

Marshall Tasarım Deneyi

Kullanılan Standartlar: TS EN 3720/12697, AASHTO T 245, ASTM D 1559

Deneyin Amacı: Bitümlü sıcak karışım için kullanılacak olan optimum bitüm miktarını tayin etmek üzere yapılır. Karışım dizaynının amaçları genel olarak ise şunlardır:

- Sağlam (Durabil) bir üstyapı elde etmek için gerekli bitüm miktarını belirlemek,
- Trafik yükleri altında deformasyon göstermeyecek yeterli dayanımı oluşturmak,
- Sıkıştırılmış tabakada, trafik altında oluşabilecek çok az miktarda sıkışmayı; kuma, akma ve stabilite düşüklüğü olmadan sağlayacak, ancak tabakanın içinde rutubet ve fazla hava barındırmayacak ölçüde boşluk sağlamak,
- Segregasyon (Ayrışma) olmadan uygun serimi sağlayacak işlenebilirliğe sahip ekonomik bir karışım ve agrega gradasyonu belirlenmektedir.

Ayrıca deney ile bitümlü karışımların dayanım, akma ve numune özellikleri hakkında sonuçlar elde edilir.

Kullanılan Deney Aletleri:

Marshall tokmağı: 4.536 kg ağırlığında silindirik tokmak ve bu tokmağın 45.7 cm yükseklikten karışım üzerine serbest düşme yapmasını sağlayan düzenektir.

Mikser: Agregası ve bitümün birbirine homojen biçimde karışmasını sağlayan karıştırıcıdır.

Mikser ısıtma cihazı: Agregası ve bitüm mikser ile karıştırılırken, ısı kaybını önlemek amacıyla, mikser kabının altında portatif olarak kullanılabilen ısıtıcıdır.

Numune kalıpları: 100 mm çapında, 63.5 mm yüksekliğinde silindirik numune üretimine uygun boyutlarda kalıplardır. Numune kalıpları; üst başlık, orta kalıp ve tabanlık olmak üzere üç parçadan oluşur.

Kriko (Numune çıkarıcı): Numuneleri kalıplardan düzgün bir şekilde numuneye zarar vermeden çıkarmaya yarayan alettir.

Elektronik terazi: ± 0.1 gr hassasiyetle ölçüm yapabilen terazidir.

Etüv: Deneyde kullanılan yardımcı aletlerin, agregaların ve bitümün istenilen sıcaklıkta tutulmasını sağlayan alettir.

Su banyosu: Kalıptan çıkan numuneleri 60°C sıcaklıkta su içinde tutmak amacıyla kullanılır.

Marshall test cihazı: Marshall briketlerinin dayanım ve akma miktarını ölçmeye yarayan düzeneştir. 51 mm/dakika yükleme hızına sahiptir.

Kumpas: Numune yüksekliklerini ölçmek için kullanılan dijital ekranlı cetveldir.

Agrega kapları

Isıölçer

Kürek ve şişleme çubuğu

Deneyin Yapılışı:

