



Bitümlü Sıcak Karışımlara Ait Akma Değerinin Regresyon Modelleri İle Tahmini

Deniz ARSLAN^{1,*}, Hikmet BAYIRTEPE²

¹Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Selçuklu-Konya

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Maltepe-Ankara

Öz

Bu çalışmada, bitümlü sıcak karışım özelliklerinden olan ve Marshall Testi ile deneysel olarak belirlenebilen akma değerinin malzeme ve karışım özellikleri temelinde regresyon modelleri ile tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda Ankara Büyükşehir Belediyesi sınırları dahilindeki aşınma ve binder tabakalarının inşaatına yönelik bitümlü sıcak karışım uygulamalarına ait veriler derlenmiş ve uygulama temelinde 4680 adet gözlem içeren veri grubu oluşturulmuştur. Veri grubuna regresyon, temel bileşen, kümeleme ve diskriminant analizleri uygulanmıştır. Kümeleme analizi, veri grubunun 4 ana kümeye ayrılabilceğini göstermiştir. Belirlenen kümelere ve çeşitli kombinasyonlarına uygulanan standart aşamalı regresyon analizleri ile akma bağımlı değişkenini tahmin etmek üzere geliştirilen modellerde regresyon katsayısı % 73,9'a kadar ulaşmıştır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 04/05/2017

Düzeltilme: 14/12/2017

Kabul: 18/01/2018

Anahtar Kelimeler

Marshall akma değeri

Regresyon analizi

Kümeleme analizi

Temel bileşen analizi

Diskriminant analizi

Keywords

Marshall flow value

Regression analysis

Cluster analysis

Principal component analysis

Discriminant analysis

Prediction of Flow Value of Bituminous hot Mixtures by Regression Models

Abstract

In this study, flow value of the bituminous hot mixtures that can be determined by Marshall Test has been aimed to be predicted by regression models based on material and mixture properties. In this context, data on bituminous hot mix applications for the manufacturing of wearing and binder layers within the borders of Ankara Metropolitan Municipality have been compiled and a data group containing 4680 observations has been created on the application basis. Regression, principal component, clustering and discriminant analyses have been applied on the data group. The clustering analysis shows that the data group can be divided into 4 main clusters. With the stepwise regression analyses carried out on the determined clusters and their various combinations, the regression coefficient of models, which are developed to predict the flow variable, has reached to 73.9 %.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bitümlü sıcak karışımlarda kullanılacak optimum bitüm oranının tespitinde Marshall testi kullanılır. Optimum bitüm oranı ve belirli sıkıştırma koşulları altında bitümlü sıcak karışımın mekanik özellikleri de (karışımdaki boşluk oranı ve asfalt ile dolu boşluk oranı, karışımın özgül ağırlığı, stabilitesi ve akması) bu test dahilinde belirlenebilir. Marshall Stabilitesi, bitümlü sıcak karışımla imal edilen yol kaplamasının trafik yüklerine bağlı oluşabilecek deformasyonlara karşı gösterdiği direnç ölçüsü olarak tanımlanmakla birlikte Türkiye'de Karayolları Teknik Şartnamesi'ne göre [1] farklı üstyapı tabakalarının stabilite bakımından sağlaması gereken belirli minimum değerler mevcuttur. Stabilite, bitümlü sıcak karışımların önemli bir özelliği olup geliştirilmesine yönelik birçok araştırma yapılmaktadır [2-5]. Marshall testi ile belirlenen akma ise bitümlü sıcak karışım ile imal edilen silindirik numuneye (briket) test esnasında uygulanan yükleme ile brikette kırılmanın meydana geldiği yükleme seviyesinde oluşan düşey deformasyonu ifade eder. Marshall testi ile ölçülen stabilite ve akma değerleri, belirli bitüm oranı ve sıkıştırma koşulları altında bitümlü sıcak karışımlarla imal edilen karayolu kaplamasının kalıcı deformasyonlara karşı direnç yeteneğinin ölçüsü olarak "Stabilite / Akma" şeklinde kullanılabilir.

