

## Nonlinear İteratif Regresyon Analizi Kullanılarak Düşük Lastik Şişirme Basıncının Yunuslama Kuvvetine Etkisinin İncelenmesi

Hüseyin Bayrakçeken<sup>1</sup>, Zekeriya Girgin<sup>2</sup>, Faruk Emre Aysal<sup>1</sup>, Mustafa Babagiray<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

<sup>2</sup>Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1572-4859>

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5958-9735>

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9514-1425>

\*e-posta: [mbabagiray@aku.edu.tr](mailto:mbabagiray@aku.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2482-6662>

Geliş Tarihi: 19.04.2019;

Kabul Tarihi: 06.08.2019

### Öz

Bu çalışmada, standart değerinden düşük lastik şişirme basıncının frenleme esnasında taşıta olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma laboratuvar ortamında taşıt fren testlerinin yapılmasını sağlayan, yarım taşıt modeli olarak dizayn edilmiş Fren-Süspansiyon Test Cihazında gerçekleştirilmiştir. Testler yapılırken 26 psi'dan 34 psi standart değerine kadar toplam beş farklı lastik şişirme basıncı ele alınmıştır. Her bir lastik şişirme basıncı için ayrı ayrı gerçekleştirilen deneyler neticesinde basınç değişiminin frenleme esnasında taşıt süspansiyonun da oluşan yunuslama kuvvetini karakterize eden parabolik bir eğri elde edilmiştir. Deney sonuçlarından yola çıkılarak elde edilen eğriye uygun iki farklı matematik model lineer olmayan regresyon ile türetilmiştir. Lineer olmayan regresyon işlemi için klasik regresyon algoritması ile Newton-Raphson İterasyon metodu birleştirilerek elde edilen Hibrit bir iteratif regresyon algoritması kullanılmıştır. Fourier seri açılımı ve üçüncü derece polinom temel alınarak iki farklı matematik model elde edilmiştir. Elde edilen matematik modellerin sırasıyla  $R^2=0,9957$  ve  $R^2=0,9104$  mertebesinde hassasiyet sağladığı görülmüştür.

### Anahtar kelimeler

Taşıt Dinamiği; Lastik Şişirme Basıncı; Yunuslama Kuvveti; Lineer Olmayan Eğri Uydurma.

## The Investigation of the Effect of Low Tire Inflation Pressure to Pitching Force by Using Nonlinear Iterative Regression Analysis

### Abstract

In this study, the influence of the tire inflation pressure lower than the standard value to pitching force was examined experimentally. Experimental studies were carried out in a laboratory environment by using Brake-Suspension Test Device. That device is designed as a half-vehicle model due to perform vehicle braking tests. Five different tire inflation pressures, from 26 psi to 34 psi standard value, were considered when testing was conducted. As a result of the experiments carried out separately for each tire inflation press, a parabolic curve is obtained which characterizes the effect of pressure variation on the vehicle during braking. Two different equations for the parabolic curve obtained from the test results are derived by nonlinear regression. Nonlinear regression is made by using a hybrid iterative nonlinear regression algorithm, which is obtained by combining the conventional regression algorithms and the Newton Raphson Iteration Method. Two different mathematical models were obtained based on Fourier Series expansion and third order polynomial. The obtained mathematical models were provided high accuracy such as  $R^2 = 0.9957$  and  $R^2 = 0.9104$ , respectively.

### Keywords

Vehicle Dynamics; Tire Inflation Pressure; Pitching Force; Nonlinear Regression.

