Eurasian Academy of Sciences
Eurasian Econometrics, Statistics & Emprical Economics Journal
2016 Volume:4 S: 64 - 84
Published Online May 2016 (http://econstat.eurasianacademy.org)
http://dx.doi.org/10.17740/eas.stat.2016-V4-06

Do Electricity Demand Exhibit Chaotic Behavior?

Kutluk Kağan SÜMER *
* İstanbul Üniversitesi
E-mail: kutluk@istanbul.edu.tr

Copyright © 2016 Kutluk Kağan SÜMER. This is an open access article distributed under the Eurasian Academy of Sciences License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT
Knowing of the chaos theory by the electric data analysis has caused the understanding of the difficulties of the balance Knowing of the chaos theory by the electric demand has caused the understanding of the difficulties of the balance in Electric demand. The applications of the chaos theory related to electric demand data have aimed to overcome these difficulties. Chaotic deterministic models with sensitive dependence on initial conditions provide a powerful tool in understanding the apparently random movements in electric demand data. Although the linear methods used for stable linear systems, generally fails at the nonlinear analysis, however, they give intuition about the problem. Due to a nonlinear variable in the difference equations describing the dynamic systems, unpredictable dynamics may occur. The chaos that expresses an irregular condition can be characterized by "sensitive dependence on initial conditions". We employ three tests. The BDS test, Correlation Dimension test and the Neural Network test. The results from these tests provide very weak evidence for the presence of chaos in crossing the hourly electric demand. In this study, the methods for the chaotic analysis of the time series, obtained based on the discrete or continuous measurements of a variable are investigated.

Keywords: Chaos, nonlinear dynamics, correlation dimension, Electricity Demand Data

JEL-Clasification: G17, C02

Elektrik Talebi Kaotik Davranış mı gösterir?

ÖZET
Elektrik talep tahmini genellikle bildik doğrusal modellerle yapılamayan bir tahmindir. Elektrik talebi verilerinin analizinde kaos teorisi bu zorlukları anlamak aşmak düşüncesinden doğmuştur. Bu çalışmada elektrik talep verilerine ilişkin kaos teorisi uygulamaları bu zorlukları aşmak için amaçladık. Başlangıç koşullarına hassas bağımlılık kaotik deterministik modeller elektrik talep verisi görünüşte rastgele hareketleri anlamada güçlü bir araç sağlar. Kararlı doğrusal sistemler için kullanılan doğrusal yöntemler, genellikle doğrusal olmayan analizde başarısız olmasına rağmen, ancak, sorun hakkında sezgisel bilgiler verir. Bu sebeple dinamik sistemlerin açıklayan fark denklemleri bir doğrusal olmayan değişkene, öngörülemeyen dinamikleri ortaya çıkarabilir. Düzensiz bir koşulu ifade eden kaos "başlangıç koşullarına hassas bağımlılık" ile karakterize edilebilir. Çalışmada kaosu tespit için üç temel test kullanılmıştır. BDS testi, korelasyon Boyut testi ve Yapay Sinir Ağı testleri. Bu testlerin sonuçları saatlik elektrik talebi ile ilgili kaos varlığı için kanıtlar sunmaktadır. Bu çalışmada,

zaman serilerine dayanarak elde edilen bir değişkenin ayrık veya sürekli ölçümleri kaotik analiz yöntemleri yardımıyla incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaos, doğrusal olmayan dinamikler, korelasyon boyutu, Elektrik Talep Verileri

Saatlik Elektrik Talebi Niçin Önemlidir?

Sanayi ve teknolojinin gelişmesi ile elektrik enerjisi olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılamak için enerji üretim, dağıtım ve iletim tesislerinin geleceğe dönük olarak planlanması gerekmektedir.

