

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ASFALT KARIŞIM BAKIM MALZEMESİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN
KATKI MADDESİNİN FARKLI ORANLARI İÇİN KARIŞIM
PARAMETRELERİNİN İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Esra Didem BAŞKAN

EYLÜL 2024

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ASFALT KARIŞIM BAKIM MALZEMESİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN
KATKI MADDESİNİN FARKLI ORANLARI İÇİN KARIŞIM
PARAMETRELERİNİN İRDELENMESİ**

Esra Didem BAŞKAN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 / 08 / 2024

Tezin Savunma Tarihi : 03 / 09 / 2024

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Atakan AKSOY

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

Bu Çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Yüksek Lisans eğitimim boyunca bana her zaman vaktini ayırıp yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Sayın Danışman Hocam Prof. Dr. Atakan AKSOY'a ve Değerli Hocam Prof. Dr. Erol İSKENDER'e tüm içtenliğimle teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Tüm hayatım boyunca bana daima destek olan, aldığım her kararda yanımda olup desteklerini esirgemeyen ve bana her zaman güvenen özellikle yüksek lisans yapmam konusunda beni teşvik eden Babam Mustafa Zeki TATARİ'ye ve beni her alanda destekleyen, fikirlerine güvendiğim Sevgili Eşim Mesut BAŞKAN'a sonsuz teşekkürlerimi ve minnettarlığımı sunarım.

Esra Didem BAŞKAN

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Asfalt Karışım Bakım Malzemesi Üretiminde Kullanılan Katkı Maddesinin Farklı Oranları İçin Karışım Parametrelerinin İrdelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar Danışmanım Prof. Dr. Atakan AKSOY’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 03/09/2024

Esra Didem BAŞKAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2
1.3. Esnek Yol Üst Yapılarındaki Fiziksel Bozulmalar	2
1.4. Esnek Yol Üstyapılarındaki Fiziksel Bozulmaların Nedenleri	11
1.5. Esnek Yol Üstyapı Kaplamalarındaki Hasar Onarımları	12
1.6. Yama İşlemi Performans ve Maliyeti.....	15
1.7. Yama Türleri	17
1.8. Genel Yama Sorunları	23
1.9. Soğuk Yama Karışımlarından Beklenen Özellikler	24
1.10. Yama Malzemesinin Seçilmesi	26
1.11. Yüzey Düzeltme	27
1.12. Kaplama Asfalt Tabakasının Kaybı	27
1.13. Trafikten Dolayı Fazla Sıkışma Gerçekleşmesi	27
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	28
3. BULGULAR.....	36
3.1. Agregaların Kullanım Oranları, Dizayn Gradasyonu, Tolerans Limitleri	36
3.2. Agregave Bitüm Deneylerinin Sonuçları	37
3.3. Karışımın Deney Sonuçları	38
3.4. Deneyde Kullanılacak Yama Malzemesinin Üretiminin Yapılması	41
3.5. Numunelerin Ön Koşullandırılması	51

3.6. Briketlerin İndirekt Çekme Mukavemet (İÇM) Değerlerinin Tespit Edilmesi.....	53
3.7. Koşulsuz Grup İndirekt Çekme Mukavemet Hesabı.....	57
3.8. Koşullandırma Grupların İndirekt Çekme Mukavemeti Hesabı	59
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
5. KAYNAKÇA.....	68
ÖZGEÇMİŞ.....	71



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ASFALT KARIŞIM BAKIM MALZEMESİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN KATKI MADDESİNİN FARKLI ORANLARI İÇİN KARIŞIM PARAMETRELERİNİN İRDELENMESİ

Esra Didem BAŞKAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Atakan AKSOY
2024, 70 Sayfa

Bu tez çalışmasında, soğuk yama katkı maddelerinin bitüm karışımlarının performansına etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın amacı, farklı katkı oranları ve bitüm miktarları ile hazırlanan bitüm karışımlarının indirekt çekme mukavemetlerini incelemek ve katkı maddesinin bitüm karışımındaki etkilerini belirlemektir. Araştırma kapsamında, altı farklı bitüm karışımı hazırlanmış ve her bir karışımda bitüm ve agregası sıcaklıkları, bitüm miktarı ve katkı oranları değiştirilmiştir.

Sonuç olarak, katkı maddesi oranı ve bitüm miktarının yanı sıra, katkı maddelerinin uygun işleme koşullarının bitüm karışımlarının performansını iyileştirmek için kritik olduğu vurgulanmıştır. Çok yüksek bir su hasarı düzeyi uygulanmasına karşın, bitüm varlığının azaltılması ile birlikte oransal İÇM değerlerinin kabul kriterlerini sağlayabileceği yorumlanmaktadır. Ancak unutulmaması gereken en önemli konu kullanılacak katkının sahada kullanılacağı agregaya, bitüme, dizayn koşullarına, karışım granülometrisine sıkı sıkıya bağlı olduğudur. Katkıların etkinliği ve başarımlı derecesi proje bazlı olarak malzeme bazlı değerlendirmeden kullanılması doğru değildir. Bu koşullar altında yama malzemesi olarak bile olsa seçilen hasar koşullaması ele alındığında başarımlı sonuçların alınabileceği görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bitüm Karışımları, Soğuk Yama Katkı Maddesi, İndirekt Çekme Mukavemet Hesabı, Performans Analizi

Master Thesis

SUMMARY

EVALUATION OF MIXING PARAMETERS FOR DIFFERENT RATIOS OF ADDITIVES USED IN ASPHALT MIXTURE MAINTENANCE MATERIAL PRODUCTION

Esra Didem BAŞKAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Atakan AKSOY
2024, 70 Pages

In this thesis, the effects of cold patch additives on the performance of bitumen mixtures were investigated. The aim of the study was to examine the indirect tensile strengths of bitumen mixtures prepared with different additive ratios and bitumen amounts and to determine the effects of the additive on the bitumen mixture. Within the scope of the research, six different bitumen mixtures were prepared and bitumen and aggregate temperatures, bitumen amount and additive ratios were changed in each mixture. As a result, it was emphasized that in addition to the additive ratio and bitumen amount, appropriate processing conditions of the additives are critical for improving the performance of bitumen mixtures. Despite the application of a very high water damage level, it is interpreted that proportional ICM values can meet the acceptance criteria with the reduction of bitumen presence. However, the most important issue that should not be forgotten is that the additive to be used is strictly dependent on the aggregate, bitumen, design conditions and mixture granulometry to be used in the field condition. It is not correct to use the effectiveness and performance level of the additives on a project basis without evaluating the material. Under these conditions, it is seen that successful results can be obtained when the selected damage conditioning is considered as patch material.

Key Words: Bitumen Mixtures, Cold Patch Additives, Indirect Tensile Strength Calculation, Performance Analysis.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Yorulma Çatlağı (KGM, 2023).	4
Şekil 2. Çukur (URL-6., 2024).	5
Şekil 3. Yamalar (URL-2., 2024).	5
Şekil 4. Kayma Deformasyonu (KGM, 2023).	6
Şekil 5. Tekerlek İzi (Erdoğan, 2024).	6
Şekil 6. Blok Çatlaklar (URL-3., 2024).	7
Şekil 7. Termal Çatlaklar (Canestrari & Ingrassia, 2020).	7
Şekil 8. Ek Yeri Çatlağı (KGM, 2023).	8
Şekil 9. Yansıma Çatlağı (URL-7., 2024).	8
Şekil 10. Kenar Çatlağı (Kanburoğlu, 2024).	9
Şekil 11. Kusma Terleme (URL-5., 2024).	9
Şekil 12. Soyulma ve Sökülme (KGM, 2023).	10
Şekil 13. Cilalanma (KGM, 2023).	10
Şekil 14. Tipik Yama Ömrü -Oran Eğrisi (State of California Department, 2007).	16
Şekil 15. At Sıkıştır Yama Örneğinin Zamanla Bozulma Performansı (Dong, Huang, & Jia, 2014).	17
Şekil 16. Yarı Kalıcı Yama Örneğinin Zamanla Bozulma Performansı (Dong, Huang, & Jia, 2014).	17
Şekil 17. At Sıkıştır Yama Örneği (Wang, ve diğerleri, 2022).	18
Şekil 18. Çukur Alanı ve Onarım İçin Düzenlenmiş Çukur (State of California Department, 2007).	20
Şekil 19. Yapışkan Tabaka Uygulanması ve Sıkıştırma İşleminin Yapılması (State of California Department, 2007).	20
Şekil 20. Yama İşlemi Tamamlanmış Yüzey (3-6 Mm) (State of California Department, 2007).	20
Şekil 21. Alan Hazırlığı ve Yapışkan Tabaka Uygulanması	21
Şekil 22. Hazırlanan Çukurun Doldurulması ve Kenarların Mühürlenmesi (State of California Department, 2007).	22
Şekil 23. Asfalt çimentosu (URL-1., 2024).	28
Şekil 24. Agregalı malzemesi (URL-4., 2024)	29
Şekil 25. Bitüm Yüzdesi-Pratik Yoğunluk (Dp) Eğrisi	39
Şekil 26. Bitüm Yüzdesi- Stabilite Eğrisi	39

Şekil 27. Bitüm Yüzdesi - Akma Eğrisi	40
Şekil 28. Bitüm Yüzdesi - Asfaltla Dolu Boşluk (Vf) Eğrisi	40
Şekil 29. Bitüm Yüzdesi - Agregalar Arası Boşluk (VMA) Eğrisi	41
Şekil 30. Mezra Taş Ocağı Konkasör Görüntüsü	41
Şekil 31. Elekten Geçirilen Malzemenin Tepsilenmesi	42
Şekil 32. Agregaların 1100 Gramlık Briketler İçin Hazırlanması.....	43
Şekil 33. Etüvde 24 Saat Kurumaya Bırakılan Numuneler	43
Şekil 34. Agregaların İstenen Sıcaklıklarda Etüvde Bekletilmesi.....	45
Şekil 35. Bitümün İstenen Sıcaklıklarda Etüvde Bekletilmesi.....	45
Şekil 36. Numunelerin Tartılarak Karıştırılacağı Düzenek	46
Şekil 37. Katkı Maddesinin Şırınga Yardımıyla Karışıma Eklenmesi.....	46
Şekil 38. Briket Hazırlığı İçin Karıştırma İşleminin Yapılması.....	47
Şekil 39. Karışımı Tamamlanmış Olan Numune.....	47
Şekil 40. Numunelerin Kalıplara Konması.....	48
Şekil 41. Briket Sıkıştırma Makinesi.....	48
Şekil 42. Hazırlanan Kalıpların Sıkıştırma Makinesine Yerleştirilmesi	49
Şekil 43. Sıkıştırma İşlemi Tamamlanan Briket.....	49
Şekil 44. Kriko Makinesi.....	50
Şekil 45. Numaralandırılan ve 24 saat sonunda Kalıptan Çıkartılan Briketler	50
Şekil 46. Gruplandırılan Briketler	51
Şekil 47. Vakumlama ve Suda Bekletme	52
Şekil 48. Briketlerin Koşullandırma İçin Hazırlanması	52
Şekil 49. Numunelerin 25 °C Su Banyosunda Bekletilmesi (KGM, 2012).	53
Şekil 50. Yük Değerinin Tespit Edilmesi.....	53
Şekil 51. Briketlerin İÇM Değerlerinin Karşılaştırılması Grafiği.....	64
Şekil 52. İndirekt Çekme Mukavemeti Değişim Grafiği.....	65

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Soğuk yama malzemelerinde yaşanan sorunlar ve sıkıntı mekanizmaları	23
Tablo 2. Soğuk yama katkı maddeleri analiz sonuçları.....	26
Tablo 3. Dane boyutu dağılımı	30
Tablo 4.Kaba agrega özellikleri	31
Tablo 5. İnce Agrega ve mineral filler özellikleri	31
Tablo 6. Mineral filler gradasyon limitleri	32
Tablo 7. Bitümlü bağlayıcı özellikleri (B50/70)	32
Tablo 8. Soğuk asfalt katkı özellikleri.....	34
Tablo 9. Bakım malzemesi dizayn kriterleri	34
Tablo 10. Soğuk asfalt katkılı bakım malzemesi dizayn kriterleri	35
Tablo 11. Elek analizi deney sonuçları.....	36
Tablo 12. Agrega deney sonuçları	37
Tablo 13.Soğuk yama katkı maddesi özellikleri	38
Tablo 14. Optimum bitüme göre dizayn sonuçları	38
Tablo 15. 36 Briket İçin Gerekli Olan Agrega Miktarının Bulunması.....	42
Tablo 16. Karışım dizayn oranları.....	44
Tablo 17. Karışım dizayn parametreleri	55
Tablo 18. 1.karışım hesap sonuçları	55
Tablo 19. 2. Karışım hesap sonuçları	55
Tablo 20. 3. Karışım hesap sonuçları	56
Tablo 21. 4. Karışım hesap sonuçları	56
Tablo 22. 5. Karışım hesap sonuçları	56
Tablo 23. 6.Karışım hesap sonuçları	57
Tablo 24. Kuru grup 1. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu	57
Tablo 25. Kuru grup 2. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu	58
Tablo 26. Kuru grup 3. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu	58
Tablo 27. Kuru grup 4. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu	58
Tablo 28. Kuru grup 5. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu	59
Tablo 29. Kuru grup 6. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu	59
Tablo 30. Koşullandırılmış grup 1. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu.....	61
Tablo 31. Koşullandırılmış grup 2. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu.....	61

Tablo 32. Koşullandırılmış grup 3. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu.....	62
Tablo 33. Koşullandırılmış grup 4. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu.....	62
Tablo 34. Koşullandırılmış grup 5. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu.....	63
Tablo 35. Koşullandırılmış grup 6. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu.....	63
Tablo 36. Karışımların İÇM değerlerinin oransal karşılaştırılması.....	64
Tablo 37. Karışımların indirekt çekme mukavemeti sonuçları	65



SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BSK	: Bitümlü Sıcak Karışım
$\dot{I}ÇM$	: İndirekt Çekme Mukavemeti
D_p	: Pratik Yoğunluk
V_f	: Asfaltla Dolu Boşluk
VMA	: Agregalar Arası Boşluk
D	: Briket Çapı
t	: Briket Yüksekliği
t^l	: Koşullandırma Sonrası Briket Yüksekliği
A	: Briket Havadaki Ağırlığı
B	: Briket Doygun Yüzey Kuru Ağırlığı
B^l	: Koşullandırma Sonrası Briket Doygun Yüzey Kuru Ağırlığı
C	: Briketin Sudaki Ağırlığı
V	: Briket Hacmi
J^l	: Koşullandırma Sonrası Briket Hacmi
Dp	: Briket Hacim Özgül Ağırlığı
Vh	: Briket Hava Boşluğu
Va	: Hava Boşluğu Hacmi
S^l	: Doygunluk Derecesi
S_1	: Kuru Grup İndirekt Çekme Mukavemeti
S_2	: Koşullandırılmış Grup İndirekt Çekme Mukavemeti
P	: Yük
P^l	: Koşullandırma Sonrası Yük

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Ülkemizde en çok kullanılan üstyapı cinsi esnek üstyapılardır. Esnek üstyapı kaplama, temel ve alt temel olmak üzere üç tabakadan oluşmaktadır. Kaplama tabakasında bitüm ve agrega karışımından oluşan bitümlü sıcak karışım (BSK) kullanılır (Saltan & Unsal, 2018). Yüksek standartlı yollarda kaplama tabakası aşınma ve binderden oluşan bitümlü iki tabaka şeklinde yapılmaktadır. Düşük standartlı yollarda ise tek kat veya çift kat sathi kaplama olarak inşa edilmektedir. Bitümlü Sıcak Karışımlar (BSK) asfalt ve agreganın uygun bir ısıya kadar ısıtılıp uygun oranlarda plentte karışımı ile elde edilmekte ve yüksek standartlı esnek kaplamaların üst tabakalarında kullanılmaktadır. BSK'lar genel olarak yüksek standartlı yol üst yapısında Aşınma, Binder ve Bitümlü Temel tabakalarında kullanılmaktadır. Esnek üstyapı tabaka kalınlıkları hesaplamaları için, Karayolları Genel Müdürlüğü 2008'de Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberini yayınlamıştır. Bu rehberde zemin taşıma gücüne, trafik yüküne, bölge ve iklim koşullarına ve üst yapı tabakalarının özelliklerine bağlı olarak esnek üstyapı tabaka kalınlıklarını hesaplanabilmektedir (Barış, 2018).

Esnek kaplamalar, bir veya daha fazla su geçirmez bitümlü yüzey tabakası ile kaplı birkaç kat doğal granüler malzemeden oluşur ve adından da anlaşılacağı gibi esnek kabul edilir. Esnek bir kaplama, bir lastiğin yükü altında esneyecektir (bükülecektir). Esnek bir kaplamanın tasarımında amaç, herhangi bir katmanın aşırı esnemesini önlemektir; bu başarısızlığında bir katmanın aşırı yük altına girmesi ve sonunda hasar almasıyla sonuçlanır. Esnek kaplamalarda yük dağılım deseni bir katmandan diğerine değişir, çünkü her katmanın dayanıklılığı farklıdır. En güçlü malzeme (en az esnek) en üst tabakada bulunurken, en zayıf malzeme (en esnek) en alt tabakada bulunur. Bunun nedeni, yüzeye yakın yerde tekerlek yükünün küçük bir alana uygulanmasıdır, sonuç olarak yüksek gerilme seviyeleri oluşur; kaplamanın daha derinlerine indikçe, tekerlek yükü daha büyük bir alana uygulanır, sonuç olarak stres seviyeleri daha düşük olur ve bu da daha zayıf malzemelerin kullanılmasını mümkün kılar (Sharad.S.Adlinge & A.K.Gupta, 2013).