## 1. Giriş

19. yüzyılın sonları ve 20. yüzyıl boyunca yaşanan hızlı gelişmeler sonucunda taşıtlar günlük hayatın vazgeçilmez unsurları haline gelmiştir. Özellikle 90'lı yıllar ve sonrasında taşıt sektöründeki ilerlemeler yakıt ekonomisini iyileştirmek, egzoz emisyonlarını azaltmak, taşıt konforunu ve güvenliğini iyileştirmek üzerine yoğunlaşmıştır. Bu durum, otomotiv alanındaki akademik çalışmaların benzer şekilde yönlendirmesine neden olmuştur. Bu amaçla yapılan araştırmalarda; alternatif yakıtlar, farklı şanzıman sistemleri ve kontrol yöntemleri, farklı süspansiyon sistemleri gibi birçok alanda çalışmalar yapılmıştır. Lastik şişirme basıncının yakıt ekonomisini, sürüş konforunu ve güvenliğini etkileyen en önemli unsurlardan birisi olduğu yapılan çalışmalar sonucunda ortaya koyulmuştur (Bayrakçeken, 2002).

Literatüre bakıldığında lastik şişirme basıncının taşıta olan etkileri üzerine birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. Özellikle yakıt sarfiyatını azaltmak amacıyla çeşitli lastik şişirme basıncı kontrol sistemleri araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Bununla birlikte lastik şişirme basıncı değişiminin yakıt ekonomisine etkisi deneysel olarak farklı çalışmalarda incelenmiştir (Rieter and Wagner, 2010; Koca, 2007; Sina et al., 2015).

Rieter ve Wagner (2010) yaptıkları çalışmada seyir esnasında sürüş kalitesi ve güvenliğini arttırmak amacıyla düşük lastik şişirme basıncının taşıt yönlendirmesine etkisini incelemiştir. Elde edilen sonuçlar ön tekerlek basıncının düşük olmasının dönme açısının büyümesine neden olduğunu göstermiştir. Arka tekerlek basıncının büyük olması durumunda ise kayma açısının yükseldiği gözlenmiştir.

Koca (2007) farklı yük ve hız özelliklerine sahip üç lastiği ele alarak, farklı lastik basınçlarında ve taşıt hızlarındaki dinamik tekerlek yarıçapında meydana gelen değişimi incelemiştir. Hız artışı ve lastik hava basıncı değişimine bağlı olarak tekerlek dinamik yarıçapında artma olduğu ve dinamik yarıçapın 60

km/h taşıt hızından sonra belirgin bir artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Sina vd. (2015) gerçek yol koşullarında farklı lastik basınçlarının lastik güç kayıplarındaki etkisini incelemiştir. Pozitif eğimde 22 psi'de tahrik tekerleklerinde en az güç kaybı olurken yuvarlanma direncinin %12 arttığını gözlemlemiştir. Negatif eğimde ise minimum güç kaybı ve yuvarlanma direncinin tahrik tekerleklerinde 36 psi basınçta olduğunu gözlemlemiştir.

Cuong vd. (2013) süspansiyonsuz bir traktörde lastik basıncının titreşim üzerindeki etkisini incelemiştir. Deneyler sırasında akselerometre kullanarak ön ve arka aks yanal titreşim ivmelenmelerini ve traktör gövdesinin triaksial titreşim ivmelenmesini ölçmüşlerdir. Deneyler sonucunda hız ve lastik basıncının önemli ölçüde titreşimi etkilediği sonucuna varmışlardır.

Karakuş ve Çolakoğlu (2008) 175/70/R13 ebatlarındaki bir otomobil lastiğini 2 boyutlu ve 3 boyutlu modellemesini lastiğin farklı iç basınçlarda meydana gelen gerilmeleri belirlemiştir. Maksimum gerilmenin lastiğin yanak kısmında ve karkasın iç yüzeyinde olduğu ve iç basınca bağlı olarak da gerilmenin neredeyse doğru orantılı olarak arttığını gözlemlemiştir.

Lastik şişirme basıncı üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde özellikle yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonları açısından çok çeşitli araştırmaların yapıldığı görülmektedir. Ancak, farklı lastik şişirme basıncı değerlerinin frenleme esnasında taşıta olan etkisinin incelendiği bir çalışma literatürde bulunmamaktadır. Bu açığı gidermek için yapılan bu çalışmada, standart değerinden düşük lastik şişirme basıncının frenleme esnasında taşıta olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Fren testleri yapılırken 26 psi'dan 34 psi standart değerine kadar toplam beş farklı lastik şişirme basıncı ele alınmıştır. Deney sonuçlarından yola çıkılarak elde edilen eğriye uygun iki farklı denklem lineer olmayan eğri uydurma ile türetilmiştir.

