

SIKIŞTIRILMIŞ YOL ZEMİNLERİNİN KOMPAKSİYON PARAMETRELERİNİN KONTROLÜ

Selim ALTUN
Yrd. Doç. Dr.
Ege Üniversitesi İnşaat Müh. Bölümü
İzmir, Türkiye

Ahmet Burak GÖKTEPE
Dr. Müh.
Kolin İnşaat
Gümüşhane, Türkiye

Alper SEZER
İnş. Yük. Müh.
Ege Üniversitesi İnşaat Müh. Bölümü
İzmir, Türkiye

Volkan OKUR
Yrd. Doç. Dr.
Osmangazi Üniv. İnş. Müh. Bölümü
Eskişehir, Türkiye

ÖZET

Yol mühendisliğinde sıkışmanın kontrolü için yaygın olarak kullanılan iki yöntem kum konisi ve nükleer deneylerdir. Bu deneylerden kum konisi deneyi nükleer deneye göre daha güvenilir sonuç vermekte, ancak uygulanabilirlik açısından zahmetli ve zaman alıcı bir deneydir. Öte yandan, hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilen nükleer deneyin, operatörün radyasyona maruz kalması ve bazı tip zeminlerde hesaplanan parametrelerde hata oranının fazlalığı gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bu nedenle, yaygın olarak tercih edilen uygulama, aynı yerde nükleer deneyin daha sık yapılması ve bu deneylerin az sayıda gerçekleştirilen kum konisi sonuçları ile korele edilerek kullanılmasıdır. Bu anlamda, bu iki deney arasında kurulacak ilişkilerin anlamlılığının test edilmesi büyük önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, çeşitli istatistiksel yöntemlerle bu iki deneyden elde edilen parametreler arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Sonuçta, deney sonuçları arasında kurulacak ilişkilerde istatistiğin önemi vurgulanarak öneriler sunulmuştur.

Giriş

Yol enkesiti esas olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi, yolun trafik yüklerini taşıyan ve gerilmeleri dağıtarak yolun taban yüzeyi üzerine yerleştirilen üstyapı sistemi; ikincisi ise, yol üstyapısının altında yer alan ve üstyapıdan gelen yükleri temel zeminine aktaran altyapı sistemidir.

Üstyapının önemli bir kısmını oluşturan temel ve alt temel tabakalarının en önemli görevleri, etkisi altında kaldığı trafik yüklerini ve taşıtların oluşturduğu tekerlek yüklerini, tabanın taşıma kapasitesini aşmayacak şekilde yaymak ve oluşabilecek ani dinamik etkiyi en aza indirmektir. Buna göre, temel ve alt temel tabakalarından beklenen başlıca özellikler:

- Yeterli mukavemete sahip olması,
- Oluşabilecek deformasyonların en az seviyede gerçekleşmesi,
- Su ve don gibi mevsimsel değişikliklerle meydana gelebilecek zararlı etkilere karşı yeterince dirençli olması

şeklinde sıralanabilir.

Yol inşaatlarında kullanılan zeminlerin mühendislik açısından uygun koşulları yerine getirmesi amacıyla laboratuvar ve arazide yapılan çalışma ve incelemeler ile birlikte, geçmişte yapılan teorik çalışmalarla da uygun zeminlerin seçimi ve özelliklerinin belirlenmesi konusunda gelişmeler sağlanmıştır. Özellikle yol zeminlerinin önceden öngörülen özelliklerinin arazide ne ölçüde gerçekleştirildiği konusunda yapılan çalışmalar arazide yürütülen belirli deneylerin sonuçlarının genellikle bağımsız olarak kullanılması kapsamında yapılmaktadır. Bu deneysel yöntemlerin güvenilirliğinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Geçmişte bu özelliklerin tespiti üzerine yapılan çalışmalar, regresyon analizi ve yapay zeka teknikleri üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çerçevede, Shahin ve Becker (1984), üstyapı performans tahmin modeli geliştirmek için bir havaalanında elde edilen verileri kullanmışlardır. Çalışmada, Üstyapı Durum İndeksi (Pavement Condition Index-PCI) adında bir parametre geliştirilmiştir. Geliştirdikleri model hem esnek hem de rijit üstyapılar için kullanılabilir. Geçmişte yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında, modelin performansının oldukça iyi olduğu çalışmada belirtilmiştir. Basheer ve Najjar (1995), optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığın

tahmini için yapay sinir ağlarına dayalı, regresyon modeline alternatif bir yaklaşım modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada, optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri, zemine ait kıvam limitleri ve birim hacim ağırlık değerleri yapay sinir ağına dahil ederek tahmin yapılmıştır. Kurulmuş olan yapay sinir ağı modeli ile yapılan tahminler, deney sonuçları ve geçmişte oluşturulan farklı regresyon eşitlikleri sonucu elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta regresyon modelleri ile karşılaştırılan yapay sinir ağı değerlerinin, onlardan daha kararlı neticeler verdiği gözlenmiştir. Ayrıca araştırmalarında, geliştirilen yapay sinir ağı modellerinin tahmin yeteneklerinin, geçmişte kullanılan regresyon metotlarına olan avantajlarına da değinilmiştir. Gülen vd. (2001), geniş bir veri tabanı kullanarak, farklı üstyapılara sahip şehir içi ve şehirlerarası yollar için regresyon modelleri geliştirmişlerdir. Sundin ve Braban-Ledoux (2001) üstyapı mühendisliği alanında, 1980'lerden itibaren geliştirilen yapay zeka esaslı uygulamalarını incelemişlerdir. Karşılaştıkları uygulamaların özellikle üstyapı yönetimi alanında yoğunluk gösterdiğini ifade etmişlerdir. Sillers ve Fredlund (2001), zemin-su karakteristik eğrileri üzerinde yaptıkları istatistiksel çalışmalarında, 230 su muhtevası- zemin emme verisine uygun ampirik bağıntılar geliştirmişlerdir. Modellerin uygunluk testleri Akaike Bilgi Kriteri ile Sigmoid fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, iki ve üç parametrelilik denklemlerin, eksponansiyel ve sigmoid fonksiyonlar arasındaki ilişkilerin ve literatürde önerilen düzeltme faktörlerinin bir tartışması yapılmıştır. Yoon vd. (2004) yapmış oldukları çalışmada, Kore'nin kıyı kesimlerindeki deniz kilinin sıkışma indisinin belirlenmesinde, 1200'den fazla örselenmemiş numune üzerinde konsolidasyon deneyine ait zemin özelliklerine dayanan tekli ve çoklu regresyon modelleri geliştirmişler. Hem tek hem de çoklu zemin özelliklerinin tahmininde, bölgeye özel ampirik korelasyonlar geliştirilmiştir. Daha sonra, oluşturulan regresyon eşitliklerini, varolan ampirik eşitliklerle karşılaştırılmışlardır. Sonuçta basit lineer bir regresyon modelini içeren doğal su muhtevası, boşluk oranı ve likit limit ile tahmin edilen sıkışma indisi, uygun şekilde zeminin gerçek sıkışma indisini hesaplayabilmektedir.

Amaç

Zeminin sıkışabilirliğinin kontrol edilmesi amacıyla, laboratuarda yapılan başlıca deneyler standart ve modifiye Proktor deneyleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Belirli kompaksiyon enerjileri dahilinde uygulanan bu deneyler sonucunda, sıkıştırma kontrol parametreleri olan su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlık değerleri elde edilmektedir. Araziye yapılan sıkılık kontrolü ise kum konisi ve nükleer nem-yoğunluk deneyi gibi arazi deneyleriyle incelenmektedir. Arazi ve laboratuarda gerçekleştirilen bu deneylerin asıl

amacı, kompaksiyon parametreleri olan kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevasının hesaplanarak tasarım için uygun koşulların hazırlanması ve uygulamadaki başarının kontrolüdür.