*İletişim yazarı, D. Arslan, denizarslan@selcuk.edu.tr

“Stabilite / Akma” değerinin büyük olması daha yüksek kalıcı deformasyon direnci ile ilişkilendirilir [6-9]. Ancak Marshall testinin uygulama süreci görece uzun ve sofistike yapıdadır. Bitümlü sıcak karışımları meydana getiren bileşenlerin sahip oldukları özelliklerin stabilite ve akma üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Bu suretle, malzeme ve karışım özellikleri kullanılarak modellenmesi durumunda stabilite ve/veya akma daha hızlı ve kolay belirlenebilecektir. Veri analizi ve tahmin modelleri oluşturulmasına yönelik literatür çalışmalarında regresyon, kümeleme ve diskriminant analizleri kullanılan teknikler arasındadır [10-12]. Bu teknikler kullanılarak bilinen özellikler ile bilinmeyen değişken tahmin edilmeye çalışılır. Marshall Testi ile belirlenen stabilite ve akmanın tahminine yönelik olarak laboratuvar ortamında üretilmiş, sınırlı sayıda ve homojen nitelikte gözlemlerden oluşan veri gruplarına dayanan çalışmalarda başarı sağlanmış olsa da [13-15] veri sayısı arttığında ve gözlemler çeşitlilik gösterdiğinde oluşacak durum bilinmemektedir. Bu çalışmada, 2001 yılında Ankara Büyükşehir Belediyesi sınırları dahilindeki aşınma ve binder tabakalarının imalatıyla ilgili bitümlü sıcak karışım uygulamalarına ait veriler derlenerek uygulama temelinde 4680 adet gözlem içeren büyük bir veri grubu oluşturulmuştur. Oluşturulan bu veri grubu ile bitümlü sıcak karışım özelliklerinden olan akma değerinin bağımlı değişken olarak tanımlanması suretiyle malzeme ve karışım özellikleri temelinde regresyon modelleri kurularak tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla; veri grubuna regresyon, temel bileşen, kümeleme ve diskriminant analizleri uygulanmıştır

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Veri Grubu (Data Set)

Bu çalışmada, Ankara Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde 2001 yılı bitümlü sıcak karışım uygulamalarına ait veriler derlenmiş ve bu verilerden aşınma ve binder tabakalarına ait uygulamalar için elde edilen toplam 4680 adet briket ve karot numunelerine ait sonuçlar kullanılmıştır. Kullanılan numunelerin 2637 adeti aşınma tabakasına ve 2043 adeti binder tabakasına ait olmak üzere gradasyon, yükseklik, özgül ağırlıkla ilişkili ağırlıklar (havada, suda, doymun yüzey kuru), hacim, pratik özgül ağırlık, bitüm oranı, hava sıcaklığı, boşluk oranı, sıkışma oranı, stabilite ve akma değişkenlerini içeren veri tabanı oluşturulmuştur. Hava sıcaklığı verisi, bitümlü sıcak karışımların serme-sıkıştırma sıcaklık verisinin bulunmaması ve karışımın sıcaklık kaybı ile hava sıcaklığı arasındaki doğrudan ilişki nedeniyle Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınan 2001 yılına ait günlük ortalama hava sıcaklıkları olarak veri grubuna dahil edilmiştir

2.2. Metot (Method)

Çalışmada veri grubu üzerinde regresyon analizi, temel bileşen analizi, kümeleme analizi ve diskriminant analizi uygulanmış olup yöntemler ve kullanılan parametreler aşağıda açıklanmıştır;

Regresyon analizi, değişkenler arasındaki ilişkiyi ve doğrusallık kavramını kullanarak tahmin eşitliği geliştirir. Değişkenler arasındaki ilişki belirlendikten sonra bağımsız değişkenlerin değerleri bilindiğinde bağımlı değişkenin değeri tahmin edilebilir. Regresyonda değişkenler, bağımlı değişken ve bağımsız değişken olarak irdelenir ve bağımlı değişken, bağımsız değişkenler ile ilişkilendirilerek açıklanmaya çalışılır. Regresyon katsayısı (R2), bağımlı değişkendeki varyansın bağımsız değişkenler tarafından hangi oranda açıklanabildiğini gösterir [16]. Çalışmada, akma değişkeni bağımlı değişken olarak belirlenmiş ve çoklu regresyon analizleri ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Kümeleme ve diskriminant analizleri sonrasında ise oluşan yeni kümelere aşamalı regresyon uygulanarak akma bağımlı değişkeni tahmin edilmeye çalışılmıştır. Aşamalı regresyonda değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklamadaki güçlerine göre modele dahil edilmesi söz konusudur [17]. Şöyle ki; bağımlı değişkeni en iyi açıklayan bağımsız değişkenler regresyon denkleminde ilk olarak girer ve daha sonra kalan kısmı en iyi açıklayan değişken modele dahil olur. Değişkenler önceden belirlenen modele giriş F değeri (αgiriş) ile modele girebilir, modelden çıkış F değeri (αçıkış) ile modelden çıkarılır. Bu süreç αgiriş ve αçıkış şartları sağlandığı sürece devam eder. αgiriş ve αçıkış şartları sağlanmadığında aşamalı regresyon analizi sona erer. Standart aşamalı regresyon analizlerinde αgiriş=αçıkış=0,15 olarak belirlenmiştir.