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. Deneysel Çalışma

Hareket halindeki bir taşıtı kontrol altında tutabilmek için direksiyon kontrolünün yanı sıra fren kuvveti de etkin bir rol oynamaktadır. Etkili bir fren kuvveti, iyi bir fren performansının sonucudur. Fren performansı, temel olarak durma mesafesine, fren çıkış torkuna ya da fren verimliliğine göre ölçülmektedir. Fren performansını değerlendirmek için yapılan testler yük, hız, sıcaklık, pedal kuvveti/fren basıncı ve lastik hava basıncı gibi parametrelerin değiştirilmesiyle fren test cihazı ya da taşıt üzerinde gerçekleştirilmektedir.

Taşıt fren kuvvetlerinin tespitinde genellikle tamburlu tip elektromekanik fren test cihazları fren kuvveti ölçümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu cihazlarda taşıtın tekerlekleri fren cihazının tamburları üzerine çıkararak silindirlerin tekerlekleri döndürürken fren yapılmasıyla değerler tespit edilmektedir. Bunun dışında düz zeminli test platformları da taşıt fren kuvvetini ölçme amacıyla kullanılmaktadır. Düz zeminli test platformları ile yapılan fren testinde taşıt platform üzerinde yaklaşık 8 km/h hızda sürüklenerek sertçe frenlenmektedir. Ancak bu tarz test cihazları akademik çalışmalara uygun hassasiyetleri ve şartları sağlayamamaktadır. Bu nedenle araştırmacılar içi laboratuvar ortamında hassas bir şekilde fren testi yapmayı sağlayan çeşitli test cihazları geliştirilmiştir. Bu cihazlardan biri olan Fren Süspansiyon Test Cihazı bu çalışmanın deneysel kısmında kullanılmıştır (Bayrakçeken vd., 2016).

**Çizelge 1.** Test Cihazının Özellikleri

Test Cihazının Özellikleri	
İçten Yanmalı Motor	4 Silindirli, Benzinli Motor
Motor Hacmi	1,4 L
Motorun Maksimum Gücü	57 kW
Motorun Maksimum Torku	115 Nm
Lastik Bilgileri	175/70R14

Yapılan deneyde ortam sıcaklığı 25 °C olarak belirlenmiştir. Deneyler Şekil 1’de verilen fren-süspansiyon test cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Cihazda kullanılan motor özellikleri Tablo 1’de belirtilmiştir.



**Şekil 1.** Fren süspansiyon test cihazı

Fren süspansiyon test cihazının (Şekil 1) çalışma prensipleri genel test prosedürü Bayrakçeken vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada izah edilmiştir. Temel olarak bir sürücü tarafından kullanılan test cihazında frenleme esnasında süspansiyon takozuna gelen “yunuslama” kuvveti (pitching force) ölçülmektedir.

**Çizelge 2.** 26 psi’den 34 psi Lastik Şişirme Basıncına Kadar Ortalama Yunuslama Kuvvetleri

Lastik Şişirme Basıncı (psi)	Ortalama Yunuslama Kuvveti (N)	Frenleme Esnasında Fren Ana Merkezi Basıncı (bar)
24	84,3	8
26	83,267	
28	82,316	
30	80,15	
32	77,85	
34	77,07	

Bu çalışmada, yunuslama kuvveti ile lastik şişirme basıncı arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla 26 psi’den 34 psi standart değerine kadar toplam altı farklı basınçta fren testleri gerçekleştirilmiştir. Her bir lastik şişirme basıncı için 300 saniye boyunca 3. vites 3000 rpm’de her 20 saniyede bir frenleme yapılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney süresince ölçülen kuvvet değerlerinin ortalaması alınarak her lastik şişirme basıncı için ortalama yunuslama kuvveti elde edilmiştir (Çizelge 2).