Bu çalışmada, üç farklı bölgede gerçekleştirilen yol inşaatlarında sıklık kontrolü amacıyla yapılan arazi deneyleri sonuçları kullanılarak zemin sıkıştırma çalışmaları karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Sıkıştırma parametrelerini kontrol etmek amacıyla arazide kullanılan deneylerden nükleer deney ve kum konisi deneyleri sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi parametrelerinin değişimleri incelenmiş, arazi üzerinde aynı noktalarda birlikte yapılan deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Böylece nükleer deneyin hızlı yapılabilme avantajına karşın, kum konisi yöntemi ile bulunan değerlere ne ölçüde yakınsadığı, çalışma kapsamında çeşitli yöntemlerle araştırılmıştır. Aynı zamanda, kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi parametreleri kullanılarak doğrusal olmayan eşitlikler geliştirilmiş, böylelikle sonraki çalışmalara bir referans teşkil edecek sonuçlar elde edilmiştir.

İstatistik analiz

Arazide yapılan kum konisi ve nükleer deney sonucu elde edilen parametrelerden, sırası ile γ_{kk} ve γ_{kn} değerleri kum konisi ve nükleer deneylerden elde edilen birim hacim ağırlık değerleri, ω_k ve ω_n bu deneylerden elde edilen su muhtevaları, S_k ve S_n ise aynı deneylerden elde edilen sıkışma yüzdeleridir. Bu parametrelerin basit istatistik analizi Tablo 1’de yer almaktadır. Deneyler sonunda elde edilen 87 verinin (kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma) yüzdesi değerlerinin istatistiksel değerlendirmesi yapılmıştır.

Tablo 1. Kum konisi ve nükleer deney sonucu elde edilen parametrelerin temel istatistik analizi

Parametre	γ_{kk}	γ_{kn}	ω_k	ω_n	S_k	S_n
Ortalama	2.100	2.081	6.376	4.971	102.164	101.212
Medyan	2.057	2.002	6.180	4.800	101.260	100.820
Mod	1.988	1.974	6.830	5.400	100.280	100.760
Minimum	1.886	1.696	2.330	1.400	95.800	100.000
Maksimum	2.432	2.424	11.880	8.800	111.080	108.070
Aralık	0.546	0.455	9.550	7.400	15.280	8.070
Standart Sapma	0.127	0.133	2.196	1.484	2.646	1.292
Varyans	0.016	0.018	4.824	2.201	7.001	1.670
Çarpıklık(Asimetri)	0.719	0.978	0.132	0.279	1.183	2.460
Basıklık(Kurtosis)	-0.466	-0.509	-0.636	-0.191	1.673	8.961

T Testi Analizi

Kum konisi ve nükleer deney sonucunda elde edilen verilerin t değerleri aşağıda hesaplanmıştır. Örnek sayısı 30'dan büyük olduğu için, hesaplamalarda z istatistiği kullanılmıştır. Buna göre öncelikle Kum Konisi deney verilerine ait değerleri incelenecek olursa; % 95 güven aralığı içerisinde kum konisi deneyine ait t değerleri Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. Kum konisi deneyine ait verilerin t testi değerleri

Parametre	N	μ	σ	t değeri	%95 Güven Aralığında Değişim	
γ_{kk}	87	2.100	0.136	154.476	2.073	2.127
ω_k	87	6.376	2.196	27.079	5.908	6.844
S_k	87	102.164	2.646	360.133	101.600	102.728

Tablo 2'de görüldüğü gibi, $p < 0.05$ olduğundan H_0 hipotezi kabul edilmiştir. Bir başka ifadeyle kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi değerlerine ait veriler arasında anlamlı fark bulunmaktadır. Bu durum, hesaplanan ve kritik t değerleri açısından incelenecek olursa, serbestlik derecesi değeri 86 olan, %95 güven aralığında tablolar yardımıyla hesaplanan kritik t değeri (t_{cr}) 1,99 olup bu değer, kum konisi deneyi sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi değerlerinin her biri için hesaplanan t değerlerinden küçüktür. Böylece ortalamalar arasında istatistiksel bir fark bulunduğu sonucuna varılabilir. Kısacası, bu parametreler farklı grupları temsil etmektedir.