Temel bileşen analizi, bağımsız değişken olarak kullanılan değişkenlerin birbirleriyle ilişkili olabilecek yapılarını birbirinden bağımsız ve daha az sayıda yeni veri yapılarına dönüştürmek için kullanılır. Temel bileşenler bizzat kendileri sonuç olmaktan ziyade sonuç almayı sağlayıcı özelliğe sahiptirler; çünkü daha geniş incelemeler için ara adım özelliği taşırlar [18]. Birinci temel bileşen toplam değişkenliği en çok

açıklayandır. Bir sonraki temel bileşen ise kalan değişkenliği en çok açıklayandır. Analizlerde genel varyansın en az %90'ını açıklayan sayıda temel bileşen seçilmiştir.

Kümeleme analizi, doğal grupları kesin olarak bilinmeyen birimleri kendi içinde homojen ve kendi aralarında heterojen olan uygun gruplara ayırır. Amaç, birimlerin sahip oldukları karakteristik özellikler temel alınarak gruplandırılmasıdır. Bu analiz sonucunda elde edilen kümelerle çalışmak suretiyle tahmin modellerinde elde edilecek güvenilirlik faktörünün (regresyon katsayısının) artırılma imkanı oluşur. Analizlerde %95 benzerlik seviyesinde, tek bağlantı (en yakın komşuluk) kümeleme yöntemi kullanılmıştır.

Diskriminant analizi, hatalı sınıflandırma olasılığını en aza indirgeyerek gözlemlerin ait oldukları grupları belirler. Diskriminant analizinde grupları birbirinden ayırmayı sağlayan fonksiyonlar belirlenir ve hesaplanan fonksiyonlar aracılığı ile yeni gözlenen bir birim sınıflama hatası minimum olacak biçimde gruplardan herhangi birine atanır. Bu analiz, veri grubuna uygulanan kümeleme analizi sonucunda elde edilen grup elemanlarının doğru gruba atanıp atanmadığını kontrol etmek amacıyla uygulanmıştır. Bu suretle, grupların (kümelerin) birbirlerinden olabildiğince hassas ayrımı sağlanmaya çalışılmıştır.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

4680 adet gözlemden oluşan veri grubuna regresyon analizleri uygulanmıştır. Marshall Testi ile belirlenen akma değerleri bağımlı değişken olarak seçilmiştir. Bağımsız değişken olarak, gradasyon verisi kapsamında eleklerden geçen ve elekler üzerinde kalan malzeme yüzdeleri ayrı ayrı kullanılmıştır. Ayrıca kaba agrega, ince agrega ve filler olmak üzere gradasyonun üç farklı formu da analizlere dahil edilmiştir. Bunlarla birlikte, briket ve karotlara ait yükseklik değerleri, özgül ağırlık ile ilgili ölçüm değerleri (havada, suda ve doymuş yüzey kuru ağırlıklar) ile hacim ve pratik özgül ağırlıklar, sıkışma oranı, boşluk oranı, hava sıcaklığı, bitüm oranı ve agrega yüzey alanı da bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Hava sıcaklığı verisi, Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan 2001 yılına ait günlük ortalama hava sıcaklıklarından oluşmuştur. Bazı bağımsız değişkenlerin 1/değişken halindeki matematiksel formları da analizlere dahil edilmiştir.

Tablo 1'de bağımsız değişkenlerin 11 farklı kombinasyonu ile gerçekleştirilen regresyon analizleri özetlenmiştir. Analiz sonuçlarında elde edilen regresyon modelleri ile sağlanan regresyon katsayıları (R^2) aynı tabloda görülebilmektedir. Tablo 1'de hücrelerde görülen "1" ile analizlerde bağımsız değişken olarak kullanılan değişkenler, boş hücre ile analizlerde değişken olarak kullanılmayanlar, "A" ile bağımlı değişken olan akma ifade edilmektedir. Analizlerde bağımsız değişken olarak kullanılan pratik özgül ağırlık pöa olarak, doymuş yüzey kuru ağırlık dyk olarak kısaltılmıştır. Tablo 1 incelendiğinde akma için elde edilen regresyon katsayılarının (R^2) % 13,5 ile % 25,7 arasında değiştiği görülmektedir. Küçük veri gruplarıyla yapılan çalışmalarda akmayı tahmin etmek üzere kurulan modeller ile daha yüksek R^2 değerleri elde edilmiştir [13,15]. Regresyon katsayıları, bağımlı değişkenlerdeki varyansın en fazla yüzde kaçının kullanılan bağımsız değişkenlerce açıklanabileceğini göstermekte olup elde edilen regresyon katsayıları bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken olarak seçilen akmayı açıklamada yetersiz kaldıklarını göstermektedir.