### 2.2. Nonlinear İteratif Regresyon

Regresyon analizi 19 ve 20. Yüzyıllarda Legendre, Gauss, Galton ve Fisher gibi aşartırmacılar tarafından ortaya koyularak geliştirilmiştir. Güncel çalışmaların birçoğunda regresyon analizi eğri uydurma amacıyla kullanılmaktadır. Böylece, analitik olarak modellenmesi zor olan olayların deneysel veriler ışığında sayısal olarak modellenmesi sağlanmaktadır (Legendre, 1805, Gaus, 1809, Galton, 1877, Yule, 1897, Pearson, 1903, Fisher, 1922). Bu çalışmada, Denklem 1,2 ve 3'te algoritması verilen Hibrit yöntem kullanılarak sayısal modelleme yapılmıştır. Yöntem, lineer olmayan regresyon algoritması ile Newton-Raphson iterasyon metodunun birleşiminden oluşmaktadır.

$$f(i) = a1 \cdot x(i)^2 + a2 \cdot x(i) + a3 - y(i) \quad (1)$$

$$h(i, j) = \sum_{j=1}^k \frac{\partial f(i)}{\partial a_k} \quad (2)$$

$$a_k = a_k - \frac{f(i)}{h(i, j)} \quad (3)$$

Burada, 1 numaralı denklem ele alınan örnek modeli ifade etmektedir. Klasik lineer olmayan regresyon formülasyonu Denklem 2'de, model katsayılarını veren Newton-Raphson ifadesi Denklem 3'te verilmiştir. Bu Hibrit algoritma kullanılarak elde edilen katsayılar ile ele alınan örnek sistemin modeli Denklem 4'te sunulan şekilde yazılmıştır.

$$y(x) = a1 \cdot x^2 + a2 \cdot x + a3 \quad (4)$$

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Lastik şişirme basıncının frenleme esnasında yunuslama kuvvetine etkisi deneysel olarak incelendiğinde parabolik bir değişimin gerçekleştiği gözlenmiştir. Bununla birlikte taşıt dinamiğinden kaynaklanan lineer olmayan etkenler de dikkate alındığında Fourier seri açılımının ve 3. derece polinom modelinin matematiksel model temeli için uygun olduğu görülmüştür. Bu nedenle denklem 5'te verilen Fourier Seri açılımı ile denklem 6'da verilen 3. derece polinom kullanılarak matematiksel modelleme yapılmıştır.

$$y(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right) \quad (5)$$

$$y(x) = a1 \cdot x^3 + a2 \cdot x^2 + a3 \cdot x + a4 \quad (6)$$

Fourier seri açılımının ikinci mertebeye kadar ele alındığında yapılan Hibrit Regresyon ile R<sup>2</sup>=0,9957 mertebesinde bir hassasiyet yakalandığı Tablo 3'te görülmektedir. Yunuslama kuvveti değişiminin matematik modeli 3. derece polinom olarak ele alındığında ise R<sup>2</sup>=0,9107 mertebesinde hassasiyet sağlandığı belirlenmiştir (Tablo 3). Tablo 3'te sunulan katsayılarından yola çıkılarak oluşturulan yunuslama kuvveti değişimi matematik modelleri Denklem 7 ve 8 de verilmiştir.