Nükleer deney sonucunda elde edilen parametreler ise, Tablo 3'te incelenmiştir. Her deney grubu için 87 adet verinin mevcut olduğu değerlerin, sırası ile ortalamaları, standart sapmaları, serbestlik dereceleri, t değerleri bulunmuş olup, elde edilen verilerin ortalamalarının anlamlı olup olmadığı araştırılmıştır.

Tablo 3. Nükleer deneye ait verilerin t testi değerleri

Parametre	N	μ	σ	t değeri	%95 Güven Aralığında Değişim	
γ_{kn}	87	2.081	0.133	145.982	2.053	2.110
ω_n	87	4.971	1.484	31.254	4.655	5.287
S_n	87	101.212	1.293	730.347	100.936	101.487

Hesaplanan üç t değeri de, kritik t değeri olan (t_{cr}) 1.99'dan büyük bulunmuştur. Bu durumda nükleer deney sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi değerlerine ait ortalamaların her biri için, bir fark bulunduğu sonucuna varılmıştır. Aynı netice, $p < 0.05$ güven düzeyinde H_0 hipotezinin kabul edilmesi ile doğrulanmaktadır. Üç farklı tür verilerin kendi içlerinde ortalamalarının anlamlı olmadığı söylenebilir.

Varyans Analizi

Bu çalışma kapsamında, kum konisi ve nükleer deney verileri üzerinde varyans analizi uygulanarak, verilerin standart sapmaları arasındaki ilişki araştırılmıştır.

Tablo 4'de her iki deneye verilerin değerlendirilmesi sonucu elde edilen F değeri görülmektedir. Ayrıca tablolardan yararlanılarak bulunan kritik F değeri ise, (F_{cr}) 3.10 olarak elde edilmiştir. Hesaplanan ve kritik F değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında, hesaplanan F değerinin daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum, iki deneye ait su muhtevası değerlerinin varyanslarının anlamlı olmadığı yönünde bilgi vermektedir.

Tablo 4. ω_k ve ω_n değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Parametre	N	df	μ	σ	F
ω_k	87	86	6.376	2.196	36.917
ω_n	87	86	4.971	1.484	

