



Irak Karayolları için Taguchi Yöntemi Kullanarak Geri Kazanım Asfalt Malzemeleri(RAP) ile Binder Tabakası Dizaynı

Mesut TİĞDEMİR, Huda ABDULEHSAN DHANNOON*

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

Anahtar Kelimeler

*Geri Dönüşüm,
Stabilite,
Akma dayanımı,
Dolaylı çekme deneyi,
Agrega geri dönüşümü,
Bitüm geri dönüşümü.*

Öz

Dünyada ve ülkemizde çok önemli yeri olan atık geri dönüşümü günümüzde ihtiyaç değil zorunluluk haline gelmiştir. Özellikle % 96 oranlarında agrega içeren asfalt betonu geri dönüşümü ile hem doğal kaynakların korunması, hem de bitüm kullanımını azaltarak kaplama maliyetlerini düşürmek büyük önem kazanmıştır. Yapılan çalışmalar geri dönüşüm çalışmalarını kanun ve yönetmelik olarak zorunlu kılarken, birçok açıdan uygulayıcılara teşvik ve destek de vermektedir. Irak'ta bu tip uygulamalar çok yaygın değildir. Bu yüzden konuyla ilgili uygulama ve araştırmaların artırılması gerekmektedir. Bu çalışmada Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) numunelerinin içerisine çeşitli oranlarda geri kazanılmış asfalt betonu malzemesi (RAP) ilave edilerek, stabilite, akma ve dolaylı çekme (ITS) dayanımları incelenmiştir. Deney tasarımında Taguchi tasarım yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle binder tabakası için optimum bitüm miktarı Marshall metodu ile bulunmuş ve daha sonra optimum bitüm içeriğinde hazırlanan BSK numunelerine % 7 ile % 28 arasında değişik oranlarında RAP ilave edilmiştir. Ayrıca, RAP ilave edilmemiş BSK numuneler de deneylere tabi tutulmuş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları RAP ilave edilmiş BSK numunelerinin stabilite, akma ve dolaylı çekme deneyi (ITS) yönünden Irak Karayolları Şartnamesindeki limitler içerisinde olduğunu ve binder tabakasında kullanılabileceğini göstermiştir.

The Binder Layer Design with Recycling of Asphalt Pavement Materials Using the Taguchi Method for Iraq Highways

Keywords

*Recycling,
Reclaimed asphalt pavement (RAP),
Stability and flow strength and
indirect tensile test,
Impaired asphalt pavement
material*

Abstract

Waste recycling, which has a very important place both in the world and in our country, has become not a necessity but an obligation nowadays. Especially for the asphalt recycling that contains 96 % aggregate, it has become of great importance both to protect natural resources and to reduce current deficit somewhat by decreasing the purchase and use of bitumen. While studies conducted in foreign countries oblige recycling as law and regulations, they also encourage and support practitioners in a lot of ways; our country is still new on this issue, thus applications and researches must be increased. In this study, Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) were used in Hot Mix Asphalt (HMA) samples, stability and flow resistance and Indirect Tensile Test (ITS) of HMA samples were investigated. In the experimental design, Taguchi design will be used. Initially, binder optimum quantity of bitumen for layer was determined by Marshall Stability test method and then RAP, 7 to 28 % in terms of total asphalt concrete samples weight was added to HMA samples at the predefined optimum bitumen content. Besides, control samples were performed and compared with the RAP added samples. Test results show

* İlgili yazar / Corresponding author: qaysadnan81@gmail.com

that Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) can be used in wearing course as an additive in accordance with Iraq General specification limits.

Alıntı / Cite

Tıgdemir, M., Abdulsan Dhannoon H., (2017). Irak Karayolları için Taguchi Yöntemi Kullanarak Geri Kazanım Asfalt Malzemeleri(RAP) ile Binder Tabakası Dizaynı, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 5(2), 399-409.

Başvuru Tarihi / Submission Date	10.02.2017
Kabul Tarihi / Accepted Date	25.08.2017
Yayın Tarihi / Published Date	28.08.2017

1. Giriş

Hızla büyüyen ülke nüfusu, ekonomi ve sanayinin gelişmesi sonucunda kullanılan malzemenin artması aynı zamanda oluşan atık madde miktarında artışa neden olmaktadır. Atıkların çevreye zarar vermeden kontrol edilmesi ve ekonomiye kazandırılması için geri dönüşüm günümüzde zorunlu hale gelmiştir. Agreganın ve bitümün yeniden işlenmesi ile mevcut doğal kaynakların korunumu sağlanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, geri kazanılmış üstyapı malzemelerinin yeni asfalt karışımlarda kullanılabilirliğini araştırmaktır. Farklı oranlarda geri kazanılmış malzeme ile yeni malzemelerin karıştırılması sonucunda elde edilecek karışımın performansını değerlendirilerek binder tabakasında yeniden kullanımı için optimum karışım oranları belirlenmiştir Deneysel tasarımında Taguchi tasarım yöntemi kullanılmıştır.

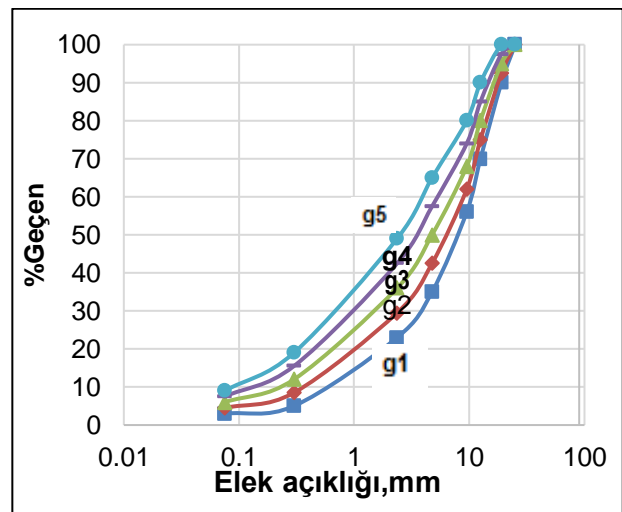
2. Materyal ve Metot

2.1. Agregat

Deneyde kullanılan agreganın elek analizi ASTM C 136-84a, (1992) ye göre yapılmıştır. Bu amaçla Irak Şartnamesinde verilen gradasyon sınır değerlerini sağlayan 5 farklı gradasyon eğrisi çalışmada kullanılmıştır (g1-alt limit, g2[g1-g3 ortalaması], g3-[g1-g5 ortalaması], g4[g3-g5 ortalaması] ve g5-üst limit). Bu gradasyon; % 50 Kaba agregat, % 45 İnce Agregat, % 5 'da filler malzemenin oluşmuştur. Bu değerler Tablo.1' de sunulmuştur. Binder tabakasına ait oluşturduğumuz gradasyon eğrisi Şekil 1' de sunulmuştur.

Tablo 1 Agregat granülometrisi (Irak binder gradasyonu şartnamesine göre)

Elek açıklığı	g1 Alt limit	g2	g3 Ortalama	g4	g5 Üst limit
25	100	100	100	100	100
19	90	92,5	95	97,5	99
12,5	70	75	80	85	90
9,5	56	62	68	74	80
4,75	35	42,5	50	57,5	65
2,36	23	29,5	36	42,5	49
0,3	5	8,5	12	15,5	19
0.075	3	4.5	6	7.5	9



Şekil 1. Binder tabakası için seçilen gradasyon eğrileri.