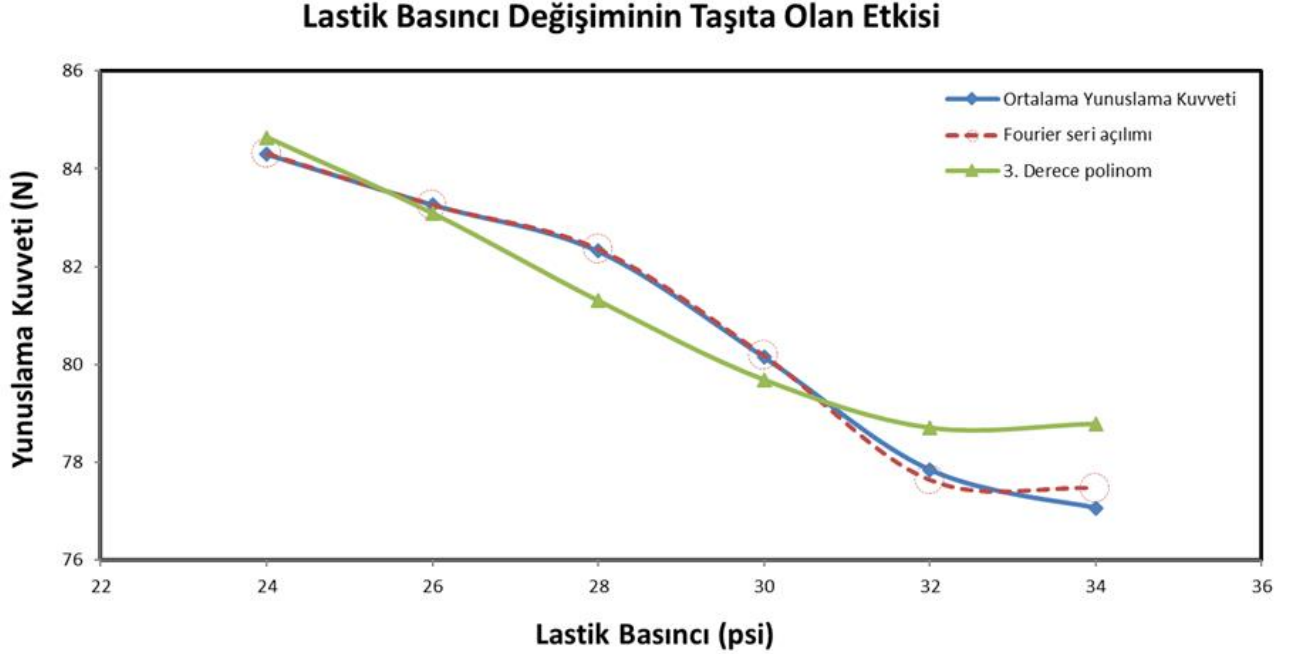
$$y(x) = 733,1 + 4,903 \cdot \cos(x \cdot (-0,2461)) - 0,2783 \cdot \sin(x \cdot (-0,2461)) - 1,891 \cdot \cos(2 \cdot x \cdot (-0,2461)) + 0,2969 \cdot \sin(2 \cdot x \cdot (-0,2461)) \quad (7)$$

$$y(x) = 0.009168 \cdot x^3 - 0.7468 \cdot x^2 + 19.37 \cdot x + 573,2 \quad (8)$$

**Çizelge 3.** Hibrit Regresyon ile Elde Edilen Denklem Katsayıları

Katsayılar	Fourier seri açılımı	3. derece polinom
a1	733,1	0.009168
a2	4,903	-0,7468
a3	-0,2461	19,37
a4	-0,2783	573,2
a5	-1,891	-
a6	0,2969	-
R <sup>2</sup>	0,9957	0,9107

Şekil 2'de deney sonuçları ile her iki modellemenin karşılaştırması yapılmıştır. Grafikten açıkça görüldüğü gibi yapılan modelleme ve deney sonuçları yüksek bir uyum göstermektedir. Bununla birlikte Fourier seri açılımı 3. derece polinoma göre daha yüksek bir hassasiyet sağlamıştır. Ancak, bilindiği üzere Fourier serisi periyodik bir fonksiyon sunmaktadır. Dolayısıyla elde edilen model global uzay tekrarlı olacağından genelleştirilmesi zor olabilir. Bu nedenle tekrarsız bir model olan 3. derece polinom yunuslama hareketinin modellenmesi için daha uygun bir seçenek olmaktadır.