Tablo 1'de özeti verilen analizlerde tüm verilerle gerçekleştirilen regresyon analizi sonuçlarının yetersizliği, ortak özellikte olan gözlemlerin kümelenmesini gerektirmektedir. Bu suretle, daha yüksek regresyon katsayılarının elde edilmesi mümkün olabilecektir. Analizlerde kullanılan veri grubunun üstyapının aşınma ve binder olmak üzere farklı tabakalarına ait gözlemler içerdiği bilinmektedir. Kümeleme analizi, veri grubuna uygulanan temel bileşen analizini takiben ve bu analizden elde edilen değişkenler ile uygulanmıştır. Bu yaklaşım veri analizi çalışmalarında tercih edilebilmektedir [10]. Bağımsız değişken olarak kullanılan değerler arasında da ilişki bulunduğu ve tam bağımsız değişkenler oluşturmadıklarından tam bağımsız değişkenlerle çalışılabilmesi için temel bileşen analizi gerçekleştirilmiş ve elde edilen veri kümeleme analizinde kullanılmıştır. Temel bileşenler kaba agrega, ince agrega, briket ve karot için belirlenmiştir. Kaba ve ince agrega için temel bileşenler belirlenirken elekler üzerinde kalan agrega oranı kullanılmıştır. Kaba agrega, ince agrega, briket ve karot için kullanılan değişkenler, elde edilen temel bileşen katsayıları (TBK) ve her bir temel bileşenin ait olduğu orijinal verideki varyansı açıklama yüzdeleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Regresyon analiz sonuçları (Regression analysis results)

Kombinasyon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
R ² (%)	24,3	13,7	25,5	24,5	25,1	22	24,5	22,5	25,7	24,5	13,5
Bağımlı Değişken	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
3/4"	1		1	1	1		1	1	1	1	
1/(3/4")											1
1/2"	1	1	1	1	1		1		1	1	1
3/8"	1		1	1	1		1	1	1	1	1
Elekler											
No 4	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1
No 10	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1
No 40	1	1	1	1	1		1		1	1	1
No 80	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1
No 200	1		1	1	1		1		1	1	1
kaba							1				
ince							1				
filler							1	1	1	1	
1/filler											1
% kalan							1	1	1	1	1
% geçen	1	1	1	1	1						
yükseklik	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1
havada ağırlık	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Briket											
suda ağırlık	1		1	1	1	1	1		1	1	1
dyk	1		1	1	1	1	1		1	1	1
hacim	1			1			1	1		1	
1/hacim			1		1	1			1		1
pöa	1		1	1	1	1	1		1	1	1
yükseklik	1		1	1	1	1	1		1	1	1
havada ağırlık	1		1	1	1	1	1		1	1	1
suda ağırlık	1		1	1	1	1	1		1	1	1
dyk	1		1	1	1	1	1		1	1	1
Karot											
hacim	1			1			1			1	
1/hacim			1		1	1			1		1
pöa	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1
sıkışma	1		1	1	1	1	1		1	1	1
boşluk	1		1	1	1	1	1		1	1	1
Sıcaklık	1		1	1	1	1	1		1	1	1
Bitüm Oranı	1		1	1	1	1	1		1	1	1
Yüzey Alanı							1	1	1	1	1

Tablo 2’de parantez içinde belirtilen oranlardan anlaşılacağı üzere birinci temel bileşenler toplam değişkenliği en çok açıklayanlardır. Analizlerde genel varyansın en az %90’ını açıklayan sayıda temel bileşen seçilmiştir. Bu suretle; kaba agrega için 2, ince agrega için 3, briket için 2 ve karot için 1 temel bileşen kullanılmıştır.