Esnek üst yapı kaplamalarında hava koşullarında oluşabilecek donma ve çözülme döngüleri, yol yapım çalışmalarındaki eksiklikler veya ihmaller, yapılan dizaynların doğru uygulanamaması ya da malzeme kalitesi ve trafik yüklemesi gibi diğer faktörler zamanla yol yüzeyinde bozulmalara yol açmaktadır. Karşılaşılan bozulmalar kritik hasar türlerini

kapsamaktadır. Nemin yol tabakasına nüfuz etmesi, donması ve daha önceden oluşan çatlakları daha da genişletmesi muhtemeldir. Tüm bu faktörlerin sonucunda yol yüzeyinde çukurlar, çatlaklar ve kopmalar oluşur. Bu durum sürüş kalitesini, güvenliği büyük ölçüde etkiler ve doğru şekilde onarılmazsa asfalt ömrünün kısılmasına neden olabilir (Lu & Hajj, 2021).

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı seçilen bir soğuk yama katkı maddesinin farklı oranlarda bitüm ve agrega sıcaklığına bağlı olarak deney parametrelerinin Marshall dizaynı belli olan bir aşınma tabakası üzerindeki etkisini deneylerle birlikte incelemek ve performansını değerlendirmektir. Soğuk yama katkısı ile hazırlanan farklı parametrelerdeki karışımlar, şartname değerlerinin çok daha üzerindeki bir su hasarına (AASHTO T283 Modifiye Lottman Su Hasarı Koşullaması) uğratarak deneylerin yapılması ile oluşacak durumun incelenmesi amaçlanmıştır.

1.3. Esnek Yol Üst Yapılarındaki Fiziksel Bozulmalar

Bir ülkenin ekonomik seviyesinin sürdürülmesi ve ilerlemesi için işlevsel bir otoyol altyapı ağı çok büyük öneme sahiptir. Ancak, bakım ve onarım faaliyetleri önemli sermaye yatırımı gerektirir. Örneğin, Çin'de 2009-2012 yılları arasındaki ana yol ve kırsal yol bakımına yönelik yıllık ortalama harcama 184,4 milyar yuanı buldu. ABD'de ise federal, eyalet ve yerel hükümetler 2014 yılında otoyol altyapı ağlarının işletilmesi, bakım ve onarımı için 70 milyar dolardan fazla harcama yaptı. Dolayısıyla, sınırlı bakım ve onarım fonları, çeşitli ülkelerdeki otoyol kuruluşları tarafından karşılaşılan önemli zorluklardan biri haline gelmiştir. Sık sık yapılan yol bakım ve onarım faaliyetleri çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir (Chen & Zheng, 2021).

Zamanında onarılmazsa, en yaygın yol bozulmalarından biri olan çukurlar, *domino etkisi* olarak bilinen bir durumu tetikleyebilir. Bu durumda, karşılık gelen bölümde daha geniş bir hasar alanı meydana gelir, trafik güvenliğini ve yol yapısının genel stabilitesini tehlikeye atar. Bir yol bakım biriminde, yollarda açılan çukurların tamiri tipik bir günlük görevdir bu nedenle yol bakım onarım teknolojileri de büyük ilgi görmektedir. Çoğu geleneksel çukur tamir prosedüründe, mükemmel performans ve iyi geliştirilmiş bir hazırlık

sürecine sahip olan sıcak karışım asfalt kullanır. Ancak, sıcak karışım asfaltın uygulanabileceği mevsim ve hava koşullarında bazı kısıtlamalar olduğundan, onarım işinin yağışlı günlerde veya düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Ayrıca, çukurların çoğu küçük alanlarda ve dağınıktır, bu da onarım için sıcak karışım malzemelerinin kullanımının inşaat maliyetini artırır ve ekonomik faydaları azaltır. Bu nedenle, yol çukurlarının genellikle zamanında tamir edilmesi zor olabilir, bu da yol servis ömrünün ciddi bir şekilde kısaltılmasına neden olabilir (Zhang, Zhou, Wu, Zheng, & Zhang, 2023).

BSK kaplamalı yollarda çevresel faktörler ve trafik yüklerine bağlı olarak zamanla çeşitli bozulma türleri ortaya çıkar. Kaplamalarda gözlenen bozulmaların türleri, kaplama ile ilgili sorunlar ve nedenlerine dair önemli ipuçları verir. Bu bakımdan onarım yöntemine karar verilmesinde bozulma bilgileri önemli etkiye sahiptir.

Genellikle bozulmaların oluşmasında birden fazla faktör etkili olmasına karşın her bir bozulmanın birincil etkeni vardır. Örneğin sıcaklık değişimine bağlı gerilmelerin etkisi (termal etki) ile oluşan bir bozulma, kaplama karışımı içerisindeki bitümün zaman içerisinde yaşlanarak sertleşmesi ile ortaya çıkmaya başlar. Karışımda bitüm miktarının az olması veya uygun bitüm kullanılmaması gibi nedenler ilave rol oynayarak kaplamayı bu tür bir bozulmaya karşı daha hassas hale getirir. Bu sebeple onarım projeleri hazırlanırken kaplama üzerindeki bozulma türleri dikkatlice incelenmeli, oluşmasındaki etkenler ve nedenler belirlenmelidir.

Bakım-Onarım projelerinin hazırlanmasında bozulma türlerinin iyi tanınması gerek doğru çözüm önerilerinin belirlenmesi gerekse vaktinden önce gerçekleşen bozulmaların nedenlerinin ortaya konması bakımından son derece önemlidir (Koçak & Haider, 2023).

Yol bozulması, trafik yüklemesi ve çevresel koşulların etkisi altında yolda kusurların meydana geldiği süreçtir. Genellikle asfalt yol yüzey bozulmalarının ana türleri şunlardır (Sharad.S.Adlinge & A.K.Gupta, 2013):

- Yorulma Çatlağı (Timsah Sırtı Çatlak)
- Çukurlar
- Yamalar
- Kayma Deformasyonları
- Tekerlek İzi
- Blok Çatlak
- Enine ve Boyuna Termal Çatlak

- Ek Yeri Çatlağı
- Yansıma Çatlağı
- Kenar Çatlağı
- Kusma (Terleme)
- Soyulma ve Sökölme
- Cilalanma (KGM, 2023).



Şekil 1. Yorulma Çatlağı (KGM, 2023).



Şekil 2. Çukur (URL-6., 2024).



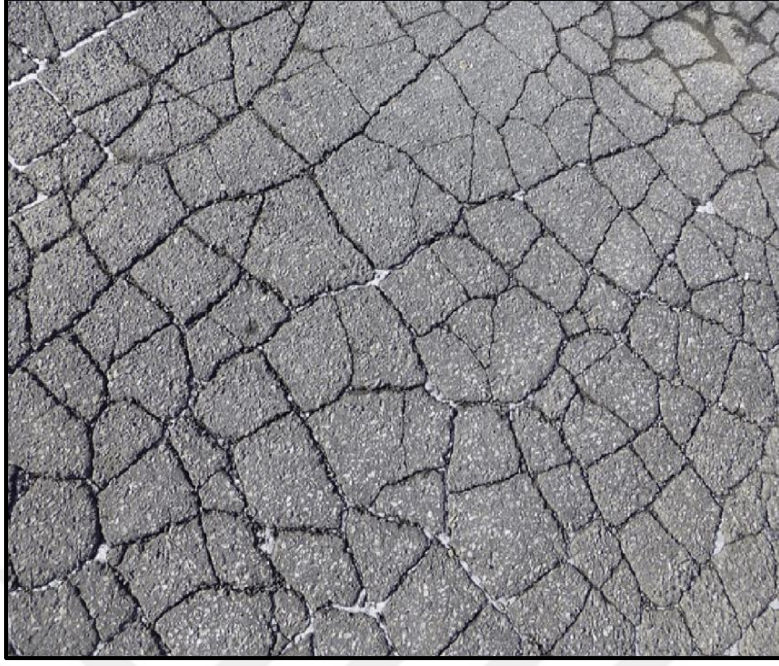
Şekil 3. Yamalar (URL-2., 2024).



Şekil 4. Kayma Deformasyonu (KGM, 2023).



Şekil 5. Tekerlek İzi (Erdoğan, 2024).



Şekil 6. Blok Çatlaklar (URL-3., 2024).



Şekil 7. Termal Çatlaklar (Canestrari & Ingrassia, 2020).



Şekil 8. Ek Yeri Çatlağı (KGM, 2023).



Şekil 9. Yansıma Çatlağı (URL-7., 2024).



Şekil 10. Kenar Çatlağı (Kanburoğlu, 2024).



Şekil 11. Kusma Terleme (URL-5., 2024).



Şekil 12. Soyulma ve Sklme (KGM, 2023).



Şekil 13. Cilalanma (KGM, 2023).

1.4. Esnek Yol Üstyapılarındaki Fiziksel Bozulmaların Nedenleri

Asfalt yollar, diğer altyapı sistemleri gibi zamanla bozulur ve daha iyi, daha rahat ve daha güvenli sürüş imkânı sağlamak için onarımlara ihtiyaç duyar. Ancak, bütçe kısıtlamaları gerekli bakım faaliyetlerinin zamanında gerçekleştirilmesini geciktirir. Bunun yanı sıra, yüksek inşaat maliyetleri ve giderek artan asfalt bağlayıcı maliyetleri, mevcut kaynakların kıtlığı ve finansman eksiklikleri, daha ince yol yapıları inşa edilmesine neden olur ki bu da erken hasarlanmaya yol açar. Bundan dolayı, ilgili kuruluşlar hasarlı yol kesimlerinin büyük onarımları yerine maliyet açısından hasarlı bölgeleri yamalama gibi uygulama yapmak zorundadır. Esnek yol yapısının bozulmasının temel nedeni ne olursa olsun, suyun yol yüzeyindeki varlığı yolun bozulmasında önemli bir rol oynar. Herhangi bir yol sistemine suyun girmesi sonunda yolların erken bozulmasına neden olur (Koçak & Haider, 2023).

Günümüzde, asfalt kaplamalar, dünya genelinde çoğunlukla otoyol kaplamaları, belediye yolları ve havaalanı pistleri için tercih edilen seçenek haline gelmiştir ve beton kaplamaların yerini almıştır. Soğuk bölgelerdeki asfalt kaplamaların en yaygın bozulmalarından biri olan çukurlar, genellikle asfalt yüzeyinde farklı boyutlarda, dik kenarlı çanak şeklinde boşluklar olarak tanımlanabilir. Bir kez çukurlar ortaya çıktığında, zamanında tamir edilmezlerse yüzey katmanından tabaka katmanına kadar ilerleyip yayılabilirler. Çukurların ortaya çıkması ve gelişmesi, trafik güvenliğini büyük ölçüde etkiler, çünkü beklenmedik çarpışmalara ve kazalara neden olabilirler. Ayrıca, seyir halindeki araçlara zarar verebilirler ve dolayısıyla büyük ekonomik kayıplara neden olabilirler. Ayrıca, çukurların varlığı ve buna bağlı kaplama bakım operasyonları, trafik sıkışıklığına neden olabilecek bir tetikleyici olarak da işlev görebilir, bu da kaçınılmaz olarak yakıt tüketimini ve havanın daha da kirlenmesini beraberinde getirir (Wang, ve diğerleri, 2022).

Esnek yol üst yapısındaki fiziksel bozulmaların başlıca nedenleri şunlardır:

1. Yeni yolların tasarımı daha az trafik yüküne dayanarak yapılırken, özellikle yeni yollar üzerinde ani bir trafik yükü artışı çatlakların oluşumunun ana nedenlerinden biridir.
2. Hava koşulları nedeniyle çok soğuk bölgelerde oluşan sıcaklık değişimleri yol yüzeyinde sızma ve çatlamaya neden olur.

3. Zayıf killi alt tabakaların varlığı, yüzeyde kıvrılmalara ve bozulmaların artmasına neden olur.
4. Özellikle yağışlı mevsimlerde kötü drenaj koşulları, suyun yol yüzeyine yandan ve üst yüzeyden girmesine sebep olur. Açık gradasyonlu asfalt tabakada, bu bozulma daha hassas hale gelir ve üst tabaka alt tabakalardan ayrılır.
5. Bitümlü karışımların sıcaklığının düzgün bir şekilde ayarlanmaması da yol bozulmalarına neden olabilir. Bitümün aşırı ısınması, bitümün bağlayıcı özelliğini azaltır. Bitümlü karışımın sıcaklığı düştüğünde sıkıştırma düzgün olmayabilir ve yol yüzeyinde boyuna kıvrılmalar meydana gelebilir (Sharad.S.Adlinge & A.K.Gupta, 2013).

1.5. Esnek Yol Üstyapı Kaplamalarındaki Hasar Onarımları

Esnek yol yapısındaki çukurlar, ağır trafik yükleri uygulandığında oluşan çatlak bölgeler etrafında gelişir. Yüzey çatlaklarının oluşmasını takiben, su yolun içine sızar ve alt tabakaları yavaşça doyurur. Alt tabaka malzemelerinin doygunluğu belirli bir seviyeye ulaştığında, yol yapısı artık uygulanan ağır yükleri kaldıramaz. Bu durum, değişen donma ve çözülme döngülerinin yaşandığı soğuk bölgelerde daha zararlıdır. Su donduğunda, genişler ve zayıflamış yol kesimlerinin daha da gevşemesine neden olacak şekilde tüm yönlerde kuvvetler oluşturur. Hatta yol yüzeyinde kalkmalar bile oluşturabilir. Değişen donma-çözülme döngüleri ve trafik etkisinin birleşik etkisi, çukurların oluşumunun ana nedenidir. Asfalt kaplamalı yollar geniş bir aks yükü spektrumuna maruz kaldığında çukurlar oluşur. Kırsal yollardan otoyollara kadar birçok yol yapısında gözlemlenebilirler. Dolayısıyla, çukur tamir etme, herhangi bir sorumlu kuruluşun başlıca görevlerinden biridir (Koçak & Haider, 2023).

Yama, sıcak karışım asfalt kaplamalarda en pahalı olan bakım işlemlerinden biridir. Genellikle diğer düzeltici bakım formları, yol koruma veya kaplama öncesi ön işlemler için hazırlık amacıyla yapılır. Yama, kaplamanın yüzeyini diğer koruma işlemlerinin başarılı bir şekilde kullanılabileceği bir duruma geri getirir.

Yama işlemlerinin temel yöntemleri, yerel yol bozulmaları veya dağılması nedeniyle kaybolan malzemelerin yerine konması, bozulmuş olan kaplamanın sürekli bölümlerinin tamamen çıkarılması ve yeniden yapılması veya daha fazla yüzeyle ilgili bozulma gösteren bölümlerin üstüne ince bir sıcak karışım asfalt malzemesi tabakasının uygulanmasıdır. Bir

kere yama işlemi yapıldıktan sonra, bozuk bölge onarılmış veya güçlendirilmiş olup yolun artık önemli bir trafik seviyesini taşıyabilir hale gelmesi sağlanır.

Yama işlemi geçici, yarı kalıcı veya kalıcı şeklinde olabilir. Kullanılacak uygun yöntem, trafik seviyesine, onarımın yapıldığı yılın zamanına, planlanmış bakım-onarım için gereken süreye ve ekipman ile personelin durumuna bağlıdır.

Yama,

Son zamanlarda, yama karışımlarını üretmek için kullanılan malzemeler ve yöntemler önemli ölçüde geliştirilmiştir. Son dönemde yapılan iyileştirmeler, piyasada kötü hava koşullarında acil bakım-onarım çalışmaları için kolayca kullanılabilen özel yama karışımlarını ortaya çıkartmıştır. Günümüzde, özellikle, bazı kuruluşların kendi yama karışımlarını üretmelerine izin verilmektedir. Yüksek kaliteli yama karışımları için gerekli özellikler ve parametreler belirlenmektedir. Örneğin, bir yama malzemesi için istenen bazı özellikler şunlardır:

1. Geniş bir sıcaklık aralığı için uygun bir karışım.
2. Kış koşulları da dahil olmak üzere geniş bir sıcaklık aralığında tasarım sıkıştırma yoğunluğuna uygun bir karışım (Koçak & Haider, 2023).

Neredeyse tüm yama malzemeleri, çeşitli bağlayıcılar ve agregaların kombinasyonları olarak görülebilir ve farklı koşullarda çukur tamiri için özel olarak tasarlanmış belirli özelliklere sahiptir. Şu anda, pratik yama malzemeleri, yama malzemelerinin yerleştirilme sırasındaki sıcaklığa göre iki gruba ayrılabilir, yani Sıcak Yama Malzemeleri ve Soğuk Yama Malzemeleri.

Bu iki grup arasındaki ana fark, uygulama sırasında sıcaklık gereksinimlerinde yatmaktadır. Sıcak yama malzemeleri, genellikle 150°C üzerindeki yüksek sıcaklıklarda uygulanır ve kurulum için sıcak karışım asfalt tesisleri veya kızılötesi ısıtıcılar gibi ısıtma ekipmanları gerektirir. Diğer yandan, Soğuk Yama Malzemeleri, ısıtma gerektirmeyen ortam sıcaklıklarında uygulanır ve bu da onları daha soğuk hava koşullarında veya ısıtma ekipmanlarının mevcut olmadığı acil tamirlerde kullanılabilir hale getirir. Her tür yama malzemesinin avantajları ve sınırlamaları vardır ve yama malzemeleri arasındaki seçim, hava koşulları, ekipmanın bulunabilirliği ve bakım-onarım ömrü gibi faktörlere bağlıdır (Wang, ve diğerleri, 2022).