2.2. Bitüm

Deneyel çalışmalarda bağlayıcı olarak Isparta Belediyesi asfalt şantiyesinde kullanılan B 50/70 sınıfındaki asfalt çimentosu kullanılmıştır. Bunlara ek olarak kazınmış malzemeden geri kazanım yoluyla elde edilen bitüm, karışıma katılacak normal bitüm ve eski ve yeni bitüm karışımları üzerinde deneyler yapılarak sonuçları Tablo 2 verilmiştir. Ayrıca EN 13108-1:(2006) standardına göre hesaplamalar yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tablodan da görüldüğü gibi, sadece geri kazanılmış bitüm kullanılmış olsa, şartname sınırlarını sağlamamaktadır.

Tablo.2.Bitüm deneyleri.

Deneyin Adı	Standartlar	Geri Kazanılmış Bitüm	Normal Bitüm B 50/70	Ts 1081 En 12591 B 50/70
PENETRASYON (25°C,100g,5sn.) 0,1mm	TS EN 1426	61,33	66,7	50-70
YUMUŞAMA NOKTASI, °C (R/B, 25°C) °C	TS EN 1427	63,5	48,1	46-54
ÖZGÜL AĞIRLIK	TS 1087	0,987	0,958	1 civarında

2.3 Geri Kazanılmış Asfalt Beton Malzemesi (RAP)

Bozulmuş asfalt betonu tabakalarının kazınım ilave yeni agrega ve bitüm ve gerekiyorsa yeniden kullanım katkıları ile uygun oranlarda karıştırılarak yeniden sıcak karışım tabakalarında kullanımını kapsar. Bu konu kapsamında; üstyapıda RAP (Huang et al., 2007; Shirodkar et al., 2011), agrega (AGÜB, 2014), atık madde kullanımı (Ahmed, 1993), maliyet (Akgün, 2011), geotekstil (Aksoy, 1993), RAP maliyet analizi (Arapoğlu, 2015), volkanik kayaç kullanımı (Çetin 2007), katkı maddeleri (Çubuk, 2007), yorulma dayanımı RAP etkisi (Tabakovic et al. 2010; Güner et al., 2004) konularında pek çok araştırma bulunmaktadır. RAP maliyet optimizasyonu, yorulma dayanımı RAP ilişkisi, Kazınmış asfalt betonu kaplamasının yeniden kullanımı ile hazırlanan sıcak karışımlar aşınma (yüzey) tabakası yapımında kullanılmayacaktır. Yeni yapılacak asfalt betonu binder tabakası imalatında ağırlık olarak % 28'den fazla kazınmış asfalt kaplama kullanılmayacaktır. Bu çalışmada kullanılan geri kazanılmış asfalt betonu malzemesi Isparta Belediyesinden temin edilmiştir.

Kazınmış aşınma malzemesi üzerinde yapılan ekstraksiyon deneyi sonuçları Tablo3'de, deney sonucu elde edilen agregaya ait elek analizleri ise Tablo 4 verilmiştir.

Tablo.3.Ekstraksiyon sonrası bitüm oranı

Ekstraksiyon Deneyi				
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4
Asfalt ağırlığı (gr)(A)	500	1000	500	500
Kuru asfalt	469	943.5	461.5	467.5
Kuru asfalt+filtre (B)	471	945.5	463.5	468.5
A - B / A	5.8	5,5	7.3	6.3
Ortalama% Bitüm Oranı Agreganın (%'si)	6.23			

3.1. Marshall Stabilite Deneyi

Bu deney yönteminde, Marshall Stabilite deney cihazı yardımıyla bitümlü sıcak karışım silindirik briketlerin yanal yüzeylerine yükleme yapılarak plastik akmaya karşı direncin ölçümü yapılır (ASTM D 1559-89, 1992). Irak karayollarında bitümlü karışımlara uygulanan stabilite deneyi Marshall deneyidir. Bu deney esas olarak serbest basınç deneyi olup numune yüklendiği sırada tamamen sınırlanmaz (Umar ve Açar, 1991). Akma değeri asfalt kaplamaların plastiklik ve esneklik özelliklerini yansıtan değerdir. Marshall numunelerinin kırıldığı yüke tekabül eden deformasyonunu temsil eden akmanın değeri sıkışmış karışımların iç sürtünmesinin bir ölçüsüdür ve akma değeri ile iç sürtünme arasında doğrusal ters bir ilişki vardır (Huang et al., 2007). Deney numuneleri; granülometrik şartlara uygun yaklaşık 1200 g agrega ile hazırlanır. Filler malzemesi ve miktarı önceden belirlenmiştir. Ayrıca % 3,5 - 4.0-4,5-5.0-5,5-6.0-6,5 oranlarında yedi adet BSK numunesi hazırlanır. Hazırlanan agrega karışımı etüvde 165 °C ye kadar bitüm ise 145 °C ye kadar ısıtılır. Isıtılmış malzeme etüvden alınarak yukarıda belirlenen oranlarda hazırlanan bitümle karıştırılarak yedi farklı bitüm oranında BSK numuneleri hazırlanır. Farklı bitüm yüzdesine sahip karışımların her birinden üçer adet numune hazırlanır. Hazırlanan farklı bağlayıcı yüzdesine sahip karışımlardan ısıtılmış kalıplara doldurulur. Her numunenin üzerine ilgili numuneye ait etiket yerleştirilir. Karışım 101,6 mm çapında ve 63,5 mm yüksekliğinde numune kalıbına yerleştirilerek 457,2 mm den düşen 4536 g ağırlığındaki özel bir tokmakla sıkıştırılır. Numunenin her iki yüzüne trafik durumuna göre orta trafik için 50, yüksek trafik için 75 darbe vurulur.

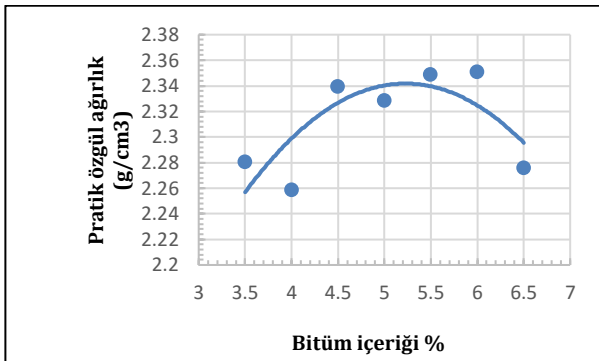
Tablo 4. Ekstraksiyon sonrası elek analizleri

Elek Boyu Mm(in, No)	Tip	Üstte kalan agrega	Üstte kalan Agr/2	Elekten geçen	Elekten geçen%	Aşınma tabakası için gradasyon limitleri
25(1")	100	0	0	0	100	100
19 (3/4")	90-100	14,5	7,25	1150	99,4	90-100
12,5 (1/2")	70-90	156,5	78,25	1071,75	93	70-90
9,5 (3/8")	56-80	179	89,5	982,25	85	56-80
4,75 (No.4)	35-65	679,5	339,75	642,5	56	35-65
2,36(No 8)	23-49	406,5	203,25	439,25	38	23-49
0,3(No50)	5-19	556,5	278,25	161	14	5-19
0,075 (No.200)	3-9	171,5	85,75	75,25	6,5	3-9
filler	4-6	150,5	75,25			
		231,45	1157,25			

