.975.415,50	0	0
%15 Cr - %85 Da	2.350.356,54	-374.941,04	0
%30 Cr - %70 Da	2.216.260,08	-240.844,58	0
%45 Cr - %55 Da	2.073.888,22	-98.472,72	0
%60 Cr - %40 Da	1.876.975,4	+98.440,1	4,98
%100 Cr	1.404.172,37	+571.243,13	28,92

Hazırlanan tüm karışımlar için tamamı %100 Da ile yapılacak bir geleneksel PMT tip-1 tabakasına kıyasla, Cr kullanımından sağlanacak kar ve zarar miktarlarının Cr malzemesinin temin edildiği noktadan serim alanındaki siloya olan mesafesine bağlı değişimleri Şekil 3'te grafik şeklinde gösterilmektedir.

Karışımlardaki Cr içeriği arttıkça, geleneksel olarak %100 Da ile yapılan PMT tabakasına kıyasla, sağlanan kar oranı artmaktadır. %100 Cr karışımının ile en yüksek kar oranları elde edilmiştir. %100 Cr ve %60 Cr içerikli karışımlar 10-100 km mesafe için de %100 Da ile yapılacak temel tabakasından daha karlı olmaktadır. En düşük Cr içerikli karışım olan %15 Cr karışımı ise yaklaşık 15 km uzaklıktan temin edilmesi durumunda kar sağlamaktadır. Özellikle, Cr pasa malzemesinin temin edildiği noktanın serim alanına yakın olması durumunda elde edilen karın belirgin şekilde arttığı görülmüştür. Örneğin bu taşıma mesafesinin 100 km olması durumunda %100 Cr'den sağlanacak kar oranı %28,92 iken, 10 km olması durumunda %47,4 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. Tüm karışımların %100 Da'dan yapılacak PMT tabakasına kıyasla kar-zarar oranları.

Hesaplamalarda pasa malzemesinin maden noktasından temin edildiği kabul edilerek taşıma maliyetleri hesaplanmıştır. Fakat Cr madeni işlenip cevheri alındıktan sonra pasa malzemesi olarak atık depo alanlarına taşınmaktadır. Bu durumda Cr paşasının bir taşıma maliyeti olmaktadır. Dolayısıyla bu hesaplamalardaki Cr paşası için maden-serim alanı arasındaki taşıma bedelinden maden-atık sahası taşıma bedelini çıkartarak daha ekonomik bir hesaplama yapmak mümkündür. Cr pasasından yapılacak bir PMT tabakası ile ekonomik getirinin yanısıra, hem depolama alanındaki atık birikimi azaltılmış, hem de daha az Da malzemesi kullanılarak daha çevreci bir tasarım yapılmış olacaktır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, %100 Da malzemesi ile yapılan PMT tip-1 tabakasında Da yerine Cr pasa malzemesinin kullanılması durumunda sağlanacak ekonomik kar-zarar durumu için maliyet analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır:

Kullanılan Cr pasa atık malzemesinin ve Da ile olan karışımlarının No. 200 elek altında kalan malzeme (filler) oranı %6 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç KTŞ PMT tip-1 tabakası için üst limit olan %10 oranı koşulunu sağlamaktadır.

Karışımlardaki γ_{maks} değeri %45 Cr kullanımına kadar artmış, daha yüksek Cr kullanılması durumunda azalmıştır. En yüksek CBR değeri %15 Cr - %85 Da oranında karıştırılan numuneden elde edilirken, karışımdaki Cr oranının artması CBR değerinin lineere yakın olarak azalmasına sebep olmuştur. KTŞ tarafından kullanılma olanağına sahip temel tabakası için yeterli görülen minimum CBR değeri (%120) koşulu tüm Cr içeren karışımlarda sağlanmıştır. Krom pasa malzemesi karışımlarının tamamında yaş CBR şişme yüzdesi %0 olarak belirlenmiş olup, bu değer numunenin şişmesinin olmadığı sonucunu ortaya koymuştur.

Cr pasasının %100 Da yerine ikame edildiğinde ekonomik kazanımlar sağladığı belirlenmiştir. Karışımlardaki Cr oranı arttıkça serim yapılacak alana olan Cr malzemesi taşıma maliyeti de artmaktadır. Karışımda %15 Cr kullanılması durumunda 100 km uzaklığa nakliye ücreti %100 Cr karışımının nakliye maliyetinin 1/6'i kadardır.