Ki-Kare Testi Analizi

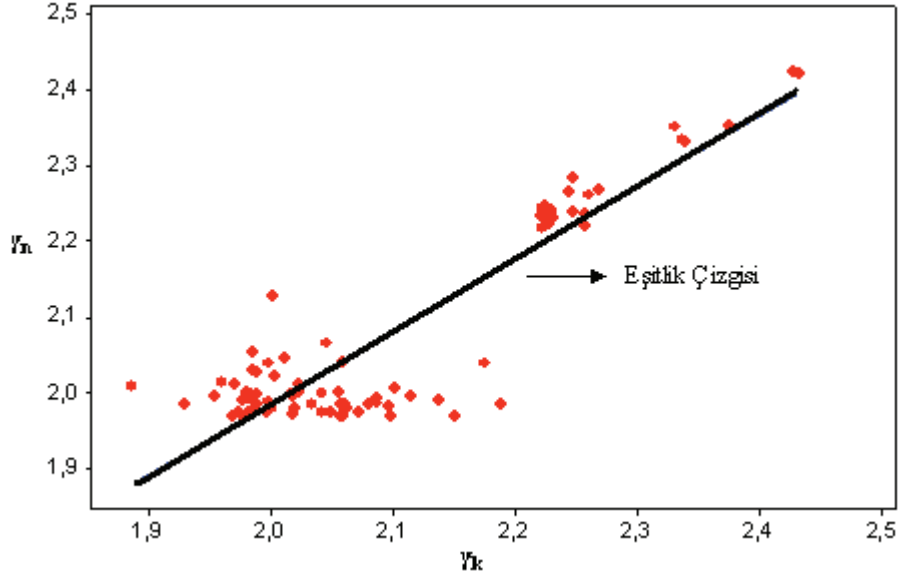
Kum konisi ve nükleer deney sonucunda elde edilen verilerin normal dağılıma uygun olup olmadığının araştırılması açısından sıkışma yüzdesi parametresi, Ki-Kare uygunluk testine tabi tutulmuştur. 0.05 önem seviyesinde test edilecek değerlere ait kritik χ^2 değeri, tablolardan yararlanılarak 108.65 olarak elde edilmiştir. Kritik Ki-Kare değeri bulunduktan sonra, bu değer hesaplanan altı farklı Ki-Kare değeri ile karşılaştırılır. Ki-Kare testi sonunda elde edilen sonuçlar Tablo 5’de gösterilmektedir. Hesaplanan Ki-Kare değerlerinin tümü, görüldüğü üzere, kritik değerden küçük çıkmıştır. Buna göre H_0 hipotezi kabul edilir. Bir başka deyişle, altı farklı gruba ait verilerin tamamı için, gözlenen değer ile beklenen değer arasındaki farklılığın 0.05 önem seviyesinde önemli olmadığı söylenebilir.

Tablo 5. Kum konisi ve nükleer deney verilerine ait χ^2 değerleri

Parametre	N	df	E_{ij}	$\Sigma(O_{ij} - E_{ij})$	$\Sigma(O_{ij} - E_{ij})^2$	χ^2
S_k	87	86	102.164	-0.008	602.124	5.894
S_n	87	86	101.212	0.011	143.604	1.419

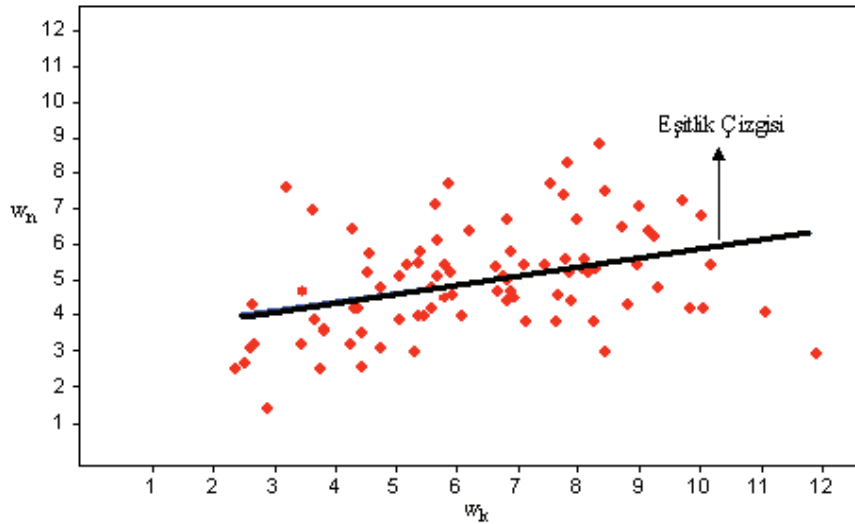
Parametreler Arası Saçılma Analizi

Kum konisi deneyi ve nükleer deney sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerlerinin ortak bir grafik üzerine aktarılması sonucu elde edilen iki boyutlu çizim Şekil 1’de görülmektedir. Buna göre, verilerin oldukça dağınık olduğu söylenebilir. Kuru birim hacim değerleri arasında doğrusal bir ilişkiden söz edilemez. Kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinin çoğunluğu 1.95 ile 2.10 aralığında toplanmıştır. Aynı şekilde nükleer deneye ait kuru birim hacim ağırlık değerleri de 1.95 ile 2.05 arasında yoğunlaştığı söylenebilir. Diğer taraftan, her iki deneye ait değerlerin bir kısmı ise 2.2–2.3 aralığında yer almıştır. Genel olarak, optimum düzeyin belirlenmesinde çizilen doğru da, değerler arasında doğrusallığın bulunmadığını göstermektedir.