4. Araştırma Bulguları

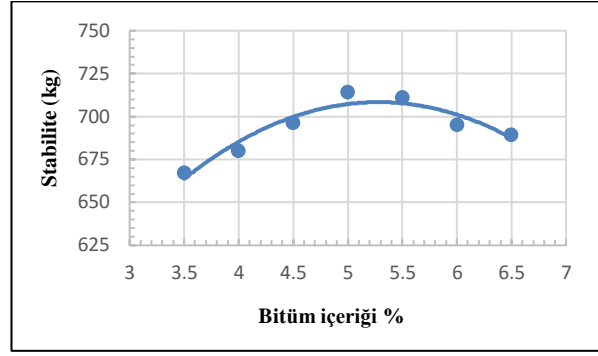
4.1. Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi

Marshall yöntemi ile optimum bitüm yüzdesinin tespit edilmesi için numuneler hazırlanmış, agrega gradasyonu sabit tutularak % 3,5- 4,0- 4,5- 5,0- 5,5- 6,0 ve % 6,5 oranlarında olmak üzere her bitüm yüzdesinden üçer adet numune hazırlanmıştır. Binder tabakasının grafikleri Şekil 2-5'de verilmiştir. Optimum bitüm yüzdesi bu grafikler yardımı ile farklı kriterleri sağlayan bitüm oranlarının ortalaması olarak hesaplanmaktadır. Maksimum birim ağırlığa karşılık gelen bitüm yüzdesi % 5,3 olarak hesaplanmıştır.



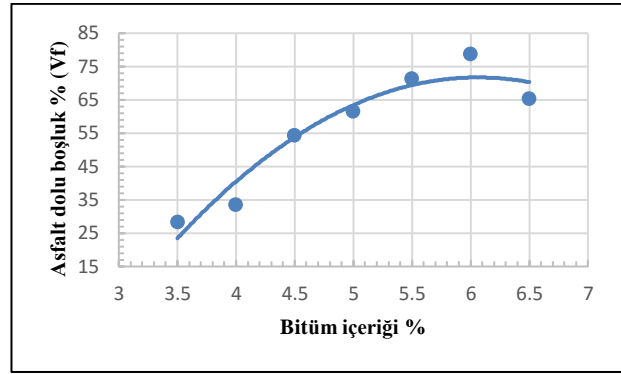
Şekil 2. Karışımın birim ağırlık-bitüm ilişkisi

Araştırmalar neticesinde maksimum stabilite değerini veren bitüm yüzdesi % 5.2 olarak hesaplanmıştır.

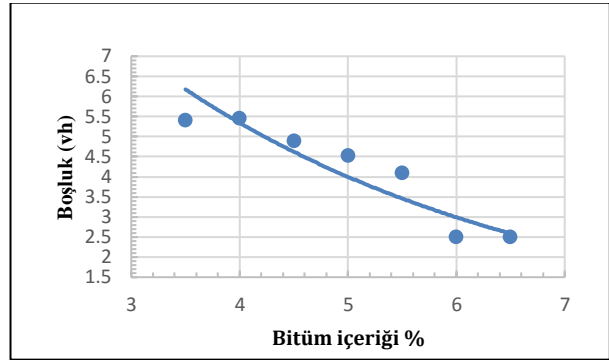


Şekil 3. Marshall stabilite-bitüm ilişkisi.

Deney sonucunda şartnameye uygun olarak bitüm ile Dolu agrega boşluğu yüzdesi 65-75 şartını sağlayan bitüm oranı % 5.5 olarak görülmektedir.



Şekil 4. Bitümle dolu boşluk yüzdesi-bitüm ilişkisi.



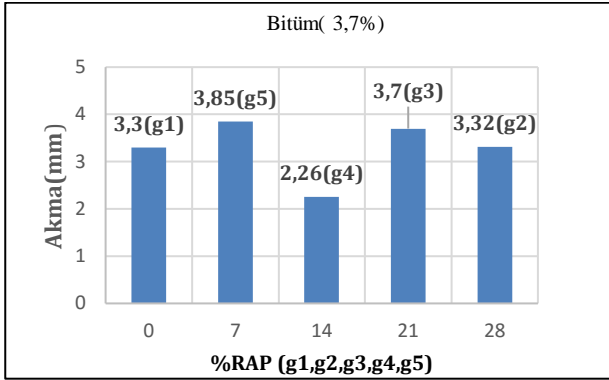
Şekil 5. Karışımındaki boşluk hacmi-bitüm ilişkisi.

Deney sonucunda hava boşluğuna karşılık gelen Bitüm yüzdesi 5 olarak tayin edilmiştir. Şekil 2, 3, 4, ve 5'te bulunan dört bitüm yüzdesinin ortalaması optimum bitüm oranını verecektir. Bu durum sonucunda optimum bitüm oranı %5.25 olarak bulunmuştur.

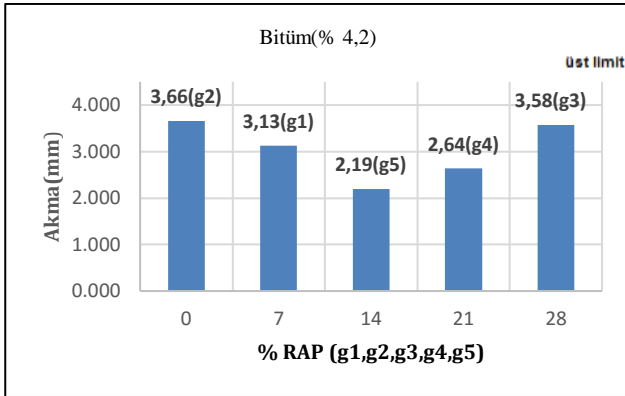
4.2 Sıcak Karışımın İçerisine Kazınmış Asfalt Kaplama Malzemesin (RAP) İlave Edildiğinde Yapılan Deney Bulguları

Çalışmada öncelikle Marshall Metodu kullanılarak optimum asfalt miktarı belirlenmiştir. Karışım için gerekli olan optimum bağlayıcı miktarı belirlendikten

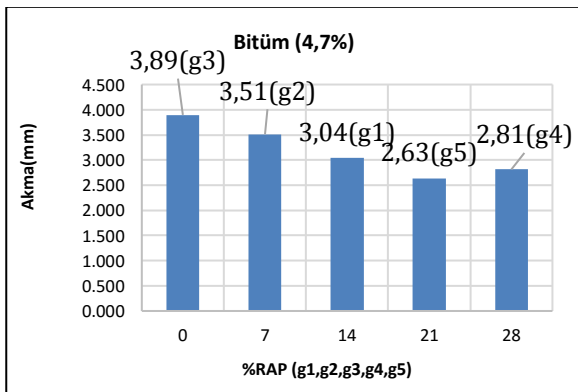
sonra bu bitüm miktarı sabit kalmak şartıyla karışımın içerisinde % 0, 7, 14, 21, 28 oranlarında geri kazanılmış asfalt betonu malzemeleri ilave edilmiş ve tekrar Marshall deneyi yapılmıştır. Ayrıca şahit (%0) kontrol numuneleri de üretilmiştir. Marshall stabilite, akma, özgül ağırlık, boşluk yüzdesi, ve VMA yüzdesi değerlerinin RAP ilavesi ile değişimlerini gösteren grafikler, Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13, Şekil 14 ve Şekil 15'da verilmiştir.