1. 160°C sıcaklığa ayarlanmış etüv içerisinde gradasyonu önceden belirlenmiş 1150 gr ağırlığındaki agrega numunesi bir gün (24 saat), bitüm ise 2-3 saat bekletilir.
2. Deney boyunca kullanılacak olan kalıplar, şişleme çubuğu, kürek ve agrega kapları deney esnasında herhangi bir ısı kaybı yaşanmaması için 160°C'lik etüvde tutulmalıdır.
3. Agrega karışımı etüvden çıkarılıp mikser kabına konulur, ortasına bitümü ekleyebilmek için çukur açılır. Terazide tartılan belirli miktarda bitüm agrega üzerine dökülür.
Bitüm miktarı agrega ağırlığının %3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6 ve 6.5 kadarı olarak belirlenir. Belirlenen her bitüm miktarı için 3 adet olmak üzere, deneyde kullanmak amacıyla toplam 21 (3*7) adet numune hazırlanır.
4. Agrega ve bitüm mikserde 1.5-2 dakika karıştırılır. Bu esnada karışım sıcaklığının düşmemesi için mikser kabı mikser ısıtma cihazına yerleştirilir. Benzer şekilde ısı kaybını önlemek amacıyla mikser başlığının etüvde bekletilip kullanılması gerekmektedir.
5. Numunenin karıştırılması bitmek üzereyken kalıplar etüvden çıkarılır ve vazelin vb. bir madde ile yapışmayı önlemek amacıyla yağlanır. Kalıp tabanına, uygun boyutlarda kesilerek hazırlanmış yağlı veya geçirimsiz kâğıt yerleştirilir.
6. Mikserdeki karışım kürek ile alınıp şişlenerek kalıba yerleştirilir. Karışımın bu aşamada sıcaklığı ölçülür ve üzerine tekrar yağlı veya geçirimsiz kâğıt konulur. Karışım sıcaklığı 140°C'nin altına düşmüş olmamalıdır.
7. Numune kalıbı Marshall tokmağına yerleştirilir ve her iki yüze BSK (bitümlü sıcak karışım) için 75, TMA (taş mastik asfalt) için 50 vuruş yapılır.
Çevirme sırasında numunede malzeme kaybı olmamasına özellikle dikkat edilmelidir.

8. Tokmaktan çıkarılan kalıp numunenin soğuması amacıyla temiz ve düz bir yere bırakılır. Numunenin alt ve üst yüzeyindeki kâğıtlar bu aşamada numune soğumadan çıkarılmalıdır. Numune soğudukça kâğıtların yapışması daha fazla olacağı için çıkarmak daha zor olacaktır.
9. Kalıplar yaklaşık 3 saat soğumaya bırakılır. Numuneler soğuyan kalıptan kriko yardımı ile çıkarılır, adlandırılarak işaretlenir.
10. Numuneler oda sıcaklığında bir gün bekletilir.
11. Ertesi gün varsa numunelerin etrafındaki çapaklar temizlenir. Kumpas yardımıyla numunelerden yükseklik ölçümü alınır. Bunun için numunenin 3 farklı yerinden yaklaşık 120°'de bir ölçüm alınması gerekmektedir.
12. Numunelerin havadaki ve sudaki ağırlıkları ölçülür, not alınır.
13. Numuneler 60°C sıcaklıktaki su banyosunda 30 dakika bekletilir.
14. Su banyosundan çıkan numuneler kurulanır ve Marshall dayanım cihazına yerleştirilir. Cihaz çalıştırılır bu esnada cihazın çeneleri numuneye 51 mm/dakikalık bir hızla yük uygular. Bunun sonucunda numunenin akma ve dayanım değerleri elde edilir.
15. Önceki adımların tüm numunelere uygulanması ile elde edilen sonuçlar olan;
 - yükseklik
 - havadaki ve sudaki ağırlık
 - Marshall akma ve dayanım değerleri tablo halinde düzenlenir.
16. Numunelerin yüksekliklerine göre akma ve dayanım değerleri düzeltme faktörleri (Tablo 1.) ile çarpılarak tabloya (Tablo 2.) işlenir.
Marshall düzeltme faktörlerinin kullanım amacı birbirinden farklı yüksekliğe sahip numunelerin aynı şartlarda değerlendirilmesini sağlamaktır.
17. Her bitüm oranı için üçer adet numune hazırlanmıştır, bu numunelerden elde edilen sonuçların birbirine uygunluğu “Bitüm Oranı (%)-Boşluk Oranı (%)” grafiği çizilerek kontrol edilmelidir. Grafik üzerinde birbirine yakın elde edilmiş ise deney sonuçlarının tutarlı ve uyumlu olduğu kabul edilerek hesaplamalara devam edilir.
18. Hazırlanan Marshall Tablosuna (Tablo 2.) göre elde edilen sonuçlarla “Bitüm oranı-Pratik özgül ağırlık”, “Bitüm oranı-Marshall dayanımı”, “Bitüm oranı-boşluk oranı” ve “Bitüm oranı-Bitümle dolu boşluk oranı” grafikleri çizilir.
19. Bu grafiklere göre;

- Maksimum pratik özgül ağırlık değerine karşılık gelen bitüm oranı,
- Maksimum Marshall dayanımı değerine karşılık gelen bitüm oranı,
- %4 boşluk oranı değerine karşılık gelen bitüm oranı ve
- %70 bitümle dolu boşluk oranına karşılık gelen bitüm oranı tespit edilir.