Tablo 2. Kaba-ince agrega, briket ve karot için kullanılan değişkenler ile temel bileşen katsayıları (Variables used for coarse-fine aggregate, briquette and core samples with their principal component coefficients)

Değişkenler	Temel Bileşen Katsayıları		
	<u>TBK1(%87,6)</u>	<u>TBK2(%7,5)</u>	<u>TBK3</u>
Kaba Agregata	1"= 0	0	
	3/4"= -0,28	-0,146	
	1/2"= -0,567	0,588	
	3/8"= -0,032	-0,715	
	No4= 0,774	0,348	
İnce Agregata	<u>TBK1(%58,5)</u>	<u>TBK2(%25,1)</u>	<u>TBK3(%10,8)</u>
	No10= -0,883	-0,457	0,036
	No40= 0,465	-0,881	0,002
	No80= 0,005	0,061	-0,793
	No200= 0,057	0,11	0,608
Briket	<u>TBK1(%90,1)</u>	<u>TBK2(%8,8)</u>	<u>TBK3</u>
	yükseklik= -0,027	0,022	
	havada ağırlık= -0,598	0,55	
	suda ağırlık= -0,375	0,361	
	dyk= -0,678	-0,734	
	hacim= -0,202	0,165	
	pöa= 0	0	
Karot	<u>TBK1(%99,4)</u>	<u>TBK2</u>	<u>TBK3</u>
	yükseklik= -0,024		
	havada ağırlık= -0,63		
	suda ağırlık= -0,37		
	dyk= -0,63		
	hacim= -0,261		
	pöa= 0		

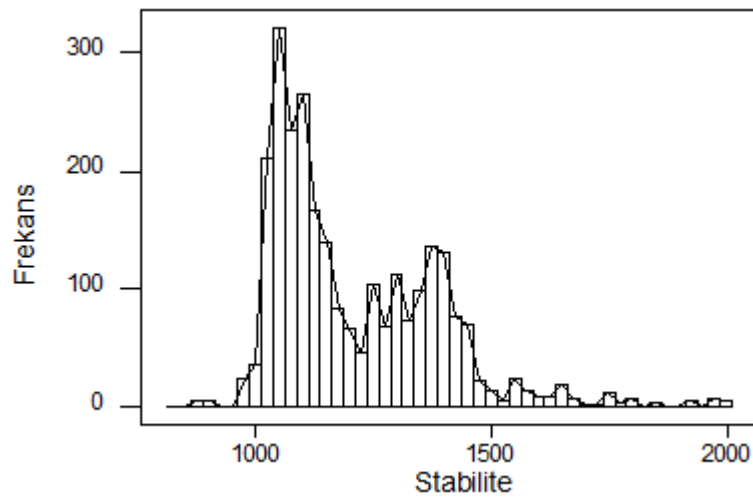
Briket, karot, kaba ve ince agrega için Tablo 2'deki katsayılarla hesaplanan ve en az %90 varyansı açıklayabilen temel bileşenler kümeleme analizinde kullanılmıştır. Bunların yanı sıra filler oranı, hava sıcaklığı, bitüm oranı, karota ait sıkışma ve boşluk oranları da kümeleme analizine dahil edilmiştir. %95 benzerlik seviyesinde, tek bağlantı yöntemi ile uygulanan kümeleme analizi sonucunda 146 küme elde edilmiştir. Bu kümelerin 4'ü diğer kümelere göre içerdiği yüksek gözlem sayısı açısından farklılık göstermiştir. Bu dört kümenin içerdiği gözlem sayıları sırasıyla 798, 1104, 279 ve 1218'dir. Diğer 142 kümenin içerdikleri gözlem sayıları 3 ile 44 arasında değişmektedir. Az sayıda gözlem içeren kümeler incelendiğinde; kümelere bulunan gözlemlerin ölçüm değerlerinde tutarsızlıklar olduğu, eksik bilgi bulunduğu ve/veya raporlama hatalarının olduğu anlaşılmıştır. Bu yüzden, sonraki analizlere dahil edilmemişlerdir.

Hatalı sınıflandırma olasılığını en aza indirmek amacıyla 146 kümenin içinde gözlem sayıları bakımından baskın olan dört kümeyle diskriminant analizi uygulanmıştır. Bu analizde kullanılan değişkenler; briket, karot, kaba ve ince agrega için hesaplanan temel bileşenler ile filler oranı, hava sıcaklığı, bitüm oranı, sıkışma ve boşluk oranı değerleridir. Baskın dört kümedeki toplam 3399 gözlem üzerinde yapılan diskriminant analizinde başarı %100 olarak bulunmuştur. Kümeleme analizi sonuçları bu analiz sonuçları ile birebir doğrulanmış, kümeleme analizi ile oluşturulan kümeler ve elemanları değişmemiştir. Diskriminant analizlerinde elde edilen gruplar arası uzaklıklar Tablo 3'te verilmiştir.