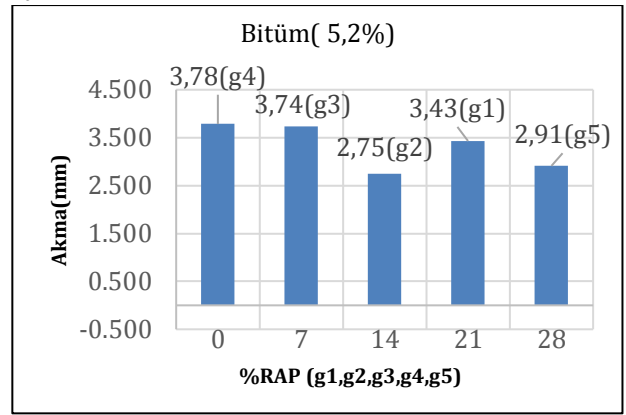
Şekil 6. Karışımın içerisinde (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (3,7%) ilave edildiğinde Marshall Akma sonuç grafiği



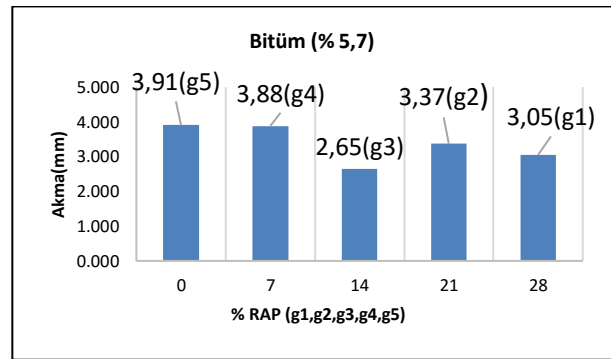
Şekil 7. Karışımın içerisinde (%0 - %28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (4,2%) ilave edildiğinde Marshall Akma sonuç grafiği



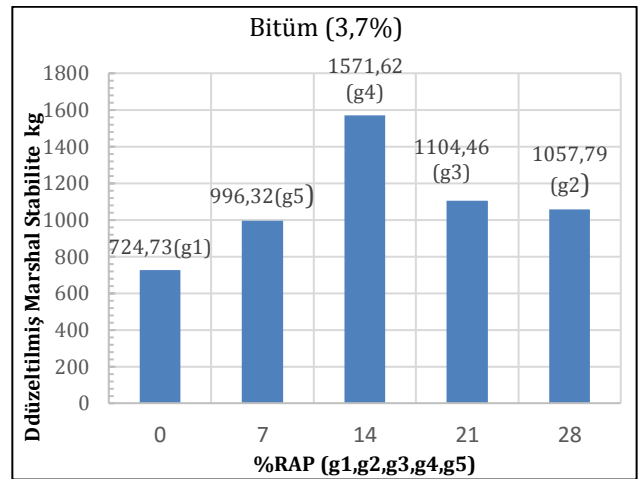
Şekil 8. Karışımın içerisinde (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 4,7) ilave edildiğinde Marshall akma sonuç grafiği



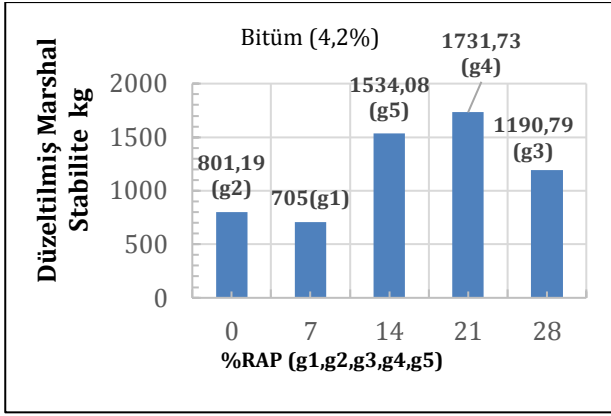
Şekil 9. Karışımın içerisinde (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 5,2) ilave edildiğinde Marshall Akma sonuç grafiği



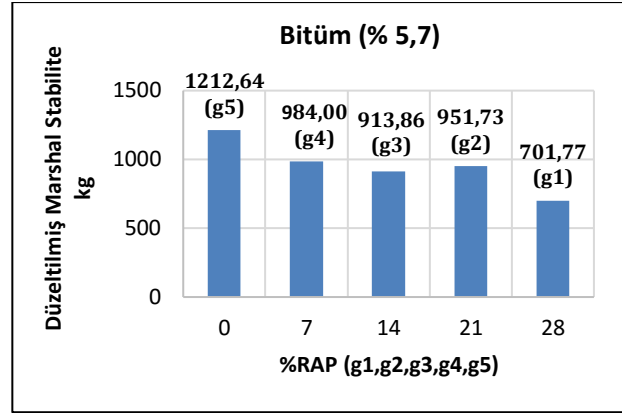
Şekil 10. Karışımın içerisinde (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 5,7) ilave edildiğinde Marshall Akma sonuç grafiği



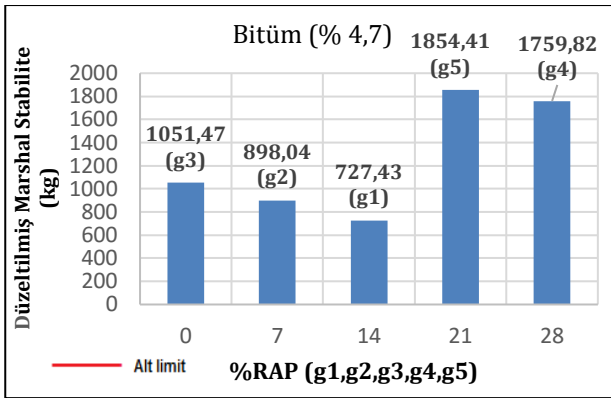
Şekil 11. Karışımın içerisinde (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 3,7) ilave edildiğinde Marshall Stabilitesi sonuç grafiği



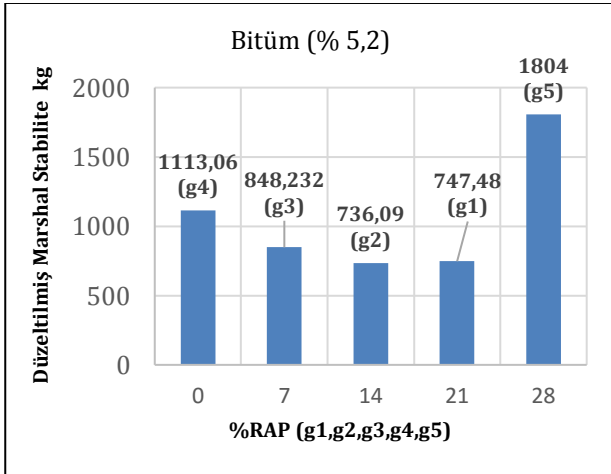
Şekil 12. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 4,2) ilave edildiğinde Marshall Stabilitesi sonuç grafiği.



Şekil 15. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 5,7) ilave edildiğinde Marshall Stabilitesi sonuç grafiği.