Şekil 2. Deneysel Sonuçların Modelleme ile Karşılaştırması

#### 4. Bulgular

Bu çalışmada frenleme esnasında taşıt süspansiyonlarında oluşan yunuslama kuvveti incelenmiştir. Bu amaçla standart lastik şişirme basıncı değerinden düşük basınç değerlerinde fren testleri laboratuvar ortamında yapılmıştır. Testler Bayrakçeken vd. tarafından 2016 yılında geliştirilen Fren Süspansiyon Test Cihazında 24-34 psi değerleri arasında gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları yunuslama kuvvetinin düşük şişirme basınçlarında daha yüksek gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Bu durum lastik şişirme basıncının taşıt dinamiği açısından önemini kanıtlamıştır. Frenleme esnasında meydana gelen yunuslama kuvvetinin lastik basıncına göre değişimini modellemek amacıyla Hibrit İteratif Regresyon analizi yapılmıştır. Yapılan modelleme çalışmasında ikinci mertebden Fourier seri açılımı ve 3. derece polinom kullanılmıştır. Regresyon analizi sonunda sırasıyla  $R^2=0,9957$  ve  $R^2=0,9107$  değerlerinde hassasiyet elde edilmiştir. Sonuç olarak, kullanılan hibrit regresyon modeli ile yüksek hassasiyetli modelleme sağlandığı görülmüştür. Bununla birlikte hassasiyeti

daha yüksek olmasına rağmen Fourier Serisinin periyodik olması nedeniyle yalnızca lokal bir bölgede geçerli sonuç vereceği görülmektedir. Bu nedenle yunuslama kuvveti değişiminin lastik şişirme basıncı ile etkisinin modellenmesinde 3. derece polinomun kullanılması daha doğru bulunmuştur. Gerçekleştirilen çalışmada özellikle düşük lastik basıncı ele alınmıştır. İlerleyen çalışmalarda yüksek lastik basınçları da ele alınarak elde edilen sonuçlar daha genel hale getirilebilecektir. Buna ek olarak çalışmanın deneysel verileri yol testleri ile desteklenerek yakıt ekonomisine yönelik çalışmalar yapılabilir.

#### 5. Kaynaklar

- Bayrakçeken, H., 2002. Motorlu taşıtlarda fren performans analizi ve geliştirilen test cihazında uygulanması. Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 146
- Bayrakçeken, H., Aysal, F.E., Mutlu, İ., 2016. Fren Süspansiyon Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı. *Afyon*

*kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **16**: 454-460

Cuong, D.M., Zhu, S., Zhu, Y., 2013. Effects of tire inflation pressure and forward speed on vibration of an unsuspended tractor. *Journal of Terramechanics*, **50**: 185-198.

Fisher, R. A., 1922. The goodness of fit of regression formulae, and the distribution of regression coefficients. *Journal of the Royal Statistical Society*, **85(4)**, 597-612.

Galton, F., 1877. Typical laws of heredity. *Proceedings of the Royal Institution*, **8**, 282-301.

Gauss, C. F., 1809. *Theoria motus corporum coelestium in sectionibus conicis solem ambientium*, 7, Cambridge University Press, 125-151.

Karakuş, M., Çolakoğlu, M. 2008. Araba lastiğinin farklı basınçlar altında 2 ve 3 boyutlu gerilme analizi. *Teknoloji*, **11**: 145-151.

Koca, A., 2007. Lastik hava basıncı ve taşıt hızının dinamik yarıçap değişimine etkilerinin deneysel olarak incelenmesi. *Gazi Üniversitesi. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **22(3)**, 305-311

Legendre, A. M., 1805. *Nouvelles méthodes pour la détermination des orbites des comètes*. F. Didot, 68.

Pearson, K., 1903. The law of ancestral heredity. *Biometrika*, **2(2)**, 211-228.

Reiter, M. And Wagner, J., 2010. Automated automotive tire inflation system - effect of tire pressure on vehicle handling. *6th IFAC Symposium Advances in Automotive Control*. 12-14.

Sina, N., Nasiri, S., Karkhaneh, V., 2015. Effects of resistive loads and tire inflation pressure on tire power losses and CO2 emissions in real-world conditions. *Applied Energy*, **157**: 974-983.

Yule, G. U., 1897. On the theory of correlation. *Journal of the Royal Statistical Society*, **60(4)**, 812-854.