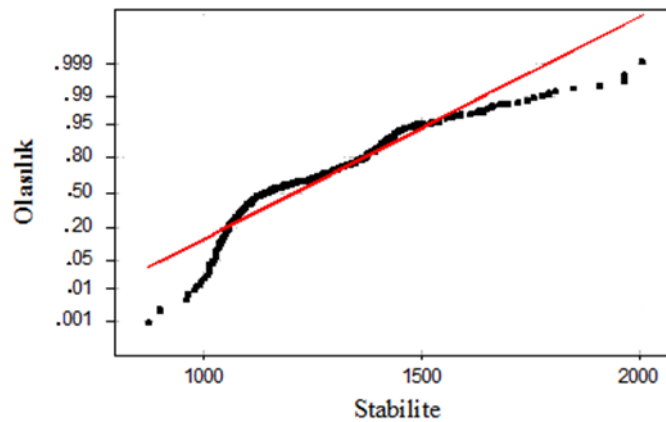
Tablo 3. Kümeler arası uzaklıklar (Distance between clusters)

Küme	1	2	3	4
1	0	625,11	98,209	818,09
2	625,11	0	668,5	119,57
3	98,209	668,5	0	658,72
4	818,09	119,57	658,72	0

Baskın kümelerdeki gözlemler irdelendiğinde küme 1 (K1) ve küme 2 (K2)'deki gradasyonların aşınma; küme 3 (K3) ve küme 4 (K4)'teki gradasyonların ise binder gradasyonuna uygunluk gösterdiği anlaşılmıştır. Elde edilen kümelerle ilgili ilave değerlendirme akmaya kıyasla daha tutarlı sonuçlar veren stabilite üzerinden yapılmıştır. Şekil 1'de stabilite değerlerine (kg) ait histogram sunulmuştur.

**Şekil 1.** Stabilite değerlerine ait histogram (Histogram of the stability values)

Sadece stabilite değerlerinden oluşan histogram incelendiğinde veri grubunun iki adet normal dağılımın toplamı şeklinde olduğu görülmüş olup bu değerlerin aşınma ve binder olmak üzere iki farklı tabakaya ait olduğu düşünüldüğünde tutarlı bir durum arz etmektedir. Ancak tüm değişkenlerin analize dahil edilmesiyle kümeleme analizleri sonucu elde edilen 4 baskın grup, aşınma ve binder gruplarının da kendi içlerinde 2'ye ayırdıklarını göstermektedir. Bu durumu incelemek üzere stabilite değerlerine ait normal olasılık grafiği Şekil 2'de sunulmuştur.

**Şekil 2.** Stabilite değerlerine ait normal olasılık grafiği (Normal probability plot of the stability values)

Şekil 2’de görülen eğrinin doğru parçası ile geçilebilen her aralığı o aralıkta normal dağılım olduğunu gösterir. Şekil, dört adet doğru parçası ile ifade edilebileceği için dört adet normal dağılım olduğu tahmin edilmekte olup kümeleme analizi sonucu elde edilen 4 baskın küme sonucunu desteklemektedir.

Çalışmanın bundan sonraki aşamalarında akma bağımlı değişkenini tahmin etmek üzere kurulan regresyon modelleri yukarıda belirlenen 4 kümenin Tablo 4’te belirtilen farklı kombinasyonları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Analiz uygulanan gruplar ve oluştukları kümeler (Groups subjected to analysing and the clusters they occur)

Grup	Oluştugu Kümeler
Tüm gruplar	K1+K2+K3+K4
Aşınma	K1+K2
Binder	K3+K4
Aşınma 1.grup	K1
Aşınma 2.grup	K2
Binder 1.grup	K3
Binder 2.grup	K4

Belirtilen kombinasyonlar veya kümeler için hesaplanan temel bileşenlerle birlikte filler oranı, hava sıcaklığı, bitüm oranı, sıkışma ve boşluk oranları kullanılarak regresyon analizleri yapılmıştır. Daha önce Tablo 1’de özetlendiği üzere, önceki analizlerde elde edilen regresyon katsayıları yetersiz olup bu durum veriler ile bağımlı değişken arasında doğrusal olmayan ilişkilerin bulunduğunu gösterir. Değişkenlerin çeşitli matematiksel ifadelerle dönüştürülmesi biçiminde ilişki doğrusallaştırılarak bu gereklilik sağlanabilir. Bu amaçla; bağımsız değişkenlerin kareleri, küpleri, 1/değişken halindeki değerleri ve üstel ifadeleri hesaplanarak farklı formları oluşturulmuştur. Tüm değişkenlerin farklı formlarının çalışmaya dahil edilmesiyle ilişkiler ve regresyon modelinin belirlenmesi, değişken ve formlarının seçimleri karmaşık bir hal almaktadır. Bu nedenle, bağımsız değişkenler ve farklı formları kullanılarak aşamalı regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde standart aşamalı regresyon, $\alpha_{giriş}=0,15$ ve $\alpha_{çıkış}=0,15$ ve toplam 60 adet bağımsız değişken kullanılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 5’te özetlenmiştir.