Elde edilen bu dört bitüm oranının ortalaması alınarak karışım için optimum bitüm oranı bulunmuş olunur.

20. Bulunan optimum bitüm oranının şartname sınırları içerisinde kalıp kalmadığını tespit etmek amacıyla “Bitüm oranı-Akma” grafiği çizilir. Optimum bitüm oranı akma miktarı sınırlarını sağladığı takdirde kabul edilir.

Formüller:

- Karışımın teorik maksimum özgül ağırlığı

$$G_{mmax} = \frac{100}{\frac{P_a}{G_a} + \frac{P_b}{G_b}}$$

G_{mmax} : Karışım teorik maksimum özgül ağırlığı (gr/cm³)

P_a : Karışımındaki agreganın ağırlıkça yüzdesi (%)

G_a : Agregası karışımının özgül ağırlığı (gr/cm³)

P_b : Karışımındaki bitümün ağırlıkça yüzdesi (%)

G_b : Bitümün özgül ağırlığı (gr/cm³)

- Agregası karışımının özgül ağırlığı

$$G_a = \frac{100}{\sum \frac{P_i}{G_i}}$$

G_a : Agregası karışımının özgül ağırlığı (gr/cm³)

G_i : Agregası türüne göre (kaba, ince ve filler) özgül ağırlık (gr/cm³)

P_i : Agregası karışımındaki ilgili türden agreganın ağırlıkça yüzdesi (%)

- Karışımın teorik maksimum özgül ağırlığı

$$G_m = \frac{W_a}{W_a - W_w}$$

G_m : Numunenin özgül ağırlığı (gr/cm³)

W_a : Numunenin havadaki ağırlığı (gr)

W_w : Numunenin sudaki ağırlığı (gr)



BATMAN ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ ULAŞTIRMA LABORATUVARI

- Numune boşluk oranı

$$V = \frac{G_{mmax} - G_m}{G_{mmax}} * 100$$

V: Numune boşluk oranı (%)

- Karışımdaki hacimce bitüm yüzdesi

$$V_b = \frac{P_b}{G_b} * G_m$$

V_b : Karışımdaki hacimce bitüm yüzdesi (%)