Genel olarak, Sıcak Yama Malzemeleri büyük ve yoğun çukur tamir alanları için daha uygunken, Soğuk Yama Malzemeleri küçük ve dağınık alanlar için daha uygundur. Sıcak Yama Malzemelerinin Soğuk Yama Malzemelerine göre genellikle daha iyi performans göstermesi beklenmesine rağmen, bakım kalitesini sağlamak için kış aylarında kullanılması önerilmez. Bu nedenle, soğuk ve ıslak hava koşullarında, Soğuk Yama Malzemeleri geniş çapta kabul görmüş ve çukur tamiri için tercih edilen bir seçenek haline gelmiştir, çünkü çevresel uyumluluk, bakım-onarım prosedürleri, malzeme depolama ve taşıma konularında büyük avantajlara sahiptirler (Wang, ve diğerleri, 2022).

Yama tamiri, oldukça bozulmuş bir alanın materyalinin ya çıkarılarak/değiştirilerek ya da ek materyal eklenerek onarıldığı bir süreçtir. Bir deliği sadece doldurmak, birçok durumda yamanın yanındaki veya içindeki bozulmanın büyümesini engellemez. Maksimum performans, bozulmuş alanın sınırları uygun şekilde belirlenip kesildiğinde, bozulan materyal çıkarılması, geriye kalan (alttaki) materyalin yeniden sıkıştırılması, deliğin uygun şekilde hazırlanması ve yeni materyal eklenip sıkıştırılmasıyla, yeni bir kaplamaya benzer bir seviyeye ulaşılır.

Çukur yama işlemi için kullanılan temel yöntemler şunlardır:

1. Geçici
2. Yarı Kalıcı
3. Enjeksiyonlu Yama (State of California Department, 2007).

Kazıma İşlemi,

Kazıma işlemi, kaplamanın yerel alanlarda altındaki destek malzemelerinin dağılması, ince taneli malzemelere sızması veya yük taşıma kapasitelerini kaybetmesi gibi durumlarında kullanılır. Tipik yama işleminin aksine, kazıma işlemleri alttaki taban/alt taban malzemelerinin çoğunun (eğer tamamı değilse) çıkarılmasını ve yeniden yapılmasını gerektirir. Bu yöntemin kapsamı nedeniyle, bazen noktasal rekonstrüksiyon olarak da adlandırılmıştır.

Kazıma işlemi ile ilişkilendirilen ana adımlar şunlardır:

1. Sınırların işaretlenmesi ve kesilmesi

2. Kaplamanın yüzeyinin ve etkilenen taban/alt taban katmanlarının parçalanması ve çıkarılması
3. Yeni taban/alt taban katmanlarının yerleştirilmesi ve sıkıştırılması
4. Onarım alanının kenarları boyunca yapışkan kaplamanın uygulanması
5. Yeni asfalt yüzeyinin yerleştirilmesi ve sıkıştırılması

Kazıma işlemi için kullanılan başlıca malzemeler şunlardır:

1. Sıcak karışım asfalt (tercih edilen)
2. Soğuk karışım asfalt (sadece acil durumlarda kullanılır) (State of California Department, 2007).

Kenar Onarımları

Kenar onarımları, trafik etkisi ve suyun varlığı, aşırı büyüme gösteren bitkiler ve trafik veya atmosferden gelen rüzgâr nedeniyle kenar desteğinin kaybı nedeniyle kaplamanın kenarlarında bozulmalar olduğunda kullanılır. Kenar onarımlarında kullanılan başlıca malzemeler ve yöntemler, yama ve kazıma işlemleri ile ilişkilendirilenlerle aynıdır.

Yüzey Yenileme,

Yüzeyin yeniden tesisatı için kullanılan başlıca yöntem, yüzey yama işlemidir. Yüzey yama işlemi kazıma gerektirmez. Tipik olarak, mevcut yüzeye ya ince bir sıcak karışım asfalt tabakası ya da soğuk karışım örtü uygulanabilir veya bir spreyci bağlayıcı tabakası (emülsiyon) uygulanır ve bir agrega tabakası ile kaplanır. Agregası, kullanılan emülsiyonla uyumlu yıkanmış kum veya ince agrega (3 ile 5 mm) olabilir. Sıcak karışım asfalt yüzey yamaları hafif bir el rulosu ile sıkıştırılırken, püskürtme yama işlemi bakım kamyonunun tekerlekleri kullanılarak sıkıştırılır (State of California Department, 2007).

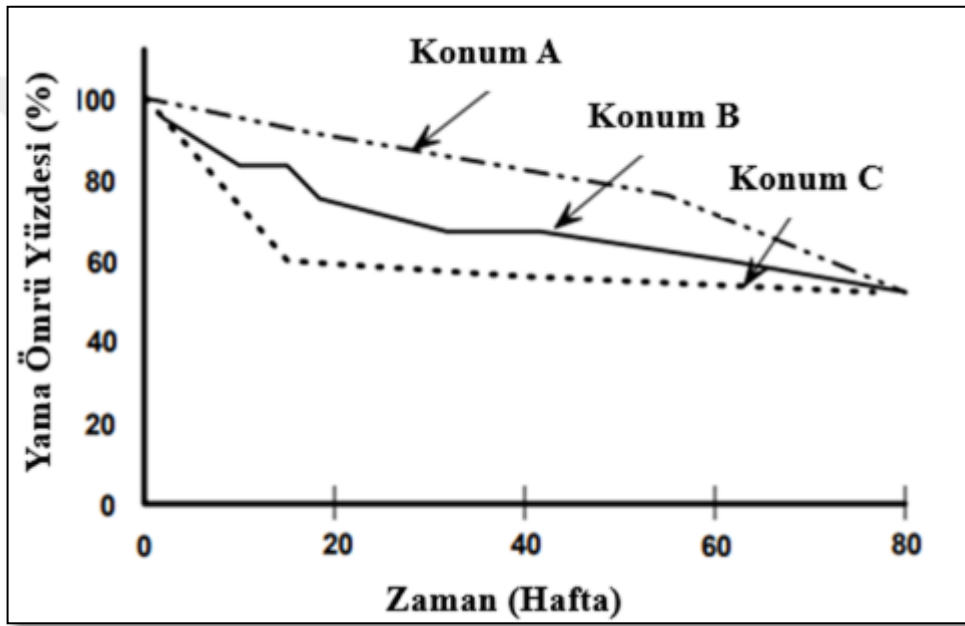
1.6. Yama İşlemi Performans ve Maliyeti

Yama işlemi ile ilişkilendirilen ana maliyet unsurları şunlardır.

1. İşçilik
2. Malzeme ve ekipmanlar

3. Trafik gecikmeleri

Maliyet etkinliği, yama ömrü oranı tarafından belirlenir. Yama mr oranını belirlemek için bakım ve onarımlar en az bir yıl boyunca izlenmelidir. İzleme, her onarımın kontrol edilmesini ve her kaplama bölümünün bozulmadan kalma veya bozulma durumunu belirlemeyi içerir. Şekil 14, Yama mr oranı eğrilerini göstermektedir; A, B ve C  ayrı yama konumunu temsil eder. Eđrinin altındaki alan, yama hayatta kalma oranını temsil eder (State of California Department, 2007).



Şekil 14. Tipik Yama mr -Oran Eğrisi (State of California Department, 2007).

Farklı hasarlara maruz kalan yama işlemlerinin zamanla bozulma performansları Şekil 15 'te gösterilmiştir (Dong, Huang, & Jia, 2014).



Şekil 15. At Sıkıştır Yama Örneğinin Zamanla Bozulma Performansı (Dong, Huang, & Jia, 2014).



Şekil 16. Yarı Kalıcı Yama Örneğinin Zamanla Bozulma Performansı (Dong, Huang, & Jia, 2014).

1.7. Yama Türleri

Yama türü, hasarın büyüklüğüne, yerine, bütçeye ve diğer faktörlere bağlı olarak seçilir. Her bir yöntemin avantajları ve dezavantajları vardır ve en uygun olanı bakım-onarım şekli gereksinimlere göre belirlenir (State of California Department, 2007).

Çukur tamiri işlemlerinin bir diğer önemli bileşeni, tamir teknikleri veya prosedürleridir. Günümüzde çeşitli çukur tamir teknikleri kullanılmakta ve kabul edilmektedir. Bunlar arasında at sıkıştır yöntemi, yarı kalıcı ve enjeksiyon yama türleri bulunur (Wang, ve diğerleri, 2022).

At Sıkıştır Yönetimi,

Bu yöntem genellikle geçici yamalar için kullanılır. Bu, hava koşulları yarı kalıcı bir yama için uygun olmadığında veya yolun yakın zamanda onarımının yapılması gerektiğinde uygun olur. Bir çukuru tamir etmenin en ucuz ve en az işçilik gerektiren yöntemidir ve şu adımları içerir;

1. Yama malzemesi, çukura temizlenmiş ve/veya kurutulmuş olarak konur.
2. Malzeme, bakım kamyonu lastikleri kullanılarak sıkıştırılır.
3. Bitmiş yama, su birikmesini önlemeye yardımcı olması için 3-6 mm kemerli olmalıdır.
4. Temizlik genellikle gerekli değildir.



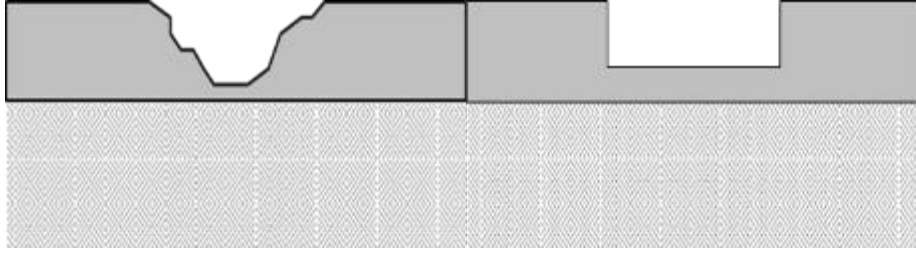
Şekil 17.At Sıkıştır Yama Örneği (Wang, ve diğerleri, 2022).

Yarı Kalıcı Yama,

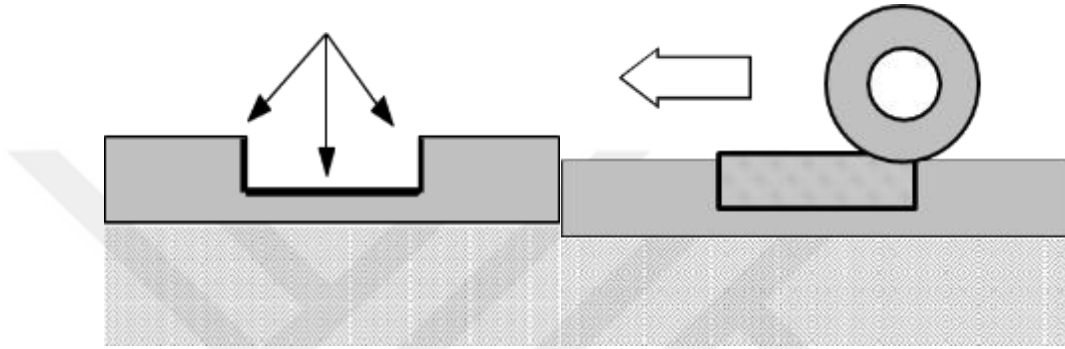
Yarı kalıcı yama, başarılı bir yama yöntemi olarak kabul edilir. Yarı kalıcı yama yapım aşaması aşağıdaki gibidir.

1. Bozulan alanın sınırları belirlenir bozulmuş alandan biraz daha geniş bir alan dikkatlice işaretlenir. Onarılan sınırlar mümkün olduğunca dikdörtgen olmalı ve eski malzemenin çıkarılması ve yeni malzemenin sıkıştırılması için kullanılacak ekipmanın boyutları dikkate alınmalıdır (State of California Department, 2007).

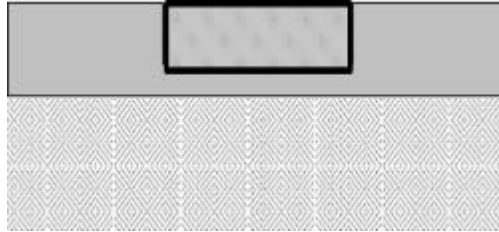
2. Onarım bölgesinin sınırlarını kesmek için ya elmas testeresi ile pnömotik çekiç kullanılır. Sıcak karışım asfalt yüzey tabakasına zarar vermemeye dikkat edilir.
3. Delik kenarları sağlam olana kadar düzleştirilir. Tamir alanının sınırları elmas testeresi ile kesilmiş veya soğuk kazıma ekipmanı ile belirlenmişse, bu adım genellikle çok basittir. Tamir yamasının kalınlığının bozuk olan tabakanın kalınlığından %50 daha kalın olması önerilir.
4. Delikten su ve bozuk alan çıkartılır. Çukurun büyüklüğüne bağlı olarak, bu elle bir kazma ve kürekle veya çeşitli güç ekipmanı kombinasyonlarıyla yapılabilir. Soğuk kazıma ekipmanı da bu işlem için çok etkili olabilir.
5. Deliklerin kenarlarına ve alt kısmına yaklaşık olarak (1 litre/m²) oranında yavaş veya hızlı ayarlanabilen asfalt emülsiyonu ile bir yapışkan tabaka uygulanır. Yapışkan tabaka, kenarların üzerine püskürtülür veya fırçalanır.
6. Delik içine onarım malzemesini yerleştirilir. Eğer tamirat elle yapılıyorsa, segregasyondan kaçınmak için bir kürek kullanarak sıcak karışım asfalt malzemesi yerleştirilir. Delik, sıkıştırma için yeterli malzeme sağlaması gerektiğinden derinliğinin %20 ila %25'i kadar fazla malzeme ile doldurulur. Tamiratın kenarlarını hafifletmek veya karıştırmak için bir asfalt tırnığı kullanılır.
7. Onarım malzemesi bir el aleti veya küçük titreşimli silindir ile sıkıştırılır. Onarım boyutundan daha küçük bir yüzeye sahip olan sıkıştırma ekipmanının kullanılması tercih edilir. Tamir alanını geçen ekipmanlarla tatmin edici sıkıştırmayı elde etmek çok zordur.
8. Onarım, uygun sıkıştırma ekipmanı ile tamamen sıkıştırılır. Trafik tarafından ek sıkıştırma sağlamak ve tamir alanında su birikimini önlemek için, tamamlanmış tamiratın (3 ila 6 mm) taç oluşturması gerekmektedir.
9. Tamir edilen alanın kenarları çatlak önleyici ile mühürlenir. Yoğun yağışlı alanlarda ise, tamiratın tamamı su sızdırmaz ile kaplanır (State of California Department, 2007).



Şekil 18.Çukur Alanı ve Onarım İçin Düzenlenmiş Çukur (State of California Department, 2007).



Şekil 19. Yapışkan Tabaka Uygulanması ve Sıkıştırma İşleminin Yapılması (State of California Department, 2007).



Şekil 20. Yama İşlemi Tamamlanmış Yüzey (3-6 Mm) (State of California Department, 2007).

Enjeksiyon Yama,

Enjeksiyon yama, özel ekipman gerektiren hızlı ve etkili bir tamirat yöntemidir ve düşük trafiğe sahip yollar için alternatif bir yöntemdir. Bu tamiratlar geçici olmasına rağmen, genellikle at-sıkıştır yama onarımlarına göre daha uzun ömürlüdür. Enjeksiyon yama onarım adımları aşağıda açıklanmıştır:

1. Uygulama hortumu ile delikten enkazı ve suyu uzaklaştırarak tamirat yapılacak alan hazırlanır. Şekil. 21 alan hazırlığını göstermektedir.
2. Yaklaşık olarak (1 litre/m²) oranında bir yapışkan tabaka emülsiyonu deliğin kenarlarına ve altına püskürtülür. Şekil. 21, yapışkan tabakanın uygulanmasını göstermektedir.
3. Hazırlanan deliğe asfalt/agrega karışımı püskürtülerek delik doldurulur, Şekil.22, hazırlanan deliğin doldurulmasını göstermektedir.
4. Son olarak, kuru agrega ile bir katman uygulanır. Şekil.22, bitirme tabakasının uygulanmasını göstermektedir.
5. Bu yöntemle tamir edilen bir çukuru silindirme gerekli değildir. Bu, enjeksiyon yönteminin bir avantajıdır.



Şekil 21. Alan Hazırlığı ve Yapışkan Tabaka Uygulanması

Kenarların Mühürlenmesi,

Yol yamalarında kenar mühürlemesi, yama alanının kenarlarının çevresindeki boşlukları veya çatlakları doldurmak için kullanılan bir işlemdir. Yama alanının kenarlarında oluşabilecek boşluklar veya çatlaklar, suyun, tuzun ve diğer dış etkenlerin yama altındaki taban malzemeye nüfuz etmesine neden olabilir. Bu da yamanın dayanıklılığını azaltabilir ve yama işleminin ömrünü kısaltabilir.

Kenar mühürlemesi genellikle deformasyon sonrası orijinal şekillerine geri dönebilme kabiliyetine sahip malzemelerle veya asfalt esaslı sızdırmazlık malzemeleriyle yapılır. Bu malzemeler, yama alanının kenarlarına uygulandığında, çatlakları ve boşlukları doldurur ve suyun girmesini önler. Bu, yamanın dayanıklılığını artırır ve uzun süreli bir onarım sağlar (State of California Department, 2007).



Şekil 22. Hazırlanan Çukurun Doldurulması ve Kenarların Mühürlenmesi (State of California Department, 2007).