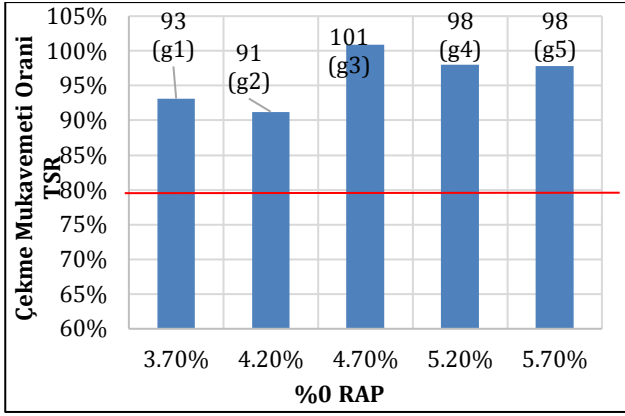
Şekil 13. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 4,7) ilave edildiğinde Marshall Stabilitesi sonuç grafiği.



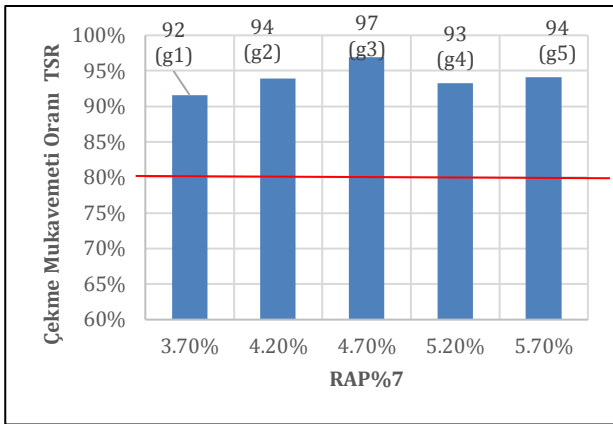
Şekil 14. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 5.2) ilave edildiğinde Marshall Stabilitesi sonuç grafiği

4.3. Sıcak Karışımın İçerisine RAP İlave Edildiğinde Dolaylı Çekme Deney Bulguları

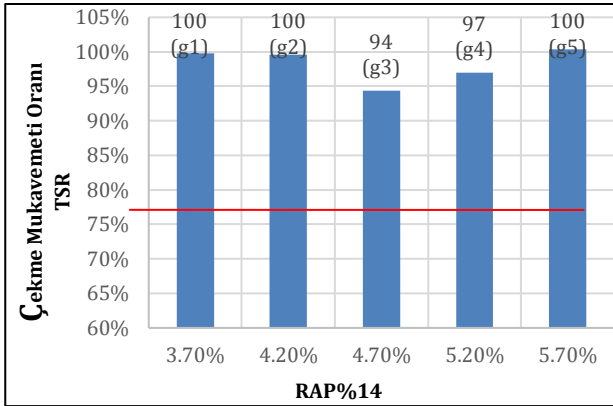
Sıcak karışımın içerisine RAP ilave edilerek asfalt betonunun nem duyarlılığı testi ve dolaylı çekme davranışını değişimi incelemek amaçlanmıştır. Yapılan Marshall deneyi sonuçlarına göre; % 0 RAP'in % 28 RAP'e oranla daha iyi sonuç verdiği görüldüğü için % 0 RAP'in % 28 RAP'e koşullandırılmış dolaylı çekme yapılmıştır. Bunu göz önünde bulundurarak koşullandırılmış ve koşullandırılmamış dolaylı çekme deneyi için numuneler hazırlanmıştır. Her orandan dörder numune hazırlanmıştır. Bu numuneler öncelikle sabit ağırlığa ulaşınca kadar 72 saat boyunca 40° C sıcaklıkta bekletilmiştir. 72 saat sonunda her dört numune de etüvden çıkarılmıştır ve ikisi 25° C sıcaklıkta su banyosuna 24 saat boyunca beklemek üzere yerleştirilmiştir. Diğer iki numune ITS_{KURU} değerini belirlemek üzere ITS cihazı ile kırılmıştır. Koşullandırılmış numuneler 24 saat su banyosunda bekledikten sonra üstünde en az 2.5 cm su olacak şekilde su dolu bir kaba koyulmuş ve doygunluk oranı % 55 - 80 arasına gelinceye kadar vakumlanmıştır. Vakum işlemi tamamlandıktan sonra sudaki ağırlığını ve yüzey kuru suya doygun ağırlıkları tartılmıştır. Tartılmış numuneleri streç film ile hava almayacak şekilde sarılmış ve 16 saatliğine -18°C sıcaklığa ayarlanmış kabinde dondurulmuştur. 16 saat sonunda numuneleri donma kabininden çıkarılmış ve 24 saat boyunca beklemek üzere 60°C sıcaklığa ayarlanmış su banyosunda çözdürülmüştür. 24 saat sonunda numuneleri 60°C sıcaklıktaki su banyosundan çıkarılmış ve 25°C sıcaklıktaki suda 2 saat bekletilmiştir. 2 saat sonunda numuneleri sudan çıkarılmıştır ve 25°C ortam sıcaklığında ITS cihazı ile kırılmıştır.



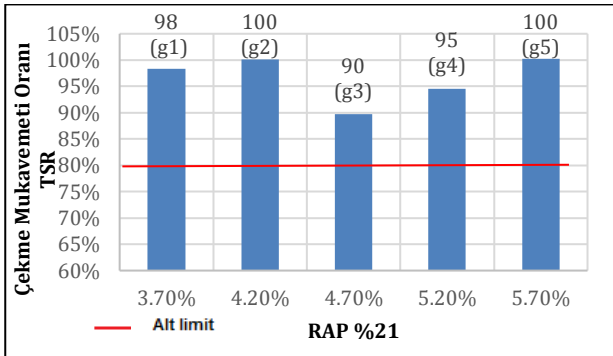
Şekil 16. % 0 RAP Çekme mukavemeti oranı(TSR) değerleri



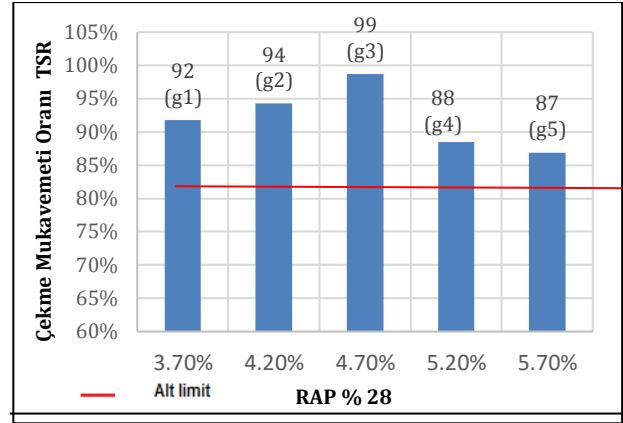
Şekil 17. %7 RAP Çekme mukavemeti oranı(TSR) değerleri