Tablo 5. Farklı küme kombinasyonları için standart aşamalı regresyon analiz sonuçları (Standard stepwise regression analysis results for different cluster combinations)

Küme Kombinasyonları	Regresyon katsayısı, R^2 (%)	Regresyon denkleminde bulunan bağımsız değişken sayısı
K1+K2+K3+K4	28,2	19
K1+K2	28,2	26
K3+K4	33,6	27
K1	45,3	16
K2	11,5	16
K3	73,9	25
K4	40,2	25

Standart aşamalı regresyon analizinde $\alpha_{giriş}$ ve $\alpha_{çıkış}$ değerlerine göre regresyon modeline dahil olan değişken sayısı değişebilmektedir. Bağımsız değişken havuzundan regresyon denkleminde dahil edilen değişkenler, analizde belirtilen $\alpha_{giriş}$ ve $\alpha_{çıkış}$ şartları sağlandığı sürece devam eder. $\alpha_{giriş}$ ve $\alpha_{çıkış}$ sağlanmadığında aşamalı regresyon analizi uygulandığı grup için sona erer. Tablo 5’te görüldüğü üzere farklı küme kombinasyonları için regresyon denkleminde bulunan bağımsız değişken sayıları bu yüzden farklılık göstermektedir. Bir başka ifadeyle, her küme için ortak bir model geliştirmek mümkün olmamıştır. Bununla birlikte, yapılan çalışmalarla Tablo 1’de görülen değerlere kıyasla regresyon

katsayısında iyileşmeler meydana getirilerek % 73,9'a kadar artması sağlanmıştır. Ancak her küme kombinasyonu için akma bağımlı değişkenindeki varyansı en az sayıdaki aynı tür bağımsız değişken ile açıklama hedefine yeterli seviyede ulaşılamamıştır.

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (CONCLUSION)

Bitümlü sıcak karışımlara ait akma değerinin regresyon modelleri ile tahmin edilmesine yönelik olan bu çalışmada ulaşılan bulgular aşağıda özetlenmiştir;

- Gradasyon verisi olarak eleklerden geçen ve elekler üzerinde kalan malzeme yüzdelerinin ayrı ayrı kullanıldığı, kaba-ince agrega ve filler olmak üzere gradasyonun üç farklı formunun da analizlere dahil edildiği, briket ve karotlara ait yükseklik değerlerinin, özgül ağırlık ile ilgili ölçüm değerlerinin (havada, suda ve doymuş yüzey kuru ağırlıklar), hacim ve pratik özgül ağırlıkların, sıkışma ve boşluk oranlarının, hava sıcaklığının, bitüm oranının ve agrega yüzey alanının bağımsız değişken olarak kullanıldığı regresyon analizlerinden elde edilen modeller ile bağımlı değişken olarak tanımlanan akmadaki varyans ancak % 25,7 seviyesine kadar açıklanabilmiştir.
- Veri grubu üzerinde temel bileşenlerle birlikte (briket, karot, kaba ve ince agregaya ait) filler oranı, hava sıcaklığı, bitüm oranı, karota ait sıkışma ve boşluk oranları kullanılarak gerçekleştirilen kümeleme analizi sonucunda içerdikleri gözlem sayısı bakımından baskın olan 4 küme elde edilmiştir. Veri grubunun 4 ana kümeye ayrılabilmesi normal olasılık yaklaşımıyla da desteklenmiştir.
- 4 baskın kümeyle aynı değişkenler ile uygulanan diskriminant analizinde başarı % 100 olarak bulunmuştur. Kümeleme analizi sonuçları diskriminant analizi ile birebir doğrulanmış, kümeleme analizi ile oluşturulan kümeler ve elemanları değişmemiştir.
- 4 baskın küme ve çeşitli kombinasyonlarına temel bileşenlerle birlikte (briket, karot, kaba ve ince agregaya ait) filler oranının, hava sıcaklığının, bitüm oranının, karota ait sıkışma ve boşluk oranlarının ve bunlara ait farklı matematiksel formların bağımsız değişken olarak kullanıldığı standart aşamalı regresyon analizleri uygulanmıştır. Bağımlı değişken olarak tanımlanan akma değerini tahmin etmek üzere geliştirilen bu modellerde regresyon katsayısı (R^2) % 73,9'a kadar ulaşmıştır.