1.8. Genel Yama Sorunları

Soğuk yama malzemesi üretim ve uygulamalarında yaşanan bazı sorunlar Tablo 1’de verilmiştir (Öztürk, Soğuk Asfalt Katkılarının Bitümlü Karışımların Performansına Etkisinin Araştırılması, 2019).

Tablo 1. Soğuk yama malzemelerinde yaşanan sorunlar ve sıkıntı mekanizmaları

Sorunlar/bozulma belirtileri	Sebepler-bozulma nedenleri
Depolamadaki sıkıntılar	
Çalışma zorluğu	Bağlayıcının kırılğan olması, çok küçük tane boyutlu agrega
Bağlayıcının dibe çökmesi	Bağlayıcının çok yumuşak olması, depo alanının sıcak olması
Topaklanma-erken sertleşme	Bağlayıcının erken sertleşmesi
Karışım soğuk havada çok kırılğan olması	Bağlayıcı iklime göre çok sert, bağlayıcının sıcaklık değişimine hassasiyeti oldukça yüksek, kirli agrega kullanımı
Asfaltlamadaki sıkıntılar	
İşlenebilirlik düşük-serilmesi zor (sert)	Bağlayıcının çok sert olması, çok küçük agregaların olması
Isıtıldığında olduğundan çok yumuşaması	Bağlayıcının çok yumuşak olması
Sıkıştırılması oldukça zor (yumuşak)	Yetersiz karışım kararlılığından, bağlayıcı fazlalığından, dizayn hatası

Tablo 1.'in devamı

Kullanımdaki sıkıntılar	
Ayrılma	Zayıf sıkışma, bağlayıcının çok kullanılması, karışımın düşük bağlanması, bağlayıcının sıcaklık hassasiyetinin yüksek olması, zayıf agrega bağlanması, agrega boyutunun çok düşük olması
Bombe yapması	Zayıf sıkışma, trafik sebebiyle sıkışma
Donma-Çözünme bozulmaları	Karışım çok geçirgen, zayıf sıkışmış, soyulma ve nem hasarı
Zayıf patinaj dayanımı	Bağlayıcının aşırı kullanılması, agrega patinaj dayanımına uygun değil, gradasyon çok yoğun
Çukura bağlanmama veya büzüşme	Zayıf yapışma, bağlayıcı kullanılmaması veya zayıf çukur hazırlığı
Ayrılma	Zayıf sıkışma, bağlayıcının aşırı kullanılması, karışımın düşük bağlanması, bağlayıcının sıcaklık hassasiyetinin yüksek olması, zayıf agrega bağlanması, agrega boyutunun çok düşük olması

1.9. Soğuk Yama Karışımlarından Beklenen Özellikler

Soğuk kaplama karışımlarının performansının istendiği gibi olması için belirli karışım kriterlerine önem verilmelidir. Bu özelliklerin eksikliği, düşük performansa ve nihayetinde istenmeyen sonuçlara yol açar. Soğuk yama karışımlarından beklenen özellikler ve bu özelliklerin sağladığı yararları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Yerleştirme ve sıkıştırma esnasında yama malzemesinin çalışabilirliği önemlidir bu özellikle doğru yerleştirme ve sıkıştırma sağlayarak hizmet ömründe sıkça görülen çökme, kayma gibi sorunları önler ve karışımın stabilitesini ve dayanıklılığını artırır.
- Yama stabilitesinin kuvvetli olması kayma direncine sağlayarak trafik yükleri altında yatay ve dikey hareketlere karşı direnme gösterir ve çökme, kayma gibi sorunları önler.
- Yama malzemesinin dayanıklı ve kaplama direncinin yüksek olması ayrışmayı ve erken bozulmayı önler. Ayrıca kaplama yapıldıktan hemen sonra trafiğe açılan alanların performansını koruyarak kaplamanın bütünlüğüne sağlar.

- Yama malzemesinin karışımın kendisine ve çukur taban ve kenarlarına çok iyi yapışması beklenir bu özellikle çukurun çok iyi temizlenip kurutulmadığı durumlarda uygulama ve sıkıştırma sürecine yardımcı olmaktadır.
- Yama malzemesinin yeterli depolama süresine ve 6 – 12 aylık ideal raf ömrüne sahip olması beklenir. Yeterli depolama süresine sahip stoklar karışım performansını olumlu yönde etkileyerek işlenebilirliği, bağlayıcının sızmasını ve kaplamanın ayrılmasını önler.
- Yama malzemesinin bulunduğu bölgelere göre malzemenin dayanıklılığını koruması açısından donma-çözülme direnci göstermesi beklenir.
- Yama malzemesinin özellikle büyük kaplama işlemleri için güvenlik açısından güçlü bir kayma direnci göstermesi beklenir (Chatterjee, White, Smit, Prozzi, & Prozzi, 2006).

Soğuk asfalt yama katkı maddelerinin analiz sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir (Öztürk, Tutan, Komut, & Kiziroğlu).

Tablo 2. Soğuk yama katkı maddeleri analiz sonuçları

Analiz	SYK1	SYK2	SYK3	SYK4	SYK5	SYK6	SYK7
Kinematik Viskozite cst (mPa.s); 37,8 °C	37,5	8,79	5,11	2,64	4,81	8,23	1,498
Kinematik Viskozite cst (mPa.s); 40 °C	34	8,32	4,92	2,534	4,65	7,86	1,463
Kinematik Viskozite cst (mPa.s); 100 °C	5,52	2,75	1,79	-	2,07	49	30
Yoğunluk (gr/cm ³); 15 °C	0,878	0,899	0,876	0,814	0,866	2,69	0,756
Yoğunluk (gr/cm ³); 15,6 °C	0,877	0,898	0,875	0,814	0,865	34	28
Yoğunluk(gr/cm ³); 20 °C	0,875	0,895	0,873	0,811	0,862	0,894	0,805
Asit Sayısı (mgKOH/gr)	-	0,024	0,772	0,095	1,365	0,893	0,804
Toplam su (ppm)	2720,2	1078,9	1763,4	353,8	1933,5	0,891	0,802
Kırılma indisi (n)	1,49	1,46	1,47	1,45	1,46	11,93	0,022
Parlama Noktası (Kapalı K.) (°C)	200	186	122	111	88	2680,6	417,1
pH (25 °C), doğrudan)	8,35	3,6	6,4	4,36	9,05	1,45	1,45

1.10. Yama Malzemesinin Seçilmesi

- Çukurun uygun şekilde temizlendiğinden ve çok fazla ıslanmadığından emin olunması gerekir.
- Yeterli yapışkan tabakası uygulandığından emin olunması gerekir.
- Delikler uygun şekilde kurutulamadığında kendiliğinden ayarlanan soğuk karışım kullanılır.
- Trafiğe izin verilmeden önce tamiratın sağlam olduğundan emin olunması gerekir.
- Onarım yüzeyinin kum veya küçük agrega ile tozlanması gerekir.
- Uygun hava koşullarının beklenmesi gerekir.
- Sıcak karışım asfalt tamirleri için, tamiratın üzerinden trafik geçilmeden önce soğumasına izin verilmesi gerekir.

- Gerekli sıkıştırmanın sağlandığından emin olunması gerekir.

1.11. Yüzey Düzeltme

- Soğuk karışımın uygulanabilir olduğundan emin olunması gerekir.
- Sıcak karışım asfaltın yerleştirme ve sıkıştırma için doğru sıcaklıkta olduğundan emin olunması gerekir.
- Yeterli sıkıştırmanın sağlandığından emin olunması gerekir.

1.12. Kaplama Asfalt Tabakasının Kaybı

- Yüzeyin temiz olduğundan emin olunmalı.
- Doğru emülsiyon içeriğinin püskürtüldüğünden emin olunmalı.
- Agregaya, emülsiyon hala kahverengiyken yayıldığından emin olunmalı.
- Trafik izni verilmeden önce emülsiyonun parçalandığından emin olunmalı.
- Trafik öncesinde daha uzun süre iyileşme süresi tanınmalı.

1.13. Trafikten Dolayı Fazla Sıkışma Gerçekleşmesi

- Onarılan deliğin (3 ila 6 mm) fazla doldurulduğundan emin olunmalı.
- Yeterli sıkıştırmanın sağlandığından emin olunmalı.
- Karışımın uygulama sıcaklıklarında doğru olduğundan emin olunmalı.
- Trafik açılmadan önce daha uzun süre beklenmeli (State of California Department, 2007)

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu araştırmada, soğuk yama katkısı kullanılarak bakım malzemesi şartname bağlamında hazırlanmıştır. Çalışmada, agrega, bitümlü bağlayıcı, seçilen soğuk karışım katkısı kullanılmıştır.



Şekil 23. Asfalt çimentosu (URL-1., 2024).

Avrupa standartlarına (EN 12597) göre, bitüm, ham petrolden türetilen veya doğal asfaltta bulunan, tamamen veya neredeyse tamamen toluende çözünebilen, pratikte uçucu olmayan, yapışkan ve su geçirmez bir malzeme olarak tanımlanmaktadır ve ortam sıcaklıklarında çok viskoz veya neredeyse katı hale gelmektedir. Ticari açıdan bakıldığında, bitüm, uzun zamandır çatı kaplamaları, yol kaplama uygulamaları, asfalt karışımları ve endüstriyel ürünlerde yaygın olarak kullanılan düşük maliyetli bir termoplastik malzemedir (Porto, ve diğerleri, 2019).



Şekil 24. Agregalar malzemesi (URL-4., 2024)

Agregalar, esnek yolların inşasında kullanılan asfalt karışımlarının malzemesinin %90-%95'ini oluşturur. Bu nedenle, agregalar kalitesi yolun performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yıllar içinde, yol inşası için uygun agregayı seçmek amacıyla çeşitli test yöntemleri geliştirilmiştir. Amaç, yolun tasarım ömrünü sürdürebilecek yeterli dayanıklılığa, mukavemete ve diğer malzemelerle uyumlu bir malzeme elde etmektir. Elemental bileşim ve mineral bileşimin yanı sıra, yol tipi, yol tasarımı, alt tabaka koşulları, bakım uygulamaları, trafik özellikleri ve hava koşulları gibi birçok değişken de bitümlü karışımlardaki agregaların performansını etkiler (Sakthivel, Kathuria, & Singh, 2022).

Karayolları Teknik Şartnamesine göre bitümlü karışım bakım malzemelerinde agregalar; kırmataş, kırılmış çakıl veya bunların elenmiş çakıl ile karışımından oluşacaktır. Agregalar içindeki daneler temiz, sert, sağlam ve dayanıklı olacak, sülfat, klorit veya kurutma ve karıştırma sırasında veya sonradan hava koşullarının etkisiyle kırılmaya yatkın olan maddeler içermeyecektir. Karışımın gradasyonu Tablo 3.'te verilen dane boyutu dağılımı limitlerine uygun olacaktır (KGM, 2023).

Tablo 3. Dane boyutu dağılımı

Elek Boyutu		Geçen %		
İnç. No	mm	Tip- 1	Tip-2	Tip-3
1"	25	100		
3/4"	19	80-100	100	
1/2"	12,5	58-80	88-100	100
3/8"	9,5	48-70	72-90	80-100
No.4	4,75	30-52	42-52	55-72
No. 10	2,00	20-40	25-35	36-53
No. 40	0,425	8-22	10-20	16-28
No. 80	0,180	5-14	7-14	8-16-
No. 200	0,075	2-7	3-8	4-8

Sathi kaplamalı yollarda Tip-1 veya Tip-2; BSK'lı yollarda ise Tip-2 veya Tip-3 gradasyonu kullanılmalıdır.

Agreganın kaba (4,75 mm elek üzerinde kalan) kısmı Tablo 4'te, ince (4,75 mm elekten geçen) kısmı ise Tablo 5'te verilen özelliklere uygun olacaktır (KGM, 2023).

Tablo 4.Kaba agrega özellikleri

Deney	Şartname Limitleri ^c	Deney Standardı
Parçalanma Direnci (Los Angeles), % Kayıp	≤ 30 (LA ₃₀)	TS EN 1097-2 ^a AASHTO T 96
Aşınma Direnci (Micro-Deval) ^b , % Kayıp	≤ 25 (M _{DE} 25)	TS EN 1097-1
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, (MgSO ₄ ile kayıp), %	≤ 18 (MS ₁₈)	TS EN 1367-2
Soyulma Mukavemeti (Bitüm Kaplı Yüzey), % (24 saat 60 °C Suda Bekletmeden Sonra)	≥ 60	Kısım 403 EK-A
Yassılık İndeksi, %	≤ 30	BS 812
	≤ 20 (FI ₂₀)	TS EN 933-3 ^a
Kil Topakları ve Ufalanabilir Tane Oranı, %	≤ 1	ASTM C 142 AASHTO T 112
Kırılmışlık, ağırlıkça % (Tüm yüzeyi kırılmış - tüm yüzeyi yuvarlak)	$\geq 90 - \leq 0$ (C _{90/0})	TS EN 933-5
Su Emme, %	≤ 2.5 (WA ₂₄ 2.5)	TS EN 1097-6 (Madde 8)
^a Referans metot.		
^b İdare tarafından gerek duyulduğunda yapılacaktır.		
^c Parantez içindeki ifade, şartname değerinin TS EN 13043 'deki sınıfını gösterir.		

Tablo 5. İnce Agrega ve mineral filler özellikleri

Deney	Şartname Limitleri	Deney Standardı
Plastisite İndeksi, maksimum %	NP	TS EN ISO 17892-12 AASHTO T 89 AASHTO T 90
Organik Madde (% 3 NaOH ile)	Negatif	TS EN 1744-1 Madde 15.1
Metilen Mavisi, g/kg	İnce agreganın 0-2 mm kısmına $\leq 3,5$ (MB _{3,5})	TS EN 933-9

Gradasyonun düzenlenmesi için gerekli görülmesi durumuna, agregaya mineral filler ilave edilebilecektir. İlave mineral filler, taş tozu, mermer tozu veya sönmüş kireç olabilecektir. Mineral filler Tablo.5'te verilen özelliklere ve Tablo.6'da verilen gradasyon limitlerine uygun olacaktır (KGM, 2023).

Tablo 6. Mineral filler gradasyon limitleri

Elek Boyutu		Geçen %
İnç, No	mm	
No.40	0,425	100
No.80	0,180	85-100
No.200	0,075	70-100

Bitümlü bağlayıcılara uygulanan rutin bazı testlerin standartları Tablo 7'de verilmektedir (Aksoy, Korzay, & Tekin, 2023).

Tablo 7. Bitümlü bağlayıcı özellikleri (B50/70)

Deney Adı	Metot	Birim	Şartname
Penetrasyon 25°C	TS EN 1426	0,01mm	50-70
Özgül Ağırlık d25/25	TS EN 15326 +A1	-	-
Yoğunluk 25°C		Kg/m3	-
Yumuşama Noktası	TS EN 1427	°C	46-54
Parlama Noktası	TS EN ISO 2592	°C	Min.230
Çözünürlük	TS EN 12592	%	Min.99

Çalışma kapsamında soğuk yama katkısı kullanılarak bitümlü karışım bakım yama malzemesi üretimi yapılmıştır. KGM şartnamesinin Kısım 409 başlığında karışımlar belirlenen farklı parametrelerde hazırlanarak seçilen yüksek hasar düzeyli bir su hasarı modellemesi altında performans araştırması yoluna gidilmiştir. Soğuk yama malzemesinin kolaylıkla hemen hemen her tür hava koşulunda kolaylıkla uygulanabilmesi ve işlenebilirlik koşullarının gerçekleştirilebilmesi noktasında tercihi yapılmıştır.

Şartname açıkça; sıcak olarak üretilen bitümlü karışımın, düşük sıcaklıklarda uzun süre depolanabilmesi ile soğuk olarak serilip sıkıştırılabilmesine olanak sağlayan soğuk asfalt katkılarından faydalanılmasını belirtmektedir.

Yine şartnamenin Kısım 409 bünyesinde; “Atık Yönetimi Yönetmeliği ve/veya Atık Yağların Kontrol Yönetmeliğine uygun olarak üretilmiş olacak, çevreye zararlı atık maddeler ile atık madeni ya da bitkisel yağlar içermeyecektir. Bünyesinde ağır metal bulundurmaz. Üretici/Satıcı firma, katkı malzemesinin insan sağlığına ve çevreye zararlı olmadığını, İdarece kabul edilebilir bir kuruluştan alınmış bir belge ya da sertifika ile garanti edecektir. Soğuk asfalt katkısının Malzeme Güvenlik Bilgileri Belgesine (MSDS, Material Safety Data Sheet) sahip olması gerekmektedir” şeklinde tanımlanmaktadır.

Yine şartnamenin Kısım 409 bünyesinde “Katkı malzemesi ısıya karşı stabil olacağı, bünyesine girdiği bitümlü bakım malzemesinin depolanma süresi boyunca stoklama koşullarındaki aşırı sıcaklık değişikliklerinde dahi, karışımın başlangıçta sahip olduğu işlenebilirliği ile fiziksel ve mukavemet özelliklerini devam ettireceği, soğuk asfalt katkısı sıvı evsafı ve en az 24 ay raf ömrüne sahip olacağı, bitümlü karışım bakım malzemesi soğuk asfalt katkıları kullanılarak hazırlanacaksa mutlaka plentte üretilmesi, katkı malzemesi plentteki kullanım ve beslenme şekline uygun olarak İdarenin belirlediği ölçülerdeki ambalajlarda teslim edileceği, ambalajlama kar, yağmur, rutubet ve yüksek sıcaklık gibi çevre koşullarında, katkı malzemesinin evsafının bozulmadan korunabileceği, ambalaj üzerinde katkının adı, cinsi, evsafı, saklama koşulları ve kullanım şekli, üretim ve son kullanma tarihlerinin yazılı olacağı, katkı malzemesinin raf ömrü boyunca özelliklerini koruyacağı, soğuk asfalt katkısının Tablo. 8’de verilen kriterleri sağlayacağı” belirtilmektedir.