Şekil 18. %14 RAP Çekme mukavemeti oranı(TSR) değerleri



Şekil 19. % 21 RAP Çekme mukavemeti oranı(TSR) değerleri

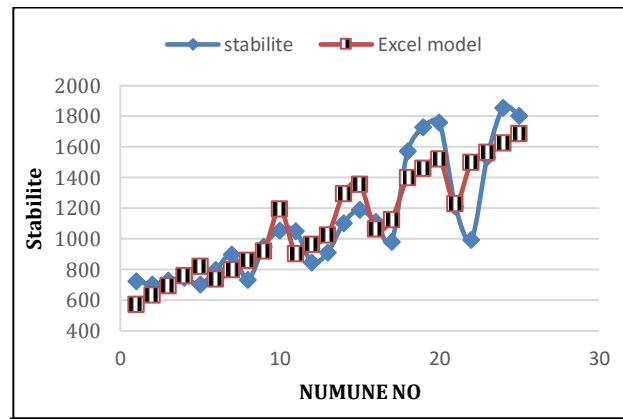


Şekil 20. % 28 RAP Çekme mukavemeti oranı(TSR) değerleri

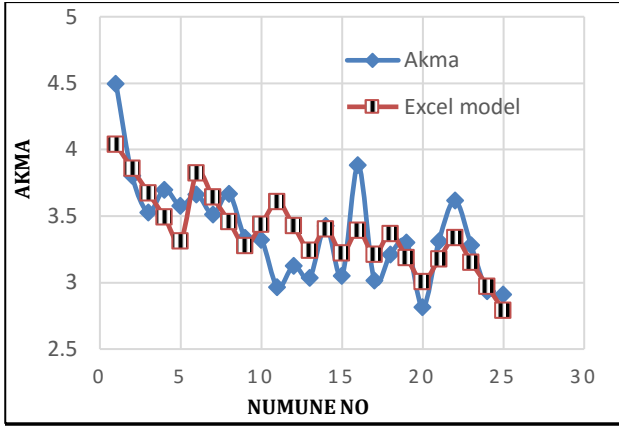
4.4. Deney Sonuçlarının Modellenmesi

4.4.1 İstatistiksel modelleme

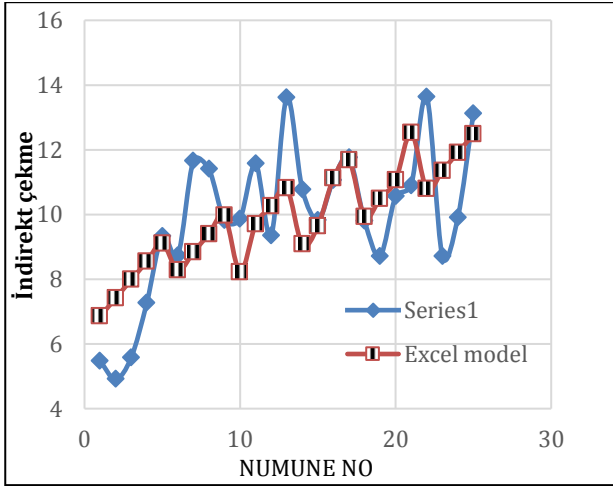
Önceden elde edilen verileri kullanılarak (stabilite ve akma ve dolaylı çekme sonuçları) MS Excel programı kullanılarak Marshall deneyinde elde edilen stabilite, akma ve dolaylı çekme verilerinin sonuçları kullanılmıştır. Toplam 75 veri olması veriler % bitüm , % RAP ve gradasyon girdi olarak , stabilite ve akma ve dolaylı çekme çıktı olarak doğrusal model kurulmuştur. Excel, doğrusal modellerin kurulmasına ve tahminlerin çok daha yüksek bir başarıyla sonuçlanmasına yardımcı olmuştur. sonuç veren modeller özetlenmiştir. Modelleme aşamasında Excel kullanılmıştır ve çalışmada kullanılan modeller aşağıda detaylı şekilde anlatılmıştır



Şekil 21. Stabilite Sonuçlarının Modellenmesi



Şekil 22. Akma Sonuçlarının Modellenmesi



Şekil 23. Dolaylı çekme Sonuçlarının Modellenmesi

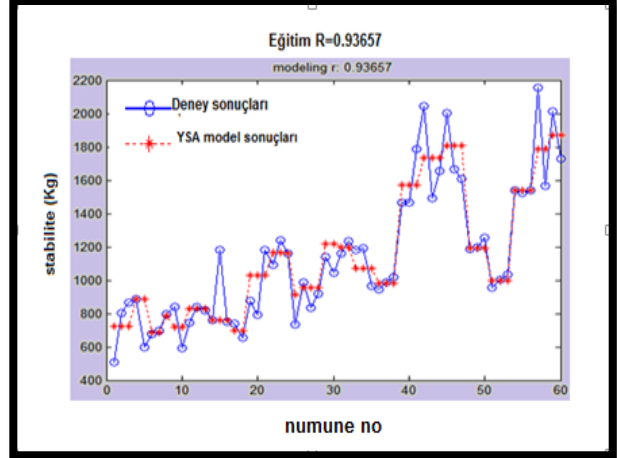
4.4.2 Yapay Sinir Ağları Modeli

Önceden elde edilen verileri kullanarak (stabilite ve akma ve dolaylı çekme sonuçları) YSA kullanarak Marshall deneyinde elde edilen stabilite ve Akma ve İndirekt çekme verilerinin sonuçları kullanılmıştır. Toplam 75 veri olması YSA modellerinin kurulmasına ve tahminlerin çok daha yüksek bir başarıyla sonuçlanmasına yardımcı olmuştur. Stabilite YSA ile tahmini için en iyi sonucu veren farklı model özetlenmiştir. Her deney için veriler tek tek ve birlikte denenmiş başarılı sonuç veren modeller özetlenmiştir. YSA modellemesi için MATLAB yazılımı kullanılmıştır

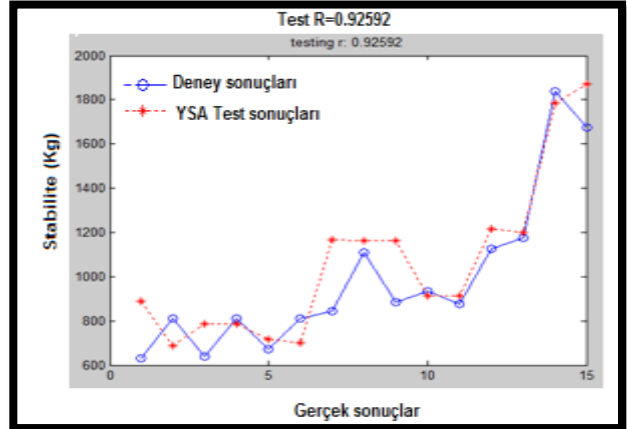
4.5 Stabilite, Akma ve Dolaylı Çekme Gerilmesi Verilerinin YSA İle Tahmini

Stabilite, akma ve dolaylı çekme deneylerinin YSA ile tahmini için kurulan modellerde karışım değişken parametreleri kullanılmıştır. Ayrıca modele verilerin alındığı noktadaki karışımın bitüm oranları, verilerin alındığı RAP yüzdesi ve agrega oranları tekrar sayıları tahmin edilmiştir. Modeller; Şekil 24, Şekil 25, Şekil 26, Şekil 27, Şekil 28 ve Şekil 29 ile gösterilmiştir. Kurulan modelin eğitim sonrasında ait regresyon grafikleri