Şekil 1. Kum konisi ve nükleer deneylerden elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerlerinin saçılma grafiği

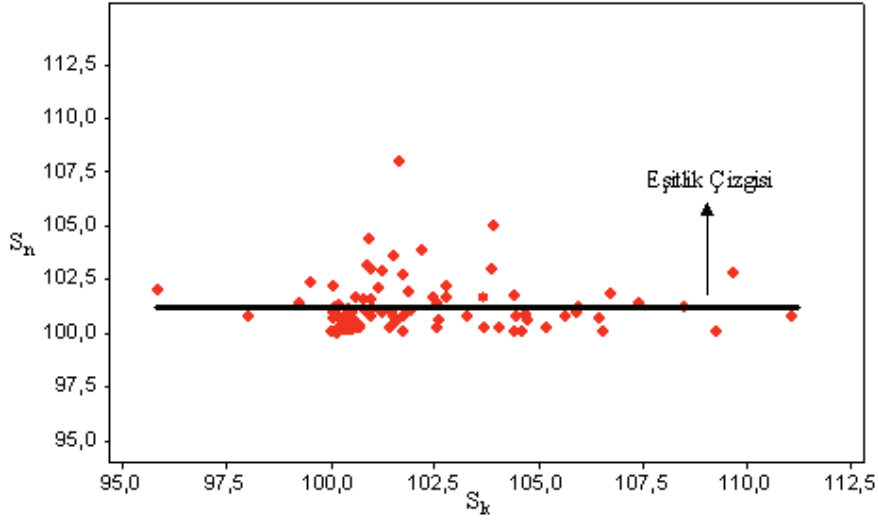
Şekil 2’de kum konisi ve nükleer deneye ait su muhtevası değerlerinin saçılma grafiği görülmektedir. Öncelikle değerlerin fazlasıyla dağınık bir yapıda bulunduğunu söylemek mümkündür. Kum konisi deneyine ait su muhtevası değerleri 2 ile 12 arasında, 10 birimlik bir bantta bulunmakta, diğer taraftan nükleer deneye ait su muhtevası değerleri ise, 1-9 aralığında yer almaktadır. Sonuç olarak, iki parametre arasında doğrusal bir ilişkiden söz etmek mümkün değildir.



Şekil 2. Kum konisi ve nükleer deneylerden elde edilen su muhtevası değerlerinin saçılma grafiği

Son olarak, kum konisi deneyi ve nükleer deneye ait sıkışma yüzdesi değerlerinin saçılma grafiği Şekil 3’de yer almaktadır. Her ne kadar, iki deney grubu için verilerin 100-

102.5 aralığında toplandığı görülse de, verilerin saçılımının düzgün olmadığı açıktır. Başka bir deyişle, veriler arasında doğrusal bir ilişkiden söz etmek mümkün değildir.



Şekil 3. Kum konisi ve nükleer deneylerden elde edilen sıkışma yüzdesi değerlerinin saçılma grafiği

İncelenen grafikler sonucunda, elde edilen ortak sonuç, saçılımların doğrusal olmayan bir davranış sergilemesidir. İlgili doğrusal olmayan davranışın fonksiyonun türetilmesinde ise, parametrelere ait doğrusal olmayan regresyon denklemleri geliştirilmiştir.