Tablo 8. Soğuk asfalt katkı özellikleri

Özellikler		Şartname Limitleri	Deney Standardı
Özgül Ağırlık, 20°C de, g/cm ³		0,80 – 1,00	TS EN 15326
Viskozite	Saybolt Furol 25°C’de, s	40 – 150	ASTM D 244
	Kinematik Viskozite ^a 40°C’de, cSt	2 – 20	TS 1451 EN ISO 3104
Parlama Noktası, min. °C		100	TS EN ISO 2592
pH ^b	Min. Değer	2	ASTM E 70
	Değişim	±1,50	ASTM E 70
^a İdare tarafından gerek duyulduğunda yapılacaktır.			
^b Soğuk asfalt katkısının pH değeri üretici tarafından beyan edilecek, raf ömrü süresince pH değişimi ±1,50 olacaktır.			

Bakım malzemesi dizayn kriterleri şartname bağlamında Tablo 9’da verilmektedir.

Tablo 9. Bakım malzemesi dizayn kriterleri

Özellikler	Şartname Limitleri		Deney Standardı
	Sıcak Karışım	Soğuk Karışım	
Briket Yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı	75	75	TS EN 12697-30 ASTM D 6926
Marshall Stabilesi, min. kg	750	250*	TS EN 12697-34 ASTM D 6927
Boşluk, %	3-6	maks. 8	TS EN 12697-8
Akma, mm	2-5	2-5	TS EN 12697-34 ASTM D 6927
Sıkıştırılmış Bitümlü Karışımlara Suyun Etkisi, Kalıcı Stabilesite Oranı, min. % (72 saat 60°C su banyosu)	80	-	TS EN 12697-34 ASTM D 6927
*Marshall Stabilesite deneyi 22 ± 1°C sıcaklıkta yapılacaktır.			

Soğuk asfalt katkılı bakım malzemesi dizayn kriterleri şartname bağlamında Tablo 10.'da verilmektedir.

Tablo 10. Soğuk asfalt katkılı bakım malzemesi dizayn kriterleri

Özellikler		Şartname Limitleri	Deney Standardı
Briket Yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı		75	TS EN 12697-30 ASTM D 6926
Marshall Stabilitesi, min. kg		500 ^a	TS EN 12697-34 ASTM D 6927
Boşluk, %		3-6	TS EN 12697-8
Agregalar Arası Boşluk (VMA), min %	Tip-1 için	13	TS EN 12697-8
	Tip-2 ve Tip-3	14	
Akma, mm		2-5	TS EN 12697-34 ASTM D 6927
Sıkıştırılmış Bitümlü Karışımlara Suyun Etkisi, Kalıcı		80 ^b	Asphalt Institute MS-14
İşlenebilirlik (Yığılma zamanı), s		300-2400	EK-A
^a Marshall stabilite deneyi briketler 40 dakika süresince 25°C ±0,6°C lik su banyosunda bekletildikten sonra yapılacaktır. ^b Sıkıştırıldıktan 24 saat sonra kalıbından çıkarılan ve ortalama yoğunlukları birbirine en yakın olacak şekilde iki gruba ayrılan en az 6 adet Marshall briketinden; 4 gün süresince 25°C±0,6°C'lik su banyosunda koşullandırılan briket grubunun Marshall stabilite test cihazı ile bulunan Marshall stabilite değerleri ortalamasının, 4 gün süresince laboratuvar ortamında açıkta bırakıldıktan sonra 40 dakika süresince 25°C±0,6°C'lik su banyosunda bekletilen koşullandırılmamış diğer briket grubunun Marshall stabilite değerleri ortalamasına oranıdır.			

Soğuk asfalt yama katkısı kullanılarak üretilen bitümlü bakım malzemesi karışımının ayrıntılı tüm yönleri belirtilen şartname bağlamında verilmektedir. Bu çalışmada şartnamede belirtilen indirekt çekme mukavemeti deney yöntemi kullanılarak oluşturulan karışımların yüksek su hasarı modellemesi altındaki mekanik değerleri incelenmektedir.

<u>KULLANIM ORANLARI</u>		<u>9</u>	<u>46</u>	<u>46</u>	<u>DİZAYN GRADASYONU</u>	<u>DÜZELTİLMİS DİZAYN GRADASYONU</u>	<u>K.T.S. AŞINMA TİP-1 2013</u>			
<u>ELEK AÇIKLIĞI</u>		<u>1/2"-3/4"</u>	<u>1/2"-No 4</u>	<u>No 4-0</u>			<u>KISIM 407-2 TİP-1 LİMİTLERİ</u>			
mm	İnç	% geçen	% geçen	% geçen	% geçen	% geçen	Şartname		Tolerans	
<u>37,5</u>	<u>1 ½ "</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>
<u>25,4</u>	<u>1"</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>
<u>19,1</u>	<u>3/4"</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>
<u>12,7</u>	<u>1/2"</u>	<u>14,3</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>92,3</u>	<u>92,1</u>	<u>88</u>	<u>100</u>	<u>88,1</u>	<u>96,1</u>
<u>9,52</u>	<u>3/8"</u>	<u>0,9</u>	<u>63,7</u>	<u>100</u>	<u>74,7</u>	<u>74,2</u>	<u>72</u>	<u>90</u>	<u>72,0</u>	<u>78,2</u>
<u>4,76</u>	<u>No:4</u>	<u>0,4</u>	<u>2,6</u>	<u>100</u>	<u>47,2</u>	<u>46,1</u>	<u>42</u>	<u>52</u>	<u>42,1</u>	<u>50,1</u>
<u>12,00</u>	<u>No:10</u>	<u>0,0</u>	<u>0,4</u>	<u>63,6</u>	<u>29,4</u>	<u>28,0</u>	<u>25</u>	<u>35</u>	<u>25,0</u>	<u>31,0</u>
<u>0,42</u>	<u>No:40</u>	<u>0,0</u>	<u>0,4</u>	<u>29,4</u>	<u>13,7</u>	<u>11,9</u>	<u>10</u>	<u>20</u>	<u>10,0</u>	<u>14,9</u>
<u>0,177</u>	<u>No:80</u>	<u>0,0</u>	<u>0,4</u>	<u>20,3</u>	<u>9,5</u>	<u>7,7</u>	<u>7</u>	<u>14</u>	<u>7</u>	<u>10,7</u>
<u>0,075</u>	<u>No:200</u>	<u>0,0</u>	<u>0,3</u>	<u>14,8</u>	<u>6,9</u>	<u>5,0</u>	<u>3</u>	<u>8</u>	<u>3,0</u>	<u>7,0</u>
Tutulan Filler Oranı: % 2,0										

3.2. Agrega ve Bitüm Deneylerinin Sonuçları

Dizayn gradasyonuna uygun olarak hazırlanan agregalara yapılan deneyler ile bitüme ait deneylerin sonuçları aşağıda verilmektedir.

Tablo 12. Agrega deney sonuçları

Ocak Adı		Mezra Taş Ocağı		
Kayacın Cinsi		Bazalt		
	Kaba Agrega	İnce Agrega	Filler	Deney Standardı
Hacim Özgül Ağırlığı	2,504	2,515		AASHTO T 84-85
Zahiri Özgül Ağırlığı	2,621	2,630	2,661	TS EN 1097-7
Absorbsiyon %	1,77	1,75		
Karışımın efektif özgül ağırlığı (deneyle)			2,561	AASHTO T 209
Karışımın efektif özgül ağırlığı (hesapla)			2,571	
Metilen Mavisi Deneyi, g/kg	İnce Agreganın 0/2 mm kısmına		1,48	TS EN 933-9
	Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm kısmına		-	
MgSO4 Donma kaybı %			7,2	TS EN 1367-2
Aşınma Direnci kaybı %			6,7	TS EN 1097-1
Kırılmışlık ağırlıkça %			100,0	TS EN 933-5
Cilalanma Değeri %			51,2	TS EN 1097-8
Los Angeles Aşınma kaybı %			17,5	ASTM C 131
Yassılık indeksi			16,8	BS 812-105
Kil Topakları %			0,29	ASTM C 142
Plastisite İndeksi %			NP	AASHTO T89, T90
Organik Madde(%3 NaOH ile)			Negatif	TS EN 1744-1
Soyulma mukavemeti (% 0,2 katkılı) (Organic Treat-19001)			92	KTŞ KISIM 403 Ek-A
Soyulma mukavemeti (Katkısız)			6	KTŞ KISIM 403 Ek-A
Bitüm özgül ağırlığı			1,035	TS EN 15326+A1
Bitüm penetrasyonu			80	TS EN 1426
Yumuşama noktası			48,7	TS EN 1427
İmalatta kullanılacak bitümlü bağlayıcı			Rafinerisi	Batman
			Tipi	Bitüm
			Sınıfı	B 70/100

Karayolları Teknik Şartnamesine göre kısım 409'da belirtilen Soğuk Asfalt Katkı Özellikleri Deneyisel çalışmalar kısmında Tablo 8.'de ve Soğuk asfalt katkılı bakım malzemesi dizayn kriterleri Tablo 10.'da verilmiştir. (KGM, 2023).

Bu araştırmada bakım malzemesi üretiminde kullanılan soğuk yama katkı maddesi bazı özellikleri Tablo 13.'te verilmiştir.

Tablo 13.Soğuk yama katkı maddesi özellikleri

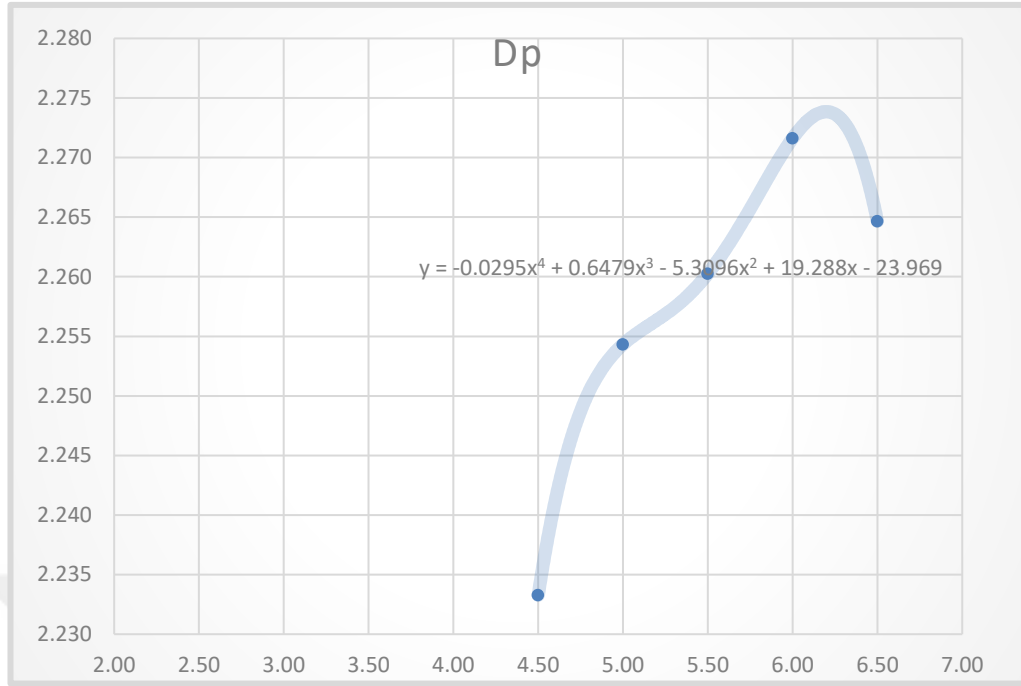
Form	Sıvı
Renk	Koyu kahverengi- amber
Koku	Karakteristik koku
Oksitleyici	Oksitlemeyen (AB kriterlerine göre)
Suda çözünürlüğü	Çözünmez
Viskozite, kinematik	15 mm ² /s
Kaynama noktası/aralığı °C	350
Parlama noktası	>160
Görelî yoğunluk	0.9 - 20°C.

3.3. Karışımın Deney Sonuçları

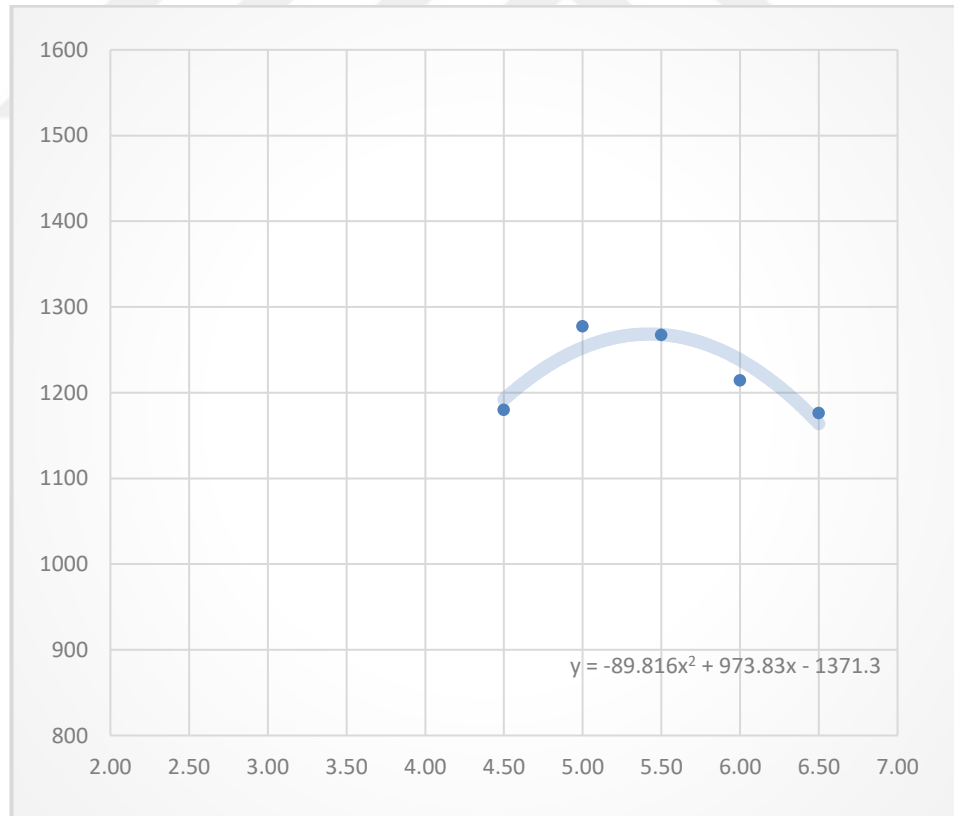
Marshall metoduna göre 2x75 darbeyle yapılan dizayn sonucunda, optimum bitüm kuru agregaya göre ağırlıkça %'e 5,95 (100gr kuru agregaya + 5,95 gr. uygun özellikteki bitüm) olarak bulunmuştur. Optimum bitümdeki diğer sonuçlar aşağıda verilmektedir. Malzemenin kırılmışlık yüzdesi % 100'dür.