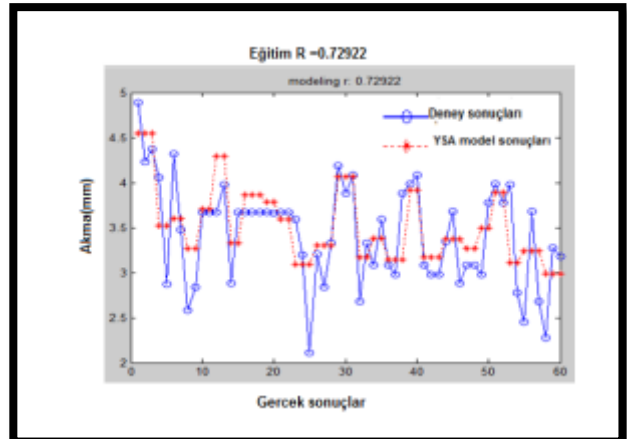
sunulmuştur. Şekilde eğitim, doğrulama, test ve tüm veriler için regresyon grafikleri görülmektedir. Yapay sinir ağı modelinde girdiler, bitüm yüzdesi, RAP yüzdesi ve gradasyon sayısıdır. Çıktı olarak Marshall stabilite, akma ve dolaylı çekme mukavemeti modellenmiştir. Toplam 75 verinin 60 tanesi model için eğitim seti (% 80) olarak rastgele seçilmiş, geriye kalan 15 veri test seti (% 20) olarak ayrılmıştır.



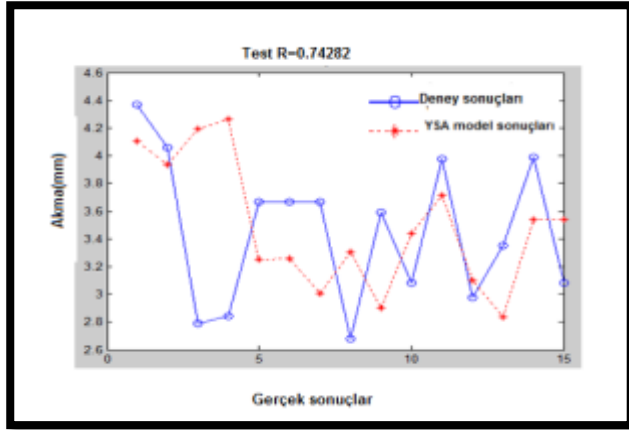
Şekil 24. Eğitim verileri için stabilite sonuçlarının modellenmesi



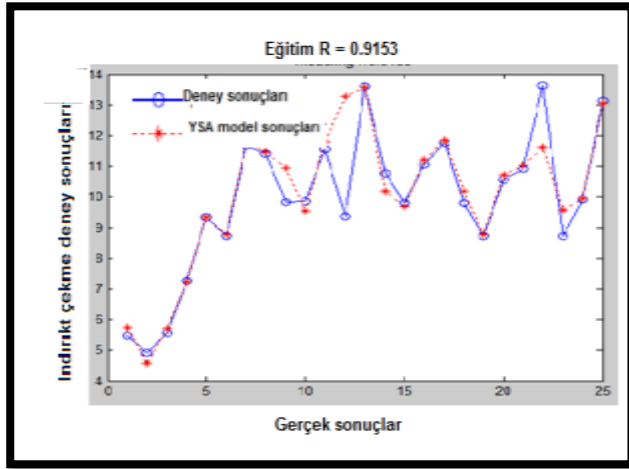
Şekil 25. Test verileri için stabilite sonuçlarının modellenmesi



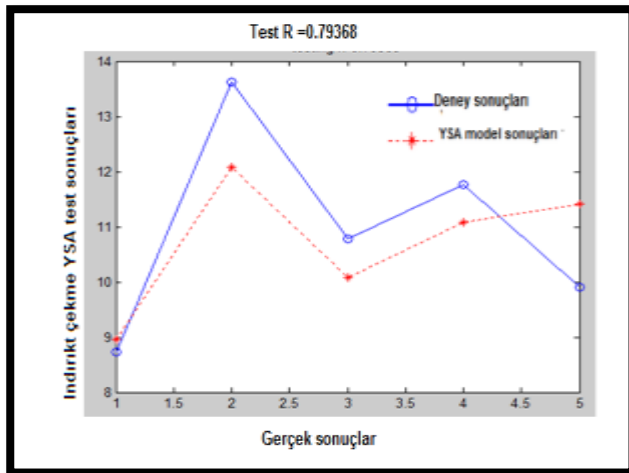
Şekil 26. Eğitim verileri için akma sonuçlarının modellenmesi



Şekil 27. Test verileri için akma sonuçlarının modellenmesi



Şekil 28. Eğitim verileri dolaylı çekme için sonuçlarının modellenmesi

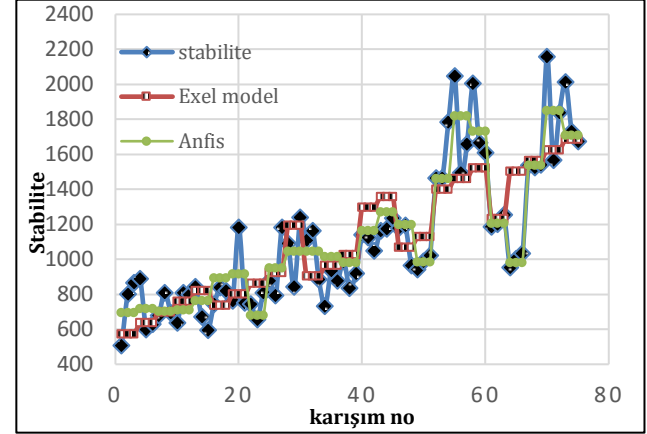


Şekil 29. Test verileri için dolaylı çekme sonuçlarının modellenmesi

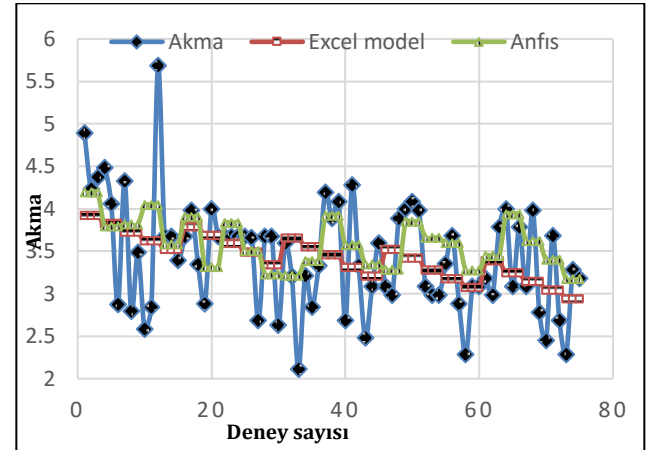
4.6. Stabilite ve Akma ve Dolaylı Çekme İçin. YSA Modeli Sonuçlarının Gerçek Veriler ile Karşılaştırılması

YSA veri alanına yüklenmiş ve eğitilmiş verilerle oluşturulmuş, modelin geçmiş verilerde nasıl sonuç vereceğini ölçmek mümkündür. Modelin geçmiş