Parametreler arasındaki Doğrusal Olmayan İlişkinin Regresyonu

Kum konisi ve nükleer deneye ait verilerin analizi sonucunda, kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi parametreleri arasındaki doğrusal olmayan ilişkilerin varlığı araştırılmıştır. Yapılan incelemede, kum konisi ve nükleer deneye ait veri setlerinin ilişkileri, hem kendi aralarında, hem de birbirleri ile ilişkileri analiz edilmiştir. Yapılan analizde sırası ile $\gamma_{kn} - \gamma_{kk}$; $\gamma_{kk} - \omega_n - \gamma_{kn}$; $\omega_k - \gamma_{kn} - \omega_n$; $S_n - \gamma_{kn} - \omega_n$; $S_n - \omega_n - \gamma_{kk}$; $S_k - \omega_k - \gamma_{kk}$ ve $S_k - S_n$ arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Her deney sonucunda elde edilen F değerleri, F_{cr} değeri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca korelasyon katsayıları da hesaplanarak, doğrusal olmayan denklemlerdeki parametreler arasındaki uyumluluk incelenmiştir. Buna göre, analizi yapılan 7 farklı doğrusal olmayan denklem sonucunda, uygulanabilirliği en yüksek bulunan üç eşitlik, kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık verileri ile nükleer deneye ait su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlık verilerinde elde edilmiştir. Biri doğrusal, diğer ikisi doğrusal olmayan bu denklemler incelenecek olursa:

$$\gamma_{kk} = -11.733 + \frac{66.261}{\gamma_{kn}} + 6.668 \times \omega_n - \frac{84.996}{\gamma_{kn}^2} + 0.024 \times \omega_n^2 - \frac{28.606 \times \omega_n}{\gamma_{kn}} + \frac{16.422}{\gamma_{kn}^3} - \frac{0.021 \times \omega_n^2}{\gamma_{kn}} + \frac{30.183 \times \omega_n}{\gamma_{kn}^2} \quad (1)$$

Kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık verileri ile nükleer deneye ait su muhtevası ile kuru birim hacim ağırlık değerlerinin analizinde, hesaplanan F değeri olan 50.57 değeri, (F_{cr}) 3.10 değerinden büyük çıkmakla birlikte, denklemde elde edilen katsayılar arasında bir uyum söz konusudur. Aynı zamanda, korelasyon katsayısını ifade eden r değerinin 1'e çok yakın bir değerde bulunması, denklemdeki parametreler arasında pozitif yönde uyumlu bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Bir başka ifadeyle, denklem uygulanabilir niteliktedir. Bununla birlikte, denklemdeki katsayılar incelendiğinde, nükleer deneye ait su muhtevası verilerinin, kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık verileri üzerinde daha baskın olduğu söylenebilir.

Kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinin, nükleer deneye ait kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevası değerleri ile ilişkilendirilmesinde hesaplanan bir diğer denklem;

$$\gamma_{kk} = 15.617 - \frac{52.281}{\gamma_{kn}} - \frac{2.572}{w_{kn}} + \frac{50.234}{\gamma_{kn}^2} + \frac{0.487}{\omega_n^2} + \frac{4.848}{(\gamma_{kn} + \omega_n)} \quad (2)$$

şeklindedir. Öncelikle denkleme ait korelasyon katsayısı incelenecek olursa; $r = 0.914$ olarak elde edilen korelasyon katsayısı değeri, 1'e oldukça yakın bulunmuştur. Bu durumda denklemi oluşturan katsayılar arasında pozitif yönde kuvvetli bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, F değeri incelenecek olursa, 82.48 olarak elde edilen F değeri, kritik F değeri olan, (F_{cr}) 3.10'dan fazla bulunmuştur. Hesaplanan F değerinin, kritik F değerinden büyük bulunması, kurulan doğrusal olmayan regresyon denkleminin anlamlı olduğunu göstermektedir.