Tablo 14. Optimum bitüme göre dizayn sonuçları

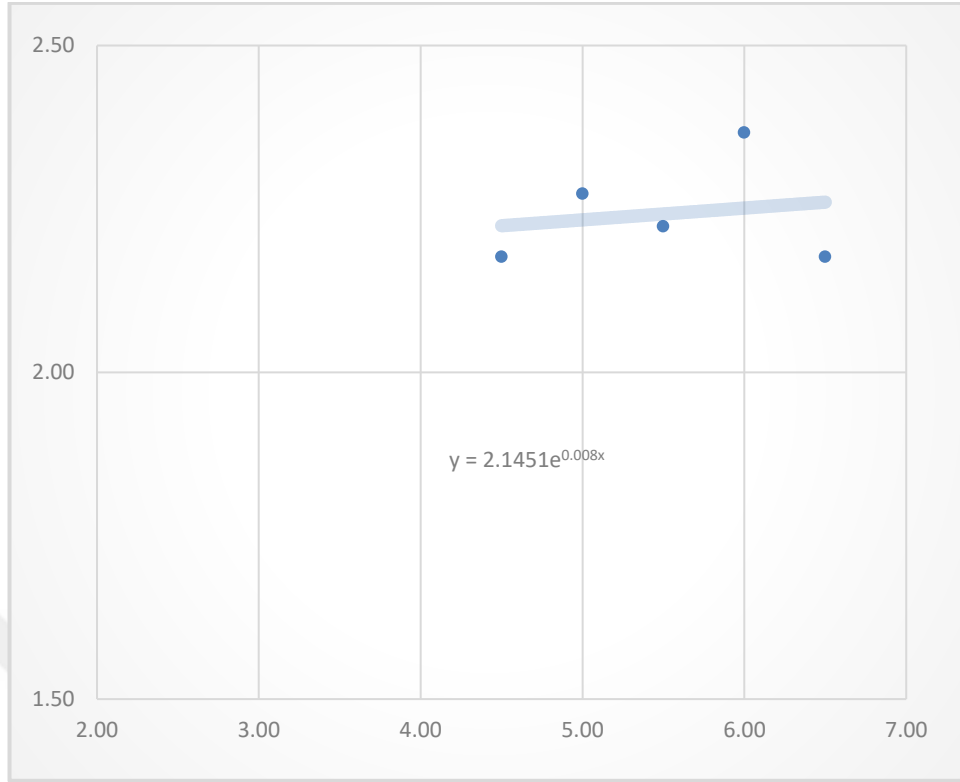
	Dizayn	Şartname
Optimum bitüm	5,95	4,0-7,0
Pratik özgül ağırlık	2,271	
Stabilite, Kg	1243	Min. 900
Boşluk, %	3,98	3,0 –5,0
Asfaltla dolu boşluk, %	73,1	65 - 75
V.M.A, %	14,8	14-16
Akma, mm	2,35	2 – 4
İÇM (İndirekt Çekme Mukavemeti)	83,2	Min 80



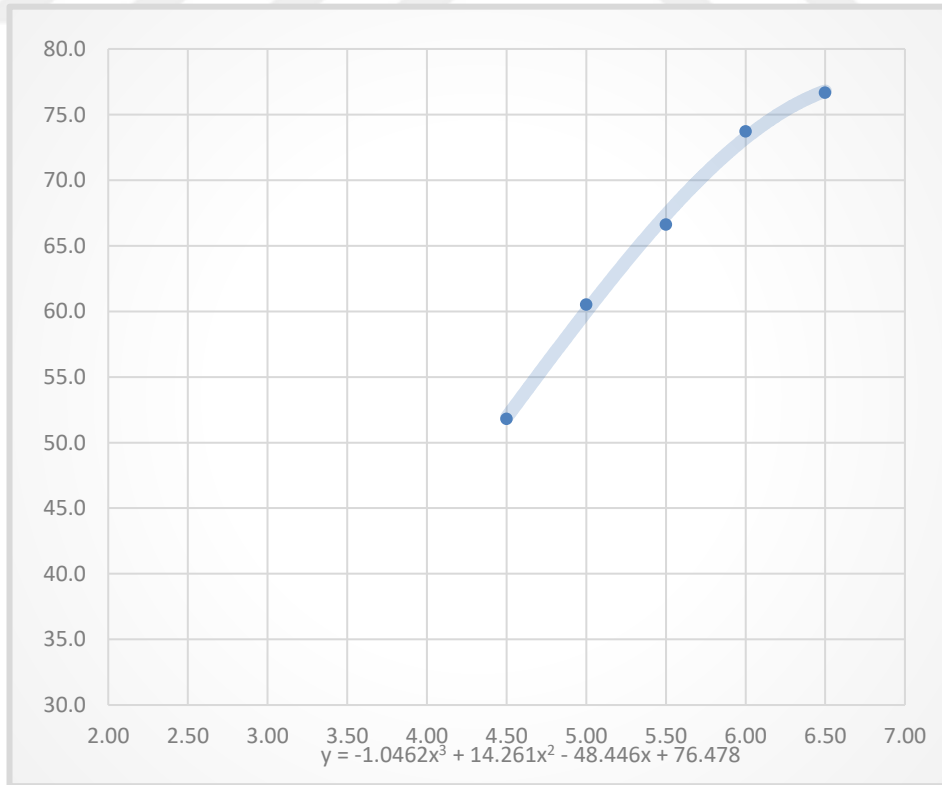
Şekil 25. Bitüm Yüzdesi-Pratik Yoğunluk (Dp) Eğrisi



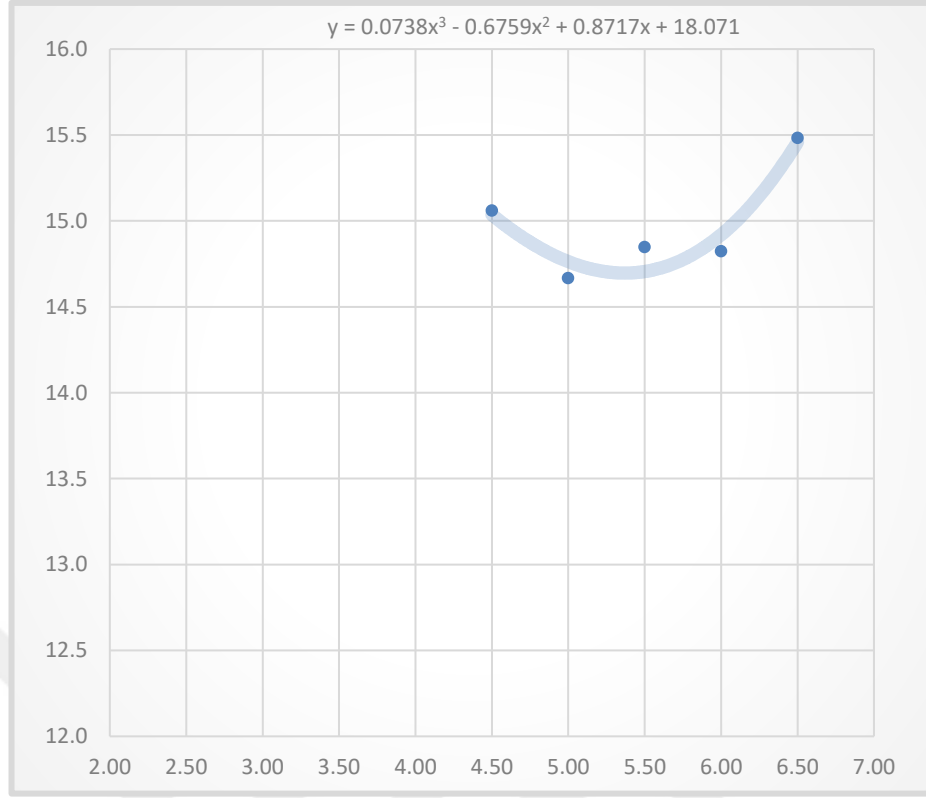
Şekil 26. Bitüm Yüzdesi- Stabilite Eğrisi



Şekil 27. Bitüm Yüzdesi - Akma Eğrisi



Şekil 28. Bitüm Yüzdesi - Asfaltla Dolu Boşluk (Vf) Eğrisi



Şekil 29. Bitüm Yüzdesi - Agregalar Arası Boşluk (VMA) Eğrisi

3.4. Deneyde Kullanılacak Yama Malzemesinin Üretiminin Yapılması

Yama Malzemesi Üretimi için ilk olarak Mezra Taş Ocağından alınan uygun gradasyonda agregalar çuvallarla deney yapılacak laboratuvara getirildi.



Şekil 30. Mezra Taş Ocağı Konkasör Görüntüsü

Agregalar elekten geçirilerek kendi gradasyonuna göre ayrıştırıldı ve şartname limitlerine göre 1100 gram malzemenin içindeki agrega değerleri bulundu. Yapılan hesaplama sonucunda çalışılacak 36 briket için toplamda 39600 gr malzemeye ihtiyaç olduğu tespit edildi.

Tablo 15. 36 Briket İçin Gerekli Olan Agreganın Miktarının Bulunması

Elek No	D�zelti�miř Gradasyon % geçen	Elekler	1100 gram malzeme içindeki agrega oranları (%)	1100 gram malzeme içindeki agrega değerleri (gr)	Tartıda Kümülatif görülmesi gereken değer (gr)	36 Briket için gereken agrega miktarı (gr)
3/4"	100	3/4"-1/2"	7,9	86,9	86,9	3128,4
1/2"	92,1	1/2"-3/8"	17,9	196,9	283,8	7088,4
3/8"	74,2	3/8"-No:4	28,1	309,1	592,9	11127,6
No:4	46,1	No:4-No:10	18,1	199,1	792	7167,6
No:10	28	No:10-No:40	16,1	177,1	969,1	6375,6
No:40	11,9	No:40-No:80	4,2	46,2	1015,3	1663,2
No:80	7,7	No:80-No:200	2,7	29,7	1045	1069,2
No:200	5	% 5 Filler malzeme		55	1100	1980
				Toplam	1100	39600



şekil 31. Elekten Geçirilen Malzemenin Tepsilenmesi

Agregaların uygun gran l metriye göre ayrılmasının ardından 36 briket için ayrı ayrı 1100 gram malzeme etüve konmak üzere tartılarak birleştirildi.



Şekil 32. Agregaların 1100 Gramlık Briketler İçin Hazırlanması

1100 gram olarak granülometrisine göre ayrılan numuneler bir sonraki gün briket hazırlığı için 24 saat etüvde kurumaya bırakıldı.



Şekil 33. Etüvde 24 Saat Kurumaya Bırakılan Numuneler

Etüvde kuruyan malzemelerle Briket hazırlama işlemine başlandı. Marshall Dizayn Raporu sonucuna göre katkısız Briketler için bitüm oranı %5,95 alınmış olup; 1100 gram malzemeye konacak olan bitüm oranı aşağıdaki şekilde belirlenmiştir,

$$1100 \times \frac{5,95}{100} = 65,5 \text{ gram} \quad (1)$$

Briketlerin hazırlanması sırasında önceden belirlemiş olduğumuz 6 karışım için 2 karışımın katkı maddesiz kalan 4 karışımın soğuk yama katkı maddesi eklenerek yapılmış olan agregası ve bitüm sıcaklıkları ve karışım oranları aşağıdaki gibidir;

Tablo 16. Karışım dizayn oranları

	1. Karışım	2. Karışım	3. Karışım	4. Karışım	5. Karışım	6. Karışım
Agrega Sıcaklığı	150 °C	100 °C	140 °C	100 °C	100 °C	100 °C
Bitüm Sıcaklığı	150 °C	140 °C	140 °C	140 °C	140 °C	140 °C
Bitüm Miktarı	65.5 gram	65.5 gram	55 gram	52.4 gram	49.1 gram	45.8 gram
Katkı Oranı	-	-	16%	20%	25%	30%
Katkı Miktarı	-	-	10.5 gram	13.1 gram	16.4 gram	19.6 gram

Karışım dizaynı için belirlenmiş olan agregası ve bitüm istenen sıcaklıklarda 24 saat etüvde bekletildi.



Şekil 34. Agregaların İstenen Sıcaklıklarda Etüvde Bekletilmesi



Şekil 35. Bitümün İstenen Sıcaklıklarda Etüvde Bekletilmesi

Dizayn için istenen sıcaklığa gelen agrega, bitüm ve soğuk yama katkı maddesinin belirlenen oranlarda karıştırılması işlemi tartılarak yapıldı ve karıştırma işlemi 3 dakika kalıba koyma işlemi 4 dakika toplamda 7 dakikada hazırlanacak şekilde briketler kalıplara konuldu.



Şekil 36. Numunelerin Tartılarak Karıştırılacağı Düzenek



Şekil 37. Katkı Maddesinin Şırınga Yardımıyla Karışıma Eklenmesi

Tartı kullanılarak karışım oranlarına göre hazırlanan numuneler 3 dakika boyunca bir kronometre yardımıyla süre tutularak karıştırıldı.



Şekil 38. Briket Hazırlığı İçin Karıştırma İşleminin Yapılması



Şekil 39. Karışımı Tamamlanmış Olan Numune

Karışımı tamamlanmış olan numuneler her bir briket için 4 dakika süre olmak üzere kalıplara konuldu.



Şekil 40. Numunelerin Kalıplara Konması

Hazırlanan briketler briket sıkıştırma makinesinde altına ve üstüne ayrı ayrı 75 vuruş olmak üzere sıkıştırma işlemi yapıldı.



Şekil 41.Briket Sıkıştırma Makinesi



Şekil 42. Hazırlanan Kalıpların Sıkıştırma Makinesine Yerleştirilmesi

Sıkıştırma işlemi tamamlanan briketlere numaralandırma işlemi yapılarak 24 saat kalıpta bekletildi.



Şekil 43. Sıkıştırma İşlemi Tamamlanan Briket

24 saat sonunda krio yardımıyla kalıptan çıkartılan briketler üstleri hafif şekilde temizlenerek yükseklik ve çap ölçümleri yapıldı.



Şekil 44. Kriko Makinesi



Şekil 45. Numaralandırılan ve 24 saat sonunda Kalıptan Çıkartılan Briketler

Kalıptan çıkartılan numuneler indirekt çekme mukavemet deneyleri yapılmak üzere 3 briket koşullandırılacak 3 briket koşulsuz olacak şekilde kendi içinde gruplandırıldı.



Şekil 46. Gruplandırılan Briketler

3.5. Numunelerin Ön Koşullandırılması

Gruplardan biri kuru test edilir diğeri deney öncesinde ön koşullandırılır. Kuru grup, oda sıcaklığında plastik, sızdırmaz torbalarda saklanır. Daha sonra numuneler 25 °C su banyosunda 2 saat $\pm$ 10 dakika süreyle bekletilir. Su banyosunda su numunelerin yüzeylerinden minimum 25 mm aşacak yükseklikte olmalıdır.

İkinci grup aşağıdaki gibi test edilir:

Numune tabandan en az 25 mm yükseklikte delikli ayırıcılarla desteklenmiş vakum kabı içine yerleştirilir. Yüzeyden en az 25 mm aşacak şekilde oda sıcaklığında çeşme suyu ile doldurulur. Kısa bir süre için (yaklaşık 5 - 10 dakika) 13 - 67 kPa kısmi basınç uygulanır. Vakum kaldırılır ve numune kısa bir süre için (yaklaşık 5-10 dakika) suda bekletilir (KGM, 2012).



Şekil 47. Vakumlama ve Suda Bekletme

Doygunluk derecesi %70'ten az ise vakumlama aşaması daha çok vakum ya da/ve zaman kullanılarak tekrarlanır. Eğer bu değer %80'den fazla ise numune hasarlıdır ve deneyden çıkarılmalıdır. Bu durumda, bir sonraki numune kullanılarak daha az vakum ya da/ve zaman ile deneye devam edilir. Doygunluk derecesi % 70 - 80 arasında ise vakum uygulanmış numune sıkıca plastik bir bant ile sarılır. Sarılmış numunelerin her biri $10 \pm 0,5$ ml su içeren plastik torbalara konulur ve torba kapatılır.

Numunelerin olduğu torbalar minimum 16 saat süreyle $(-18 \pm 3) ^\circ\text{C}$ dondurucuda bekletilir (KGM, 2012).



Şekil 48. Briketlerin Koşullandırma İçin Hazırlanması

Daha sonra dondurucudan çıkartılan numuneler 24 ± 1 saat süresince $60 \pm 1^\circ\text{C}$ su banyosuna konulur. Su numunelerin üzerine minimum 25 mm yükseklikte kaplamalıdır. Numuneler su banyosuna konulurken plastik torbaları çıkartılır (KGM, 2012).



Şekil 49. Numunelerin 25°C Su Banyosunda Bekletilmesi (KGM, 2012).

Numuneler $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$ su banyosundan çıkartılır ve ASTM D3549'a göre kalınlıkları (t) ölçülür. Numune, çelik yükleme şeritlerinin arasına yerleştirilir. Daha sonra şeritler ve numune birlikte test makinesindeki iki bağlantı plakası arasına konulur. Numuneye, test makinesinin başlığının hareketi dakikada 50 mm olana kadar yük uygulanır (KGM, 2012).



Şekil 50. Yük Değerinin Tespit Edilmesi

3.6. Briketlerin İndirekt Çekme Mukavemet (İÇM) Değerlerinin Tespit Edilmesi

- Briketlerin çapları (D) ve yükseklikleri (t) ölçülerek kaydedildi.

- Briketin havadaki ağırlığı (A) teraziye koyup ölçülen değer kaydedildi.
- Briketin Doygun Yüzey Kuru ağırlığı (B) ıslak bir havlu koyarak ölçülen değer kaydedildi.
- Briketin sudaki ağırlığı (C) ; Briket 5 dk suda bekletildikten sonra süzme teline konularak ölçüm yapıldı.
- Briketin hacmi; doymun yüzey kuru ağırlığı ile sudaki ağırlığının arasındaki fark alınarak bulundu.

$$V = B - C \quad (2)$$

- Briket hacim özgül ağırlığı (Dp);

$$Dp = \frac{\text{Biraketin Havadaki Ağırlığı (A)}}{\text{Biraketin Hacmi (V)}} \quad (3)$$

- Briket Hava Boşluğu (Vh);

$$Vh = 100 \times \frac{\text{Maksimum Teorik ÖZgöl Ağırlık(Dt)} - \text{Hacim Özgöl Ağırlık(Dp)}}{\text{Maksimum Teorik Özgöl Ağırlık(Dt)}} \quad (4)$$

- Hava Boşluğu Hacmi (Va);

$$Va = \text{Hava Boşluğu (Vh)} \times \frac{\text{Briketin Hacmi (V)}}{100} \quad (5)$$

Yukarıdaki formüller kullanılarak yapılmış olan hesaplamalara göre sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Katkı malzemesi ve karışım oluşturma parametreleri Tablo 16'da olduğu gibi belirtilmişti.