SEMBOLLER VE KISALTMALAR (SYMBOLS AND ABBREVIATIONS)

dyk	:Doymuş yüzey kuru ağırlık
K1	:Küme 1
K2	:Küme 2
K3	:Küme 3
K4	:Küme 4
pöa	:Pratik özgül ağırlık
TBK	:Temel bileşen katsayısı

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] KGM, Karayolları Teknik Şartnamesi. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 2013.
- [2] S.S. Karahancer, M. Kiristi, S. Terzi, M. Saltan, A.U. Oksuz, L. Oksuz, Performance evaluation of nano-modified asphalt concrete Constr Build Mater, 71:(2014) 283-288.
- [3] R. Mistry, T.K. Roy, Effect of using fly ash as alternative filler in hot mix asphalt, Perspectives in Science, 8:(2016) 307-309.
- [4] D. Arslan, M. Gürü, M.K. Çubuk, Bitüm ve bitümlü karışımların performans özelliklerinin organik esaslı çinkofosfat bileşiği ile geliştirilmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Dergisi, 27:(2012) 459-466.

- [5] D. Arslan, M. Gürü, M.K. Çubuk, Preventing of rutting and crackings in the bituminous mixtures by monoethylene and diethylene glycol based synthetic polyboron compounds, *Constr Build Mater*, 50:(2014), 102-107.
- [6] N. Morova, S. Serin, S. Terzi, M. Saltan, D.O. Kucukcapraz, S.S. Karahancer, E. Eriskin, E. Utility of polyparaphenylene terephthalamide fiber in hot mix asphalt as a fiber, *Constr Build Mater*, 107:(2016) 87-94.
- [7] S. Haddadi, E. Ghorbel N. Laradi, Effects of the manufacturing process on the performances of the bituminous binders modified with EVA, *Constr Build Mater*, 22:(2008), 1212-1219.
- [8] A.S. Karakas, B. Sayin, N. Kuloğlu, The changes in the mechanical properties of neat and SBS-modified HMA pavements due to traffic loads and environmental effects over a one-year period, *Constr Build Mater*, 71:(2014) 406-415, 2014.
- [9] S. Hınıslioğlu, E. Ağar, Use of waste high density polyethylene as bitumen modifier in asphalt concrete mix, *Materials Letters*, 58:(2004) 267-271.
- [10] S. Ghosh, R. Chatterjee, P. Shanker, Estimation of ash, moisture content and detection of coal lithofacies from well logs using regression and artificial neural network modelling, *Fuel*, 177:(2016) 279-287.
- [11] M.R. Mirzahosseini, A. Aghaeifar, Alavi, A.H. Gandomi, R. Seyednour, Permanent deformation analysis of asphalt mixtures using soft computing techniques, *Expert Systems with Applications*, 38:(2011) 6081-6100.
- [12] J.M. Busch, W.G. Fortney, L.N. Berry, Determination of lithology from well logs by statistical analysis, *Formation Evaluation*, 2:(1987) 412-418.
- [13] A. Aksoy, E. Iskender, H.T. Kahraman, Application of the intuitive k-NN Estimator for prediction of the Marshall Test (ASTM D1559) results for asphalt mixtures, *Constr Build Mater*, 34:(2012) 561-569.
- [14] E. Özgan, S. Serin, T. Kap, Multi variety investigation into the effects of hot-mix asphalt parameters on the marshall stability, 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ-Turkey, 101-108, 2011.
- [15] S. Khuntia, A.K. Das, M. Mohanty, M. Panda, Prediction of Marshall Parameters of Modified Bituminous Mixtures Using Artificial Intelligence Techniques, *International Journal of Transportation Science and Technology*, 3:(2014) 211-228.
- [16] Ünver, Ö., Gamgam, H., "Uygulamalı İstatistik Yöntemler", Siyasal Kitabevi, Ankara, 1996.
- [17] Özdamar, K., "Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi", Cilt 1, Kaan Kitabevi, Eskişehir, 1999.
- [18] Özdamar, K., "Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi", Cilt 2, Kaan Kitabevi, Eskişehir, 2002.