- Agregalar arası boşluk oranı

$$VMA = V_b + V$$

- Bitümle dolu boşluk oranı

$$VFA = \frac{V_b}{VMA} * 100$$

Tablo 1. Marshall düzeltme faktörleri

Yükseklik (mm)	Düzeltilme Faktörü	Yükseklik (mm)	Düzeltilme Faktörü	Yükseklik (mm)	Düzeltilme Faktörü	Yükseklik (mm)	Düzeltilme Faktörü	Yükseklik (mm)	Düzeltilme Faktörü
51.0	1.435	55.0	1.265	59.0	1.130	63.0	1.013	67.0	0.918
51.1	1.432	55.1	1.262	59.1	1.127	63.1	1.011	67.1	0.915
51.2	1.428	55.2	1.259	59.2	1.124	63.2	1.008	67.2	0.913
51.3	1.425	55.3	1.256	59.3	1.120	63.3	1.006	67.3	0.911
51.4	1.421	55.4	1.253	59.4	1.117	63.4	1.003	67.4	0.908
51.5	1.418	55.5	1.250	59.5	1.114	63.5	1.000	67.5	0.906
51.6	1.414	55.6	1.247	59.6	1.110	63.6	0.998	67.6	0.904
51.7	1.411	55.7	1.243	59.7	1.107	63.7	0.995	67.7	0.901
51.8	1.407	55.8	1.239	59.8	1.104	63.8	0.992	67.8	0.899
51.9	1.404	55.9	1.235	59.9	1.100	63.9	0.990	67.9	0.897
52.0	1.400	56.0	1.231	60.0	1.097	64.0	0.988	68.0	0.894
52.1	1.397	56.1	1.228	60.1	1.094	64.1	0.985	68.1	0.892
52.2	1.393	56.2	1.224	60.2	1.090	64.2	0.982	68.2	0.890
52.3	1.390	56.3	1.220	60.3	1.088	64.3	0.980	68.3	0.888
52.4	1.382	56.4	1.216	60.4	1.085	64.4	0.978	68.4	0.886
52.5	1.375	56.5	1.214	60.5	1.082	64.5	0.975	68.5	0.885
52.6	1.368	56.6	1.210	60.6	1.079	64.6	0.972	68.6	0.883
52.7	1.359	56.7	1.206	60.7	1.076	64.7	0.970	68.7	0.881
52.8	1.351	56.8	1.202	60.8	1.073	64.8	0.967	68.8	0.879
52.9	1.344	56.9	1.198	60.9	1.070	64.9	0.965	68.9	0.877
53.0	1.337	57.0	1.194	61.0	1.067	65.0	0.962	69.0	0.875
53.1	1.328	57.1	1.190	61.1	1.064	65.1	0.960	69.1	0.874
53.2	1.320	57.2	1.187	61.2	1.062	65.2	0.957	69.2	0.872
53.3	1.317	57.3	1.184	61.3	1.059	65.3	0.955	69.3	0.870
53.4	1.314	57.4	1.181	61.4	1.056	65.4	0.953	69.4	0.868
53.5	1.311	57.5	1.178	61.5	1.053	65.5	0.951	69.5	0.866
53.6	1.308	57.6	1.175	61.6	1.050	65.6	0.949	69.6	0.864
53.7	1.305	57.7	1.172	61.7	1.047	65.7	0.947	69.7	0.862
53.8	1.302	57.8	1.169	61.8	1.044	65.8	0.945	69.8	0.860
53.9	1.299	57.9	1.164	61.9	1.040	65.9	0.943	69.9	0.858
54.0	1.296	58.0	1.161	62.0	1.038	66.0	0.940	70.0	0.856
54.1	1.293	58.1	1.158	62.1	1.036	66.1	0.938	70.1	0.854
54.2	1.290	58.2	1.155	62.2	1.033	66.2	0.936	70.2	0.852
54.3	1.286	58.3	1.152	62.3	1.031	66.3	0.934	70.3	0.850
54.4	1.283	58.4	1.149	62.4	1.028	66.4	0.932	70.4	0.849
54.5	1.280	58.5	1.146	62.5	1.026	66.5	0.930	70.5	0.847
54.6	1.277	58.6	1.143	62.6	1.023	66.6	0.927	70.6	0.845
54.7	1.274	58.7	1.140	62.7	1.021	66.7	0.925	70.7	0.843
54.8	1.271	58.8	1.137	62.8	1.018	66.8	0.922	70.8	0.841
54.9	1.268	58.9	1.133	62.9	1.016	66.9	0.920	70.9	0.839



BATMAN ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ ULAŞTIRMA LABORATUVARI

Tablo 2. Marshall tasarım deneyi sonuç tablosu

Numune No	Bitüm Oranı (%)	Numune Yükseklikleri (mm)				Numune Ağırlıkları (gr)		VMA (%)	VFA (%)	Akma (mm)	Marshall Stabilesi (kg)	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilmiş Stabilesi (kg)
		h ₁	h ₂	h ₃	Ort.	Havadaki (W _a)	Sudaki (W _w)						
1	3.5												
2	3.5												
3	3.5												
4	4.0												
5	4.0												
6	4.0												
7	4.5												
8	4.5												
9	4.5												
10	5.0												
11	5.0												
12	5.0												
13	5.5												
14	5.5												
15	5.5												
16	6.0												
17	6.0												
18	6.0												
19	6.5												
20	6.5												
21	6.5												