1 km uzunluğunda 8 m genişliğinde 0,20 m kalınlığındaki bir temel tabakası için %100 Da ile serimi yapılan PMT tip-1 tabakası yapım maliyeti (taş ocaklarından kırılıp serim alanına taşıma mesafesi hariç) yaklaşık 1.975.415,50 TL olarak tespit edilmiştir. Bu maliyet referans alındığı takdirde, en büyük kâr oranı, malzeme maliyeti olmamasından dolayı %100 Cr karışımından elde edilmektedir.

Cr malzemesinin temin noktası ile serim yeri arasındaki mesafe arttıkça malzeme taşıma maliyetleri arttığı için kar azalmıştır. Fakat, bu mesafenin 100 km olması durumunda bile %100 Cr ve %60 Cr-%40 Da karışımları, %100 Da ile yapılacak bir PMT tabakasından daha ekonomik olmaktadır.

%15 Cr-%85 Da karışımıyla yapılacak bir PMT tabakasının yaklaşık 15 km'lik bir taşıma mesafesi söz konusu olması durumuna kadar ekonomiktir. Ama daha uzak mesafelerde zarar ettirmektedir. Öyle ki 100 km mesafede %100 Da'ya kıyasla yaklaşık %19 zarar ettirdiği görülmektedir.

Teşekkür

Bu araştırma, Gümüşhane Üniversitesi GÜBAP2904:Madencilik İhtisaslaşma Destek Programı tarafından 23.F5110.04.01 nolu proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Özdemir MÜ. Gümüşhane Yöresi magmatik kayaların beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, Türkiye, 2014.
- [2] Köse MD. Gümüşhane Yöresi kalker örneğinin ince öğütülmüş agrega olarak beton bileşiminde kullanılabilirliği, taze betonun kıvamına ve beton basınç dayanımına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, Türkiye, 2011.
- [3] Şenol A, Edil TB. Uçucu kül ile stabilize edilen yumuşak zeminlerin CBR sonuçlarının değerlendirilmesi. Zemin Mekanikliği ve Temel Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, Eylül 2004, İTÜ, Türkiye.
- [4] Özbayoğlu F, Gürel A, Aydın E. Termik santral desülfajıplarının değerlendirilmesi. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Bildiriler Kitabı, 1997, 145-157.
- [5] Yakşe G, Ural N. Atık mermer parçalarının yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2015; 2(2): 53-61.
- [6] Amrani M, Taha Y, el Haloui Y, Benzaazoua M, Hakkou R. Sustainable reuse of coal mine waste: Experimental and economic assessments for embankments and pavement layer applications in Morocco. Minerals 2020; 10(10): 851.
- [7] Okubay M. Bitümlü sıcak karışımlarda agrega olarak mermer atığı kullanımının araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye, 2016.
- [8] Çullu M. Kurşun-çinko maden artığı kayalarla üretilen betonların mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması. Politeknik Dergisi 2018; 21(2): 427-435.
- [9] Ganne VK. Long-term durability studies on chemically treated reclaimed asphalt pavement (RAP) materials. MSc, University of Texas, Arlington, 2009.
- [10] Seferoğlu AG, Seferoğlu MT, Akpınar MV. Türkiye'de geri dönüşüm asfalt kaplamaların (RAP) bağlayıcısız temel tabakalarında kullanılabilirliği ve şartname gereksinimleri. Yapı Dünyası Dergisi 2017; 254: 21-26.
- [11] Ceylan H, Mança S. Mermer parça atıklarının beton agregası olarak değerlendirilmesi. Teknik Bilimler Dergisi 2013; 3(2): 21-25.
- [12] Türkiye Karayolu Teknik Şartnamesi. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 2013.
- [13] TS 3530 EN 933-1: Agregaların geometrik özellikleri için deneyler Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini-eleme metodu, Türk Standartları Enstitüsü (TSE). Ankara, 2015.
- [14] AASHTO T 193. Standard method of test for the California bearing ratio. The American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DC, 2013.
- [15] <http://www.birimfiyat.net/kgm-6100-3-plent-miks-temel-yapilmasi-kirilmis-ve-elenmis-ocak-tasi-ile>. 2024.
- [16] <http://www.birimfiyat.net/07.005-k-kazidan-baska-insaat-malzemesinin-tasinmasi-10-000-m.ye-kadar>. 2024.
- [17] <https://www.birimfiyat.net/07.006-k-kazidan-baska-ins.malzemesinin-tasinmasi-10000-mt>
- [18] AASHTO T 180. Standard method of test for moisture-density relations of soils using a 4.54 kg rammer and a 457 mm drop. The American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DC, 2017.