Tablo 17. Karışım dizayn parametreleri

	Agrega Sıcaklığı	Bitüm Sıcaklığı	Bitüm Miktarı	Katkı Oranı	Katkı Miktarı
1. Karışım	150 °C	150 °C	65,5 gram	-	-
2. Karışım	100 °C	140 °C	65,5 gram	-	-
3. Karışım	140 °C	140 °C	55 gram	16%	10,5 gram
4. Karışım	100 °C	140 °C	52,4 gram	20%	13,1 gram
5. Karışım	100 °C	140 °C	49,1 gram	25%	16,4 gram
6. Karışım	100 °C	140 °C	45,8 gram	30%	19,6 gram

Tablo 18. 1.karışım hesap sonuçları

1.Karışım							
BRIKET NO		1	2	3	4	5	6
Briket Çapı(mm)	D	101,5	101,5	101,4	101,5	101,4	101,5
Briket Yüksekliği (mm)	t	65,5	65,6	65,6	65,5	65,4	65,5
Briketin Havadaki Ağırlığı (g)	A	1159,3	1160,7	1159,8	1160,3	1159,9	1159,2
Briketin DYK Ağırlığı (g)	B	1164,7	1165,2	1164,0	1164,8	1163,9	1165,5
Briketin Sudaki Ağırlığı (g)	C	649,2	649,8	647,8	648,7	647,2	650,3
Briketin Hacmi (cm ³)	V	515,5	515,4	516,2	516,1	516,7	515,2
Hacim Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Dp	2,249	2,252	2,247	2,248	2,245	2,250
Hava Boşluğu %	Vh	4,91	4,78	5,00	4,94	5,08	4,86
Hava Boşluğu Hacmi (cm ³)	Va	25,3	24,6	25,8	25,5	26,3	25,1

Tablo 19. 2. Karışım hesap sonuçları

2.Karışım							
BRIKET NO		1	2	3	4	5	6
Briket Çapı(mm)	D	101,4	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5
Briket Yüksekliği (mm)	t	67,3	67,5	67,6	67,7	67,7	67,5
Briketin Havadaki Ağırlığı (g)	A	1164,0	1163,0	1160,4	1158,7	1160,3	1161,7
Briketin DYK Ağırlığı (g)	B	1171,0	1174,1	1171,8	1173,0	1172,6	1171,6
Briketin Sudaki Ağırlığı (g)	C	644,0	645,5	645,5	646,1	644,7	642,8
Briketin Hacmi (cm ³)	V	527,0	528,6	526,3	526,9	527,9	528,8
Hacim Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Dp	2,209	2,200	2,205	2,199	2,198	2,197
Hava Boşluğu %	Vh	6,61	6,97	6,77	7,02	7,06	7,11
Hava Boşluğu Hacmi (cm ³)	Va	34,8	36,8	35,6	37,0	37,3	37,6

Tablo 20. 3. Karışım hesap sonuçları

3.Karışım							
BRIKET NO		1	2	3	4	5	6
Briket Çapı(mm)	D	101,5	101,4	101,6	101,5	101,5	101,5
Briket Yüksekliği (mm)	t	66,1	66,0	66,0	66,1	66,2	66,2
Briketin Havadaki Ağırlığı (g)	A	1161,2	1160,5	1159,9	1158,6	1158,2	1158,3
Briketin DYK Ağırlığı (g)	B	1163,3	1162,9	1162,7	1163,0	1162,5	1161,8
Briketin Sudaki Ağırlığı (g)	C	642,1	640,4	640,9	642,0	641,9	639,8
Briketin Hacmi (cm ³)	V	521,2	522,5	521,8	521,0	520,6	522,0
Hacim Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Dp	2,228	2,221	2,223	2,224	2,225	2,219
Hava Boşluğu %	Vh	5,80	6,09	6,01	5,97	5,93	6,17
Hava Boşluğu Hacmi (cm ³)	Va	30,2	31,8	31,4	31,1	30,9	32,2

Tablo 21. 4. Karışım hesap sonuçları

4.Karışım							
BRIKET NO		1	2	3	4	5	6
Briket Çapı(mm)	D	101,5	101,4	101,4	101,4	101,5	101,4
Briket Yüksekliği (mm)	t	65,8	65,7	65,8	65,8	65,7	65,9
Briketin Havadaki Ağırlığı (g)	A	1158,2	1157,8	1159,6	1158,1	1159,3	1159,9
Briketin DYK Ağırlığı (g)	B	1161,5	1160,9	1162,5	1161,8	1161,5	1164,0
Briketin Sudaki Ağırlığı (g)	C	642,6	643,6	644,1	643,4	644,0	646,0
Briketin Hacmi (cm ³)	V	518,9	517,3	518,4	518,4	517,5	518,0
Hacim Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Dp	2,232	2,238	2,237	2,234	2,240	2,239
Hava Boşluğu %	Vh	5,62	5,36	5,42	5,54	5,28	5,32
Hava Boşluğu Hacmi (cm ³)	Va	29,2	27,7	28,1	28,7	27,3	27,6

Tablo 22. 5. Karışım hesap sonuçları

5.Karışım							
BRIKET NO		1	2	3	4	5	6
Briket Çapı(mm)	D	101,4	101,4	101,5	101,5	101,5	101,5
Briket Yüksekliği (mm)	t	65,2	65,4	65,2	65,3	65,5	65,3
Briketin Havadaki Ağırlığı (g)	A	1157,5	1162,0	1158,7	1159,9	1160,9	1157,5
Briketin DYK Ağırlığı (g)	B	1159,3	1165,3	1160,1	1162,8	1163,8	1160,9
Briketin Sudaki Ağırlığı (g)	C	642,6	645,8	643,1	644,1	645,1	644,2
Briketin Hacmi (cm ³)	V	516,7	519,5	517,0	518,7	518,7	516,7
Hacim Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Dp	2,240	2,237	2,241	2,236	2,238	2,240
Hava Boşluğu %	Vh	5,28	5,42	5,23	5,45	5,37	5,28
Hava Boşluğu Hacmi (cm ³)	Va	27,3	28,2	27,1	28,3	27,8	27,3

Tablo 23. 6.Karışım hesap sonuçları

6.Karışım							
BRIKET NO		1	2	3	4	5	6
Briket Çapı(mm)	D	101,5	101,4	101,5	101,4	101,4	101,4
Briket Yüksekliği (mm)	t	65,4	65,5	65,3	65,4	65,3	65,4
Briketin Havadaki Ağırlığı (g)	A	1159,3	1157,8	1159,2	1159,5	1158,8	1157,0
Briketin DYK Ağırlığı (g)	B	1160,9	1161,2	1161,6	1162,0	1161,0	1159,1
Briketin Sudaki Ağırlığı (g)	C	643,8	643,2	643,6	644,6	643,5	641,0
Briketin Hacmi (cm ³)	V	517,1	518,0	518,0	517,4	517,5	518,1
Hacim Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Dp	2,242	2,235	2,238	2,241	2,239	2,233
Hava Boşluğu %	Vh	5,20	5,49	5,38	5,24	5,32	5,57
Hava Boşluğu Hacmi (cm ³)	Va	26,9	28,4	27,9	27,1	27,5	28,9

3.7. Koşulsuz Grup İndirekt Çekme Mukavemet Hesabı

- Briket kırma makinesinin Briketleri kırmasıyla okunan her yük (P) değeri kaydedildi.
- Kuru grup için İndirekt Çekme Mukavemet (S1) değerleri her karışım için ve her Briket için aşağıdaki gibi ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$S1 = \frac{2000 \times P}{3,14 \times D \times t} \quad (6)$$

- Kuru grupta 3 Briket için de S1 değerleri hesaplandıktan sonra kümülatif İÇM (S1) değeri bulundu.
- Her karışım için hesaplanan İÇM değerleri aşağıdaki gibidir:

Tablo 24. Kuru grup 1. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu

1. Karışım				
KURU GRUP				
Briket No		2	4	5
Yük (KN)		6,53	6,48	6,29
Yük (N)	P	6530	6480	6290
Briket Çapı(mm)	D	101,5	101,5	101,4
Briket Yüksekliği (mm)	t	65,6	65,5	65,4
İÇM Değeri (Kpa) (2000*P/3.14*D*t)	S1	624,7	620,8	604,1
ΣS1		1849,6		

Tablo 25. Kuru grup 2. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu

2. Karışım				
KURU GRUP				
Briket No		2	3	6
Yük (KN)		5,11	5,31	5,23
Yük (N)	P	5110	5310	5230
Briket Çapı(mm)	D	101,5	101,5	101,5
Briket Yüksekliği (mm)	t	67,5	67,6	67,5
İÇM Değeri (Kpa) (2000*P/3.14*D*t)	S1	475,1	492,9	486,2
ΣS1		1454,2		

Tablo 26. Kuru grup 3. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu

3. Karışım				
KURU GRUP				
Briket No		2	4	5
Yük (KN)		1,46	1,24	1,63
Yük (N)	P	1460	1240	1630
Briket Çapı(mm)	D	101,4	101,5	101,5
Briket Yüksekliği (mm)	t	66,0	66,1	66,2
İÇM Değeri (Kpa) (2000*P/3.14*D*t)	S1	139,0	117,7	154,5
ΣS1		411,2		

Tablo 27. Kuru grup 4. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu

4. Karışım				
KURU GRUP				
Briket No		1	2	5
Yük (KN)		1,19	1,17	1,11
Yük (N)	P	1190	1170	1110
Briket Çapı(mm)	D	101,5	101,4	101,5
Briket Yüksekliği (mm)	t	65,8	65,7	65,7
İÇM Değeri (Kpa) (2000*P/3.14*D*t)	S1	113,5	111,9	106,0
ΣS1		331,4		

Tablo 28. Kuru grup 5. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu

5. Karışım				
KURU GRUP				
Briket No		2	3	5
Yük (KN)		1,26	1,02	1,14
Yük (N)	P	1260	1020	1140
Briket Çapı(mm)	D	101,4	101,5	101,5
Briket Yüksekliği (mm)	t	65,4	65,2	65,5
İÇM Değeri (Kpa) (2000*P/3.14*D*t)	S1	121,0	98,2	109,2
$\Sigma S1$		328,4		

Tablo 29. Kuru grup 6. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu

6. Karışım				
KURU GRUP				
Briket No		1	5	6
Yük (KN)		0,89	0,62	0,72
Yük (N)	P	890	620	720
Briket Çapı(mm)	D	101,5	101,4	101,4
Briket Yüksekliği (mm)	t	65,4	65,3	65,4
İÇM Değeri (Kpa) (2000*P/3.14*D*t)	S1	85,4	59,6	69,2
$\Sigma S1$		214,2		

3.8. Koşullandırma Grupların İndirekt Çekme Mukavemeti Hesabı

- Koşullandırma sonrası her Briket için yükseklik (t') değerleri ölçülerek kaydedildi ve gerekli olan diğer hesaplamalar yapıldı.
- A= Briketin Havadaki Ağırlığı (g)
- t'= Koşullandırma sonrası Briket yüksekliği (mm)
- B'=Koşullandırma sonrası Briketin doygun yüzey kuru ağırlığı (gr)
- J'=Koşullandırma sonrası Briketin hacmi (gr)
- Va=Hava Boşluğu Hacmi (cm³)
- S'=Doygunluk Derecesi
- D= Briket Çapı
- S₂=İndirekt Çekme Mukavemeti Değeri (kpa)

- Suya Doyurulacak oran Hava Boşluğu Hacminin şartnameye göre %70-%80 oranları arasında olmalıdır.

$$(B') = (A) + V_a \times 0,70 \quad (7)$$

$$(B') = (A) + V_a \times 0,80 \quad (8)$$

- Koşullandırma sonrası Briketin hacmi (J');

$$J' = B' - A \quad (9)$$

- Hava boşluğu hacmi (V_a) ;

$$V_a = V_h \times \frac{V}{100} \quad (10)$$

- Doygunluk Derecesi (S') değerinin 70~80 aralığında olması beklenir;

$$S' = 100 \times \frac{J'}{V_a} \quad (11)$$

- Briket kırılması işleminden sonra okunan tüm yük değerleri (P') okunarak kaydedildi.
- Koşullandırma sonrası indirekt çekme mukavemet değerleri (S_2) aşağıdaki formülle koşullandırılmış 3 Briket için de ayrı ayrı hesaplandı.

$$S_2 = \frac{2000 \times P'}{3,14 \times D \times t'} \quad (12)$$

- Koşullandırma sonrası hesaplanan indirekt çekme mukavemet değerleri (S_2) toplanarak kümülatif İÇM değeri bulundu ve daha önce koşulsuz olarak hesaplanan kümülatif İÇM değeri ile arasındaki oran hesaplanarak karışımın İndirekt Çekme Mukavemet Değeri bulundu.

Tüm Karışımlara ait koşullu İÇM değerleri aşağıdaki gibidir;

Tablo 30. Koşullandırılmış grup 1. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu

1. Karışım				
KOŞULLANDIRILMIŞ GRUP				
Briket No		1	3	6
Koşullandırma Sonrası Briket Yüksekliği(mm)	t'	65,5	65,6	65,5
Koşullandırma Sonrası Briketin DYK Ağırlığı(gr)	B'	1179,30	1178,80	1178,50
Briketin Havadaki Ağırlığı (g)	A	1159,3	1159,8	1159,2
Koşullandırma Sonrası Briketin Hacmi(gr)(J=B'-A)	J'	20,0	19,0	19,3
Hava Boşluğu Hacmi (V _h xV/100) (cm ³)	V _a	25,3	25,8	25,0
Doygunluk Derecesi % [100xJ'/V _a]	S'	79,1	73,6	77,2
Yük (KN)		6,03	5,63	5,47
Yük (N)	P'	6030	5630	5470
Briket Çapı(mm)	D	101,5	101,4	101,5
İÇM Değeri (Kpa) (2000*P'/3.14*D*t')	S2	577,7	539,1	524,1
ΣS2		1641		

Tablo 31. Koşullandırılmış grup 2. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu

2. Karışım				
KOŞULLANDIRILMIŞ GRUP				
Briket No		1	4	5
Koşullandırma Sonrası Briket Yüksekliği(mm)	t'	67,3	67,7	67,7
Koşullandırma Sonrası Briketin DYK Ağırlığı(gr)	B'	1187,90	1187,20	1189,30
Briketin Havadaki Ağırlığı (g)	A	1161,0	1158,7	1160,3
Koşullandırma Sonrası Briketin Hacmi(gr)(J=B'-A)	J'	26,9	28,5	29,0
Hava Boşluğu Hacmi (V _h xV/100) (cm ³)	V _a	36,1	37,0	37,3
Doygunluk Derecesi % [100xJ'/V _a]	S'	74,5	77,0	77,7
Yük (KN)		3,91	3,16	3,01
Yük (N)	P'	3910	3160	3010
Briket Çapı(mm)	D	101,4	101,5	101,5
İÇM Değeri (Kpa) (2000*P'/3.14*D*t')	S2	364,9	292,9	279,0
ΣS2		937		

Tablo 32. Koşullandırılmış grup 3. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu

3. Karışım				
KOŞULLANDIRILMIŞ GRUP				
Briket No		1	3	6
Koşullandırma Sonrası Briket Yüksekliği(mm)	t'	66,1	66,0	66,2
Koşullandırma Sonrası Briketin DYK Ağırlığı(gr)	B'	1185,00	1183,60	1183,90
Briketin Havadaki Ağırlığı (g)	A	1161,2	1159,9	1158,3
Koşullandırma Sonrası Briketin Hacmi(gr)(J=B'-A)	J'	23,8	23,7	25,6
Hava Boşluğu Hacmi (V _h xV/100) (cm ³)	V _a	30,2	31,3	32,2
Doygunluk Derecesi % [100xJ'/V _a]	S'	78,8	75,7	79,5
Yük (KN)		1,05	0,87	0,75
Yük (N)	P'	1050	870	750
Briket Çapı(mm)	D	101,5	101,6	101,5
İÇM Değeri (Kpa) (2000*P'/3.14*D*t')	S2	99,7	82,6	71,1
ΣS2		253		

Tablo 33. Koşullandırılmış grup 4. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu

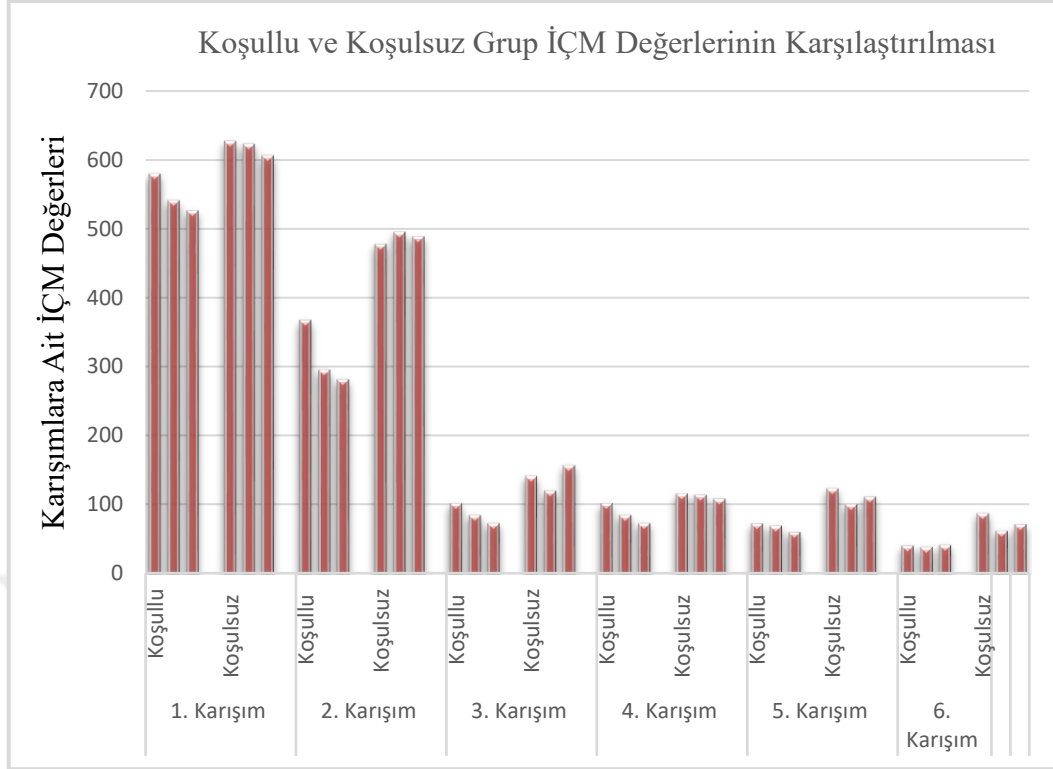
4. Karışım				
KOŞULLANDIRILMIŞ GRUP				
Briket No		3	4	6
Koşullandırma Sonrası Briket Yüksekliği(mm)	t'	66,1	66,0	66,2
Koşullandırma Sonrası Briketin DYK Ağırlığı(gr)	B'	1185,00	1183,60	1183,90
Briketin Havadaki Ağırlığı (g)	A	1161,2	1159,9	1158,3
Koşullandırma Sonrası Briketin Hacmi(gr)(J=B'-A)	J'	23,8	23,7	25,6
Hava Boşluğu Hacmi (V _h xV/100) (cm ³)	V _a	30,2	31,3	32,2
Doygunluk Derecesi % [100xJ'/V _a]	S'	78,8	75,7	79,5
Yük (KN)		1,05	0,87	0,75
Yük (N)	P'	1050	870	750
Briket Çapı(mm)	D	101,5	101,6	101,5
İÇM Değeri (Kpa) (2000*P'/3.14*D*t')	S2	99,7	82,6	71,1
ΣS2		253		