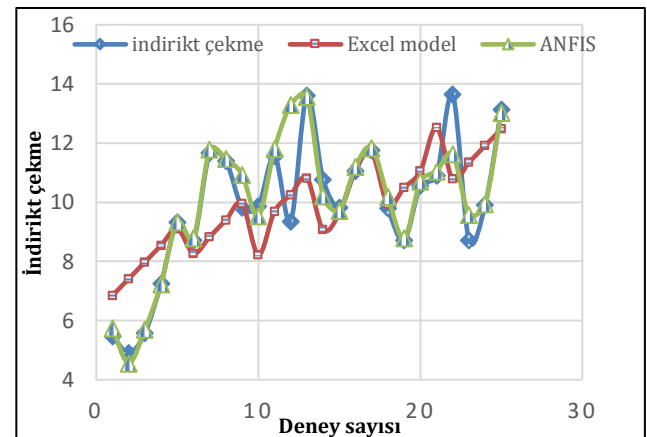
eğitim ve test veri kümesine yönelik çıktılarını ortaya koymak için Matlab programı kullanılabilir. Şekil 30, Şekil 31 ve Şekil 32 ile gösterilmiştir. Stabilite ve Akma ve dolaylı çekme YSA model için ayırdığımız verilerin gerçek sonuçları ile kurulan modele ait tahminler karşılaştırılmıştır.



Şekil 30. Gerçek veriler stabilite için ve doğrusal modelleme, ve YSA yöntemlerinin sonuçlarının karşılaştırması



Şekil 31. Akma için gerçek veriler ve doğrusal modelleme, ve YSA yöntemlerinin sonuçlarının karşılaştırması



Şekil 32. Dolaylı çekme için gerçek veriler, doğrusal modelleme, ve YSA yöntemlerinin sonuçlarının karşılaştırması

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, atıkların değerlendirilmesi ve çevreye olan zararlarının minimuma indirilmesi amacıyla, binder tabakasında geri kazanılmış asfalt betonu malzemesinin kullanılabilirliğini sorgulamak için Marshall stabilitesi, akma ve dolaylı çekme değerlerine odaklanılmış ve sonuçlar şahit karışım numuneleri ile karşılaştırılmıştır.

- Yapılan deneyler sonucunda kullanılan normal kireçtaşı ve ekstraksiyon kalıntısı kireçtaşı örneğinin su emme oranı ve özgül ağırlık değeri ve aşınma kaybı % Irak Standartlarına göre uygundur.
- Karışımdaki bitümün penetrasyonunun hesaplanmasına göre, karışıma katılacak normal bitüm ile eski ve yeni bitüm karışımları üzerinde deneyler yapılarak sonuçları EN 13108-1:2006 standardına göre binder tabakasında % 28'e kadar RAP kullanımına izin verdiği görülmüştür.
- Karışımdaki bitümün yumuşama noktası değerinin hesaplanmasına göre, karışıma katılacak normal bitüm ile eski ve yeni bitüm karışımları üzerinde deneyler yapılarak sonuçları EN 13108-1:2006 standardına göre binder tabakasında % 28'e kadar RAP kullanımına izin verdiği belirlenmiştir
- Yapılan deneyler sonucunda, RAP ilave edilerek üretilen BSK numunelerinin Marshall Stabilite değerlerinin uygun gradasyon ve bitüm yüzdesi kullanıldığında daha fazla oranda RAP miktarının kullanılmasına rağmen arttığı görülmüştür. Ayrıca, Marshall Stabilite sonuçları % 7den % 28'e RAP içeriğinde dahi Irak Şartnamesinde izin verilen minimum stabilite değerlerinden daha büyük çıkmıştır.
- Akma değeri ile kaplamanın esneklik özelliği hakkında fikir edinilir. RAP ilaveli BSK numunelerinin akma değerleri şartname sınırları içerisinde olduğu ve yol güvenliği ve ömrü açısından bir tehlike oluşturmadığı tespit edilmiştir.
- Yapılan deneyler sonucunda, dolaylı çekme deneyi için stabilite değerini veren aralık dikkate alınarak % 0, 7, 14, 21, 28 RAP oranları kullanılmıştır. tüm numuneler % 80 Dolaylı Çekme Mukavemeti (TSR) oranının üzerindedir ve şartnameyi sağlamaktadır.
- Deney sonuçlarının çok değişkenli doğrusal denklem takımları olarak modellenmesi anlamlı sonuçlar vermiştir. Ancak, aynı girdi takımları

kullanılarak oluşturulan yapay sinir ağları ve bulanık mantık etkileşimli yapay sinir ağları modellerinin sonuçları daha iyi temsil ettiği görülmüştür.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors

Kaynaklar

- Adalet Selin Arapoğlu, 2015. Bozulmuş Asfalt Kaplamaların Geri Dönüşüm Maliyet Analizi Ve Optimum Geri Kazanım Mesafesinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Trabzon, 15.
- AGÜB, İstanbul İli ve Çevresindeki Agregada Madenciligi Durum Tespit Raporu, 2014.
- Ahmed, I., 1993. Use of Waste Materials in Highway Construction. Purdue University Department of Civil Engineering, PhD. Thesis, 114s, Indiana.
- Akgün, A., 2011 Kocaeli Büyük şehir Belediyesi Sınırlar içinde Karayolu Üstyapılarının Maliyet Yönünden İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Aksoy, İ.M., 1993, Modern Yol İnşaatında Geotekstil ve Geogrid Uygulaması Konularında Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 115 s. .
- ASTM C 136-84a, 1992, Standard Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Annual Book of ASTM Standards USA.
- ASTM D 1559-89, 1992, Standard Test Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. Annual Book of ASTM Standards USA.
- Çetin, S., 2007. Afyon Karahisar Bölgesi Volkanik Kayaçlarının Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalarında Agregada Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. A.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Y.L. Tez. Afyon S:1
- Çubuk, M., 2007. Katkı maddeleri ile bitümün reolojik özelliklerinin geliştirilmesi ve esnek kaplama malzeme oluşumunda problemlerin giderilmesi, Gazi Üniversitesi, Doktora Tezi, 2007.

Gürer, C., H. Akbulut, and G. Kürklü.,2004 "İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi." V. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. İzmir .*

Huang, Yue, Roger N. Bird, and Oliver Heidrich.,2007 "A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements." *Resources, Conservation and Recycling* 52.1 : 58-73.

Irak Karayolları Şartnamesi, 2013.

Shirodkar, Prashant, et al.,2011 "A study to determine the degree of partial blending of reclaimed asphalt pavement (RAP) binder for high RAP hot mix asphalt." *Construction and Building Materials* 25.1 : 150-155.

Tabaković, Amir, et al.,2010 "Influence of recycled asphalt pavement on fatigue performance of asphalt concrete base courses." *Journal of Materials in Civil Engineering* 22.6 : 643-650.

TS 1087 "Bitümlü Maddelerde Özgül Ağırlık Tayini" Türk Standartı, 1972

TS 118 prEN 1426 "Petrol Ürünleri-Bitümler Ve Bitümlü Bağlayıcılar İğne Penetrasyonu Tayini" Türk Standartı, 1998

TS 120 pr EN 1427 "Petrol Ürünleri-Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-Yumuşama Noktası TayiniHalka-Bilya Metodu" Türk Standartı, 1998.

Umar, F., Ağar, E., 1991, Yol Üst Yapısı, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 339s.