Son olarak da, kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık değerleri ile nükleer deney sonucunda bulunan kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevası değerlerinin ilişkisinin araştırılmasından elde edilen doğrusal regresyon denklemi incelenecek olursa;

$$\gamma_{kk} = 0.36 + 0.846 \times \gamma_{kn} - 4.051 \times \omega_n \quad (3)$$

şeklinde elde edilen doğrusal regresyon denkleminde, korelasyon katsayısı değeri, $r = 0.902$ olarak hesaplanmıştır. Korelasyon katsayısı değerinin 1'e yakın bulunması, denklemi oluşturan parametreler arasında, pozitif yönde kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermektedir. Ayrıca hesaplamalarda elde edilen F değeri olan 183.735 değerinin, kritik F değeri, (F_{cr}) 3.10'dan fazlasıyla büyük bulunması, doğrusal regresyon denkleminin anlamlı bir sonuç verdiğinin göstergesidir.

Sonuçlar

Yapılan çalışma kapsamında, üç farklı bölgede sıklık kontrolü amacıyla yapılan arazi deneyleri sonuçları kullanılarak zemin sıkıştırma çalışmaları karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Sıkıştırma parametrelerini kontrol etmek amacıyla; büyük bir kısmı Birleşik Zemin Sınıflandırma Sistemine göre "SC" zeminler üzerinde yapılan deneylerde arazide yapılan deneylerden nükleer deney ve kum konisi deneyleri sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi parametrelerinin değişimleri incelenmiş, arazi üzerinde aynı noktalarda birlikte yapılan deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla önce, üç bölgede yapılan kum konisi ve nükleer deneylerden elde edilen geoteknik parametrelerin istatistik analizi yapılarak, bu deneylerin sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi verilerinin karşılaştırılması suretiyle deneylerin güvenilirliği araştırılmıştır. Aynı zamanda ilgili parametreler üzerinde yapılan t, ki-kare ve varyans analizi ile deney verilerinin ana istatistiksel parametreleri arasındaki ilişkilerin anlamlılığı; saçılma analizleri ile ise, deneylerden elde edilen parametreler arasındaki doğrusal ilişkiler araştırılmıştır. Böylece nükleer deneyin hızlı yapılabilme avantajına karşın, kum konisi yöntemi ile bulunan değerlere ne ölçüde yakınsadığı, çalışma kapsamında çeşitli istatistiki yöntemlerle araştırılmıştır. Aynı zamanda, ilgili parametreler arasında dokuz farklı eşitlik geliştirilmiştir. Çalışmada elde edilen doğrusal olmayan modellerin, doğrusal modellerle karşılaştırılması sonucunda, zeminin sıklığının belirlenmesinde kullanılan deney sonuçları arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde doğrusal olmayan modellerin daha etkili olduğu yönünde bir genelleme yapılabileceği ortaya konmuştur. Ayrıca, benzer çalışmaların diğer sınıflardaki granüler zeminler için tekrarlanarak, elde edilen ilişkilerin kullanıma açılması gerekliliği de çıkarılması gereken diğer bir sonuçtur.

KAYNAKLAR

Basheer, I. A. and Najjar, Y. M., “A neural network for soil compaction”, 5th International Semposium on Numerical Models in Geomechanics, Davos, Switzerland, 1995, pp 435-440.

Gulen, S., Zhu, K., Weaver, J., Shan, J., Flora, W. F., “Development of improved pavement performance prediction models for Indiana pavement management system”, The Federal Highway Administration, No:17, October 2001, Indiana, pp. 39-49.

Sillers, W. S. and Fredlund, D. G., “Statistical Assessment of Soil-Water Characteristic Curve Models for Geotechnical Engineering”, Canadian Geotechnical Journal, Vol.38, December 2001, pp. 1297-1313.

Shahin, M. Y., Becker, J. M., “Development of performance prediction models for airfield pavements”, Transportation Research Record, Vol. 985, 1984, pp. 25-33.

Sundin, S., Braban-Ledoux, C., “Artificial intelligence-based decision support technologies in pavement management”, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol. 16, March 2001, pp. 143-157.

Yoon, L.M., Kim, B.T. and Jeon, S.S., “Empirical correlations of compression index for marine clay from regression analysis”, Can. J. Geotech, Vol. 46, December 2004, pp. 1213-1221.