Tablo 34. Koşullandırılmış grup 5. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu

5. Karışım				
KOŞULLANDIRILMIŞ GRUP				
Briket No		1	4	6
Koşullandırma Sonrası Briket Yüksekliği(mm)	t'	65,2	65,3	65,3
Koşullandırma Sonrası Briketin DYK Ağırlığı(gr)	B'	1178,70	1181,30	1178,70
Briketin Havadaki Ağırlığı (g)	A	1157,5	1159,9	1157,5
Koşullandırma Sonrası Briketin Hacmi(gr)(J=B'-A)	J'	21,2	21,4	21,2
Hava Boşluğu Hacmi (V _h xV/100) (cm ³)	V _a	27,3	28,3	27,3
Doygunluk Derecesi % [100xJ'/V _a]	S'	77,7	75,6	77,7
Yük (KN)		0,73	0,70	0,60
Yük (N)	P'	730	700	600
Briket Çapı(mm)	D	101,4	101,5	101,5
İÇM Değeri (Kpa) (2000*P'/3.14*D*t')	S2	70,3	67,3	57,7
ΣS2		195		

Tablo 35. Koşullandırılmış grup 6. karışım indirekt çekme mukavemeti sonucu

6. Karışım				
KOŞULLANDIRILMIŞ GRUP				
Briket No		2	3	4
Koşullandırma Sonrası Briket Yüksekliği(mm)	t'	65,5	65,3	65,4
Koşullandırma Sonrası Briketin DYK Ağırlığı(gr)	B'	1178,10	1180,20	1178,90
Briketin Havadaki Ağırlığı (g)	A	1157,8	1159,2	1159,5
Koşullandırma Sonrası Briketin Hacmi(gr)(J=B'-A)	J'	20,3	21,0	19,4
Hava Boşluğu Hacmi (V _h xV/100) (cm ³)	V _a	71,2	75,5	71,6
Doygunluk Derecesi % [100xJ'/V _a]	S'	28,5	27,8	27,1
Yük (KN)		0,40	0,38	0,41
Yük (N)	P'	400	380	410
Briket Çapı(mm)	D	101,4	101,5	101,4
İÇM Değeri (Kpa) (2000*P'/3.14*D*t')	S2	38,4	36,5	39,4
ΣS2		114		



Şekil 51. Briketlerin İÇM Değerlerinin Karşılaştırılması Grafiği

Karışımların kendi içlerinde koşullu grup ve koşulsuz grup İÇM değerlerinin oransal karşılaştırılması Tablo 36.'da verilmiştir.

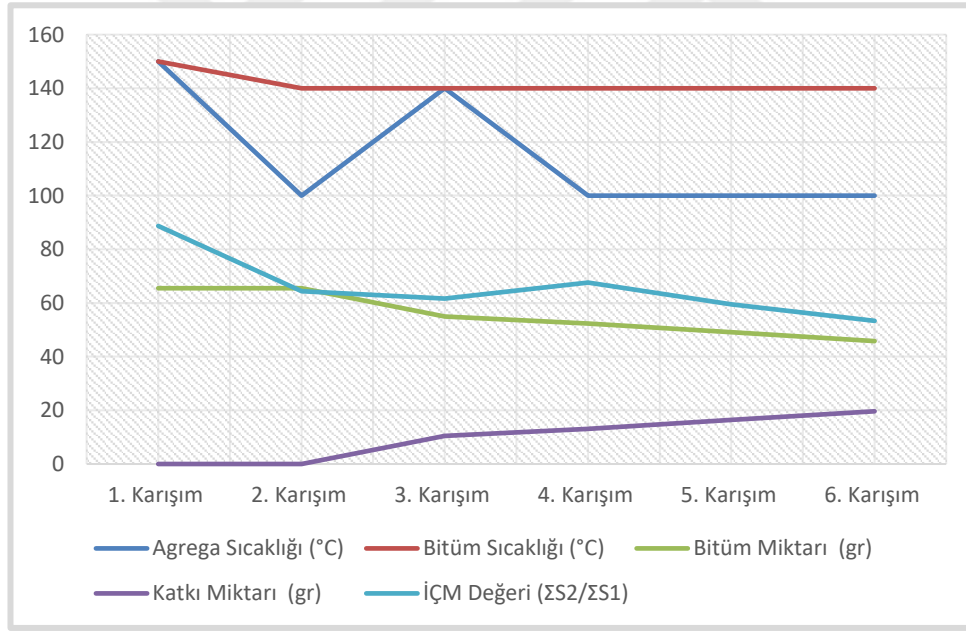
Tablo 36. Karışımların İÇM değerlerinin oransal karşılaştırılması

S1/S2 Oranları					
Karışım 1	Karışım 2	Karışım 3	Karışım 4	Karışım 5	Karışım 6
1,08136	1,302	1,39418	1,13842	1,72119	2,22396
1,15878	1,62206	1,68281	1,37409	1,79792	2,33973
1,19195	1,70287	1,95499	1,59634	2,09705	2,16751
1,07461	1,35078	1,18054	1,12237	1,39687	1,55208
1,15155	1,68283	1,42494	1,35472	1,45914	1,63288
1,18451	1,76667	1,65541	1,57384	1,70191	1,51269
1,0457	1,33242	1,54965	1,06319	1,55334	1,80208
1,12057	1,65995	1,87046	1,28329	1,62259	1,89589
1,15264	1,74265	2,173	1,49086	1,89255	1,75635

Sonuç olarak bulduğumuz İndirekt Çekme Mukavemet Değerleri Tablo 37.' de verilmiştir;

Tablo 37. Karışımların indirekt çekme mukavemeti sonuçları

	<u>Agrega Sıcaklığı</u>	<u>Bitüm Sıcaklığı</u>	<u>Bitüm Miktarı (gr)</u>	<u>Katkı Oranı (%)</u>	<u>Katkı Miktarı (gr)</u>	<u>S1 Değeri (kpa)</u>	<u>S2 Değeri (kpa)</u>	<u>İÇM Değeri ($\Sigma S2/\Sigma S1$)</u>
1. Karışım	150 °C	150 °C	65,5	-	-	1849,62	1640,87	88,71
2. Karışım	100 °C	140 °C	65,5	-	-	1454,21	936,86	64,42
3. Karışım	140 °C	140 °C	55	16%	10,5	411,19	253,42	61,63
4. Karışım	100 °C	140 °C	52,4	20%	13,1	331,37	224,23	67,67
5. Karışım	100 °C	140 °C	49,1	25%	16,4	328,41	195,26	59,46
6. Karışım	100 °C	140 °C	45,8	30%	19,6	214,19	114,26	53,34



Şekil 52. İndirekt Çekme Mukavemeti Değişim Grafiği

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, soğuk yama katkı maddesi eklenmiş altı farklı bitüm karışımının performansı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, katkı maddesinin bitüm karışımlarının indirekt çekme mukavemeti üzerindeki etkilerini göstermektedir.

İlk olarak, katkı maddesi eklenmeyen karışımlarda (Karışım 1) bitüm sıcaklığı 150°C ve agrega sıcaklığı 150°C olduğunda, bitüm miktarı 65.5 gram ile en yüksek indirekt çekme mukavemeti olan 88.71 kPa elde edilmiştir. Bu, bitüm miktarının ve sıcaklığının mukavemeti olumlu yönde etkilediğini göstermektedir.

Katkı maddesi eklenmiş karışımlarda ise, mukavemet değerlerinde önemli değişiklikler gözlemlenmiştir. Özellikle Karışım 3'te, 10.5 gram katkı maddesi eklenmiş ve bitüm miktarı 55 gram olmuştur. Bu karışımda indirekt çekme mukavemeti 61.63 kPa olarak ölçülmüştür. Katkı oranı arttıkça, mukavemet değerlerinde gözle görülür bir azalma yaşanmıştır. Örneğin, Karışım 6'da, 19.6 gram katkı maddesi eklenmiş ve bitüm miktarı 45.8 gram olarak kullanılmıştır. Bu karışımda, en düşük mukavemet değeri olan 53.34 kPa elde edilmiştir.

Bu bulgular, katkı maddesi oranının arttırılmasının ve bitüm miktarının azaltılmasının, karışımların mukavemetini düşürdüğünü göstermektedir. Ayrıca, bitüm ve agrega sıcaklıklarının da mukavemet üzerinde önemli bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Katkı oranı ile bitüm miktarının birlikte değerlendirilmesi, optimum performans için kritik bir faktördür. Sonuç olarak, bitüm karışımlarında kullanılacak katkı maddesi miktarının ve bitüm miktarının dikkatlice belirlenmesi, mukavemet özelliklerinin iyileştirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Hava boşluğu değişimleri incelendiğinde agrega ve bitüm sıcaklığının 150 °C olarak uygulandığı karışımlarda hava boşluğu değerleri en düşük değerleri vermektedir. Bu konu sıcak karışım mantığının karışımların sıkışabilirliği üzerindeki pozitif etkisini göstermektedir.

Koşullu ve Koşulsuz grupların İÇM değerleri incelendiğinde tüm gruplar için koşullama ile İÇM değerlerinin belirgin olarak azaldığı görülmektedir. Bu konu, su hasarı koşullandırmasının mekanik ölçüt olarak İÇM'de azalma olarak gözlemlenebildiğini işaret etmektedir.

En yüksek İÇM değerleri 1.grup ve 2.grupta görülmektedir. 2.grupta karışımda katkı olmamasına karşın agrega sıcaklığının 100 °C değerine düşmesiyle birlikte sıcaklığın 150°C sıcaklıkta karışımların yüksek İÇM değeri vermesinde bitüm ısıısının mekanik dayanımda İÇM anlamında üst düzeyde etkili olduğu değerlendirilmektedir.

Çok yüksek bir su hasarı düzeyi uygulanmasına karşın, bitüm varlığının azaltılması ile birlikte oransal İÇM değerlerinin kabul kriterlerini sağlayabileceği yorumlanmaktadır. Katkı oranının %16 değerinin kabul eşiği olarak değerlendirilmesi durumunda bu koşullarda şartname değerlerinin sağlanabileceği görülmektedir. Ancak unutulmaması gereken en önemli konu kullanılacak katkının sahada kullanılacağı agregaya, bitüme, dizayn koşullarına, karışım granülometrisine sıkı sıkıya bağlı olduğudur. Katkıların etkinliği ve başarımlı derecesi proje bazlı olarak malzeme bazlı değerlendirmeden kullanılması doğru değildir. Genelleme yaklaşımı yetersiz kalacaktır. Bu koşullar altında yama malzemesi olarak bile olsa seçilen hasar koşullaması ele alındığında başarımlı sonuçların alınabileceği görülmektedir.

5. KAYNAKÇA

- Aksoy, A., Korzay, B., & Tekin, M. (2023). Sönmüş Kireç-Diatomit-SBS Katkılarıyla Geri Dönüştürülmüş Asfalt Kaplamaların Performans Analizi. *Turkish Journal of Civil Engineering*, s. 53-79.
- Barış, A. (2018). Esnek ve Rijit Üstyapılarda Kaplama Kalınlığı ve Üstyapı. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 10(2), s. 110-118.
- Canestrari, F., & Ingrassia, L. P. (2020). A review of top-down cracking in asphalt pavements: Causes, models, experimental tools and future challenges. *ScienceDirect*, 7(5), s. 541-572.
- Chatterjee, S., White, R. P., Smit, A., Prozzi, J., & Prozzi, J. A. (2006). *Development of mix design and testing procedures for cold patching mixtures*.
- Chen, W., & Zheng, M. (2021). Multi-objective Optimization for Pavement Maintenance and Rehabilitation. *Automation in Construction*, 130, s. 103840.
- Dong, Q., Huang, B., & Jia, X. (2014). Long-Term Cost-Effectiveness of Asphalt Pavement Pothole Patching Method. *Transportation Research Record*, 2431(1), s. 49-56.
- Erdoğan, A. (2024, Şubat 12). Asfalt Betonlu Kaplamalarda Meydana Gelen Bozulmalar, Nedenleri ve İyileştirilmeleri. <https://www.bisantiye.com/asfalt-betonu-kaplamalarda-meydana-gelen-bozulmalar-nedenleri-ve-iyilestirilmeleri/> adresinden alındı
- Kanburoğlu, E. (2024, Temmuz 4). Karayolu Üstyapılarında Görülen 6 Önemli Bozulma Tipi ve Onarım Yöntemleri: <https://www.sanalsantiye.com/karayolu-ustyapilarinda-gorulen-6-onemli-bozulma/> adresinden alındı
- KGM. (2012). *Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları*. Ankara.
- KGM. (2023). *Karayolu Teknik Şartnamesi*. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü.
- KGM. (2023). *Karayolları Esnek Üstyapılar Rehabilitasyon Tasarım Rehberi*. Ankara.
- Koçak, S., & Haider, S. W. (2023). Performance and cost evaluations of 100% recycled hot asphalt mixtures for pothole patching applications in flexible pavements. *Construction and Building Materials*, 392, s. 131921.
- Lu, Y., & Hajj, R. (2021). Investigation of flexible pavement maintenance patching factors using a finite element model. *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*, 2(1), s. 30.
- Öztürk, T. (2019). *Soğuk Asfalt Katkılarının Bitümlü Karışımların Performansına Etkisinin Araştırılması*. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

- Öztürk, T., Tutan, S. N., Komut, M., & Kiziroğlu, S. (tarih yok). Evaluation Of Cold Mix Asphalts And Additives, Applied In Turkey, Developing Of The Specifications That Concern Manufacturing, Usage And Quality Control. *Eurasphalt and Eurobitume Congress*, (s. 3).
- Porto, M., Caputo, P., Loise, V., Eskandarsefat, S., Teltayev, B., & Rossi, C. O. (2019). Bitumen and bitumen modification: A review on latest advances. *Applied sciences*, 9(4), s. 742.
- Sakthivel, S. N., Kathuria, A., & Singh, B. (2022). Utilization of inferior quality aggregates in asphalt mixes: A systematic review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 9(5), s. 864-879.
- Saltan, M., & Unsal, F. (2018). Vermikülitin Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılabilirliğinin Marshall Stabilite Deney. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), s. 253-257.
- Sharad.S.Adlinge, & A.K.Gupta, P. (2013). Pavement Deterioration and its Causes. *International journal of innovative research and development*, 2(4), s. 437-450.
- State of California Department. (2007, October 24). Patching and Edge Repair. *Maintenance Technical Advisory Guide*, 1.
- URL-1. (2024, Mart 16). Asfalt Nedir, Nasıl Hazırlanır, Asfalt Yol Yapımı: <https://insapedia.com/asfalt-nedir-nasil-hazirlanir-asfalt-yol-yapimi/> adresinden alındı
- URL-2. (2024, Mart 23). Paving Patches and Repairs Explained: <https://sableasphalt.com/paving-patches-repairs-explained/> adresinden alındı
- URL-3. (2024, Ağustos 15). Alligator cracks on the asphalt pavement: https://www.researchgate.net/figure/Alligator-cracks-on-the-asphalt-pavement-42_fig4_326056680 adresinden alındı
- URL-4. (2024, Temmuz 15). Agregat No 2: <https://danismaden.com/agrega-no-2-urununu> adresinden alındı
- URL-5. (2024, Ağustos 8). Asfalt Yollarda Meydana Gelen Hasar Çeşitleri: <https://insapedia.com/asfalt-yollarda-meydana-gelen-kusur-ve-hasar-cesitleri/> adresinden alındı
- URL-6. (2024, Nisan 7). How to Repair an Asphalt Pothole: <https://www.xlasphaltemelbourne.com.au/repair-asphalt-pothole/> adresinden alındı
- URL-7. (2024, Ağustos 11). Reflection Cracking: <https://pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-management/pavement-distresses/reflection-cracking/> adresinden alındı
- Wang, T., Dra, Y. A., Cai, X., Cheng, Z., Zang, D., Lin, Y., & Yu, H. (2022). Advanced cold patching materials (CPMs) for asphalt pavement pothole. *Journal of Cleaner Production*, 366, s. 133001.

Zhang, Q., Zhou, J., Wu, D., Zheng, J., & Zhang, L. (2023). Preparation and performance evaluation of rubber powder-polyurethane composite modified cold patch asphalt and cold patch asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, 369, s. 130473.



ÖZGEÇMİŞ

Esra Didem Başkan, İlköğrenimini Karşıyaka Cumhuriyet İlköğretim Okulu'nda bitirdikten sonra lise eğitimini 2006 yılında Karşıyaka Lisesi'nde tamamladı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2012-2016 yılları arasında bitirerek İnşaat Mühendisi unvanını aldı. 2021 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Lisans mezuniyeti sonrası 2016-2023 yılları arasında Karayolları 18. Bölge Müdürlüğü Yol Yapım Başmühendisliği biriminde Hakediş ve Kesin Hesap Mühendisi olarak özel bir firmaya bağlı olarak çalıştı. 2023 yılında memur olarak Millî Eğitim Bakanlığına atandı ve halen memur olarak çalışmaktadır.