Diğer yandan, küresel ısınma gibi çevresel etkiler ve enerjide dışa bağımlılık gibi siyasal sorunlar; elektrik tüketiminde tasarruf gerekliliğini beraberinde getirmektedir. Bunun da en önemli yolu, elektrik enerjisinin elektrik üretimi ile tüketimi arasındaki dengeyi sağlamaktan geçmektedir. Elektrik dağıtım ve iletiminin ana ilkesinin önemi, yukarıda bahsi gecen gelişimler ışığında daha da önem kazanmıştır. Arz tarafında alternatif enerji kaynaklarını ihtiyaç olduğunda devreye sokmanın yani sıra, talepteki ani artışlara karşın şebekede tutulması gereken düşük verimli geleneksel enerji kaynaklarının katkısının mümkün olan en alt seviyede tutulması için elektrik tüketiminin takibi ve tahmini hayati önem taşımaktadır.

Bunun yani sıra talep tarafında çok zamanlı tarife opsiyonlarından gerçek zamanlı tarife opsiyonlarına yayılan geniş yelpazeli çözümler elektrik tüketiminde ani artışları azaltmak için geliştirilmiştir.

“Akıllı Şebeke” teknolojilerinin ilk adımlarından birisi elektrik tüketiminin tahmin edilmesidir.

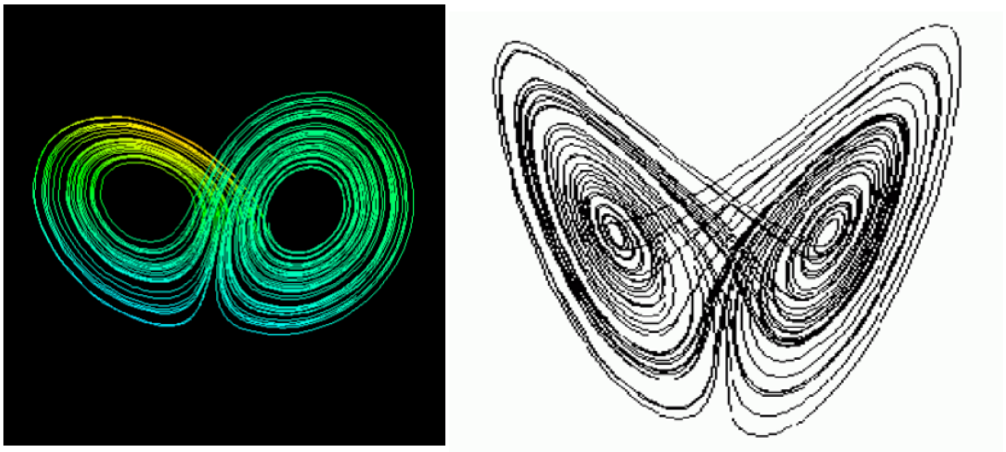
Burada şebekede tutulan fazla enerji hem boşunadır hem de maddi kayba sebep olmaktadır. Şebekede eksik enerji tutulması ise ani gelişen şok ihtiyaçlar ve öngörülemeyen durumlarda durumunda elektrik kesintisine sebep olabilmekte bu da gerek sanayinin gerekse hayatın durması gibi maddi ve manevi kayıplara sebep olabilmektedir.

Bu da elektrik talebinin olabildiği kadar küçük zaman dilimleri için tahmin edilmesini zaruri hale getirmektedir.

Kaos ve Karmaşıklık

Kaos, deterministik bir sistemin düzensiz yani hiç beklenmedik bir şekilde davranabilmesidir. Örneğin, düzgün bir borudan akan bir sıvının akışında bazen kaotik durumlar görülebilir. Akışkanın akış hızı belirli bir değeri aştıktan sonra akışta girdaplar oluşur ve Newton kanunları geçerliliğini yitirir. Yani artık akış kaotiktir.

Her ne kadar kaos kavram ve teorisinin babası olarak J.Henri Poincare kabul edilse de teoriye en önemli katkıyı 1960 yılında M.I.T. 'de meteoroloji profesörü olan Edward Lorenz yapmıştır. Lorenz, basit bir hava tahmin raporu hazırlayabilmek için bilgisayarına veriler girmekte ve sonuçta bulduğu sıcaklık değerlerini grafikle göstermekteydi. Lorenz, tesadüf eseri seçmiş olduğu sıcaklık değerlerini en hassas termometrenin dahi algılayamayacağı düzeyde ufak oranlarda yükselterek fonksiyonu tekrar çalıştırdığında, fonksiyonların grafiklerde de her hangi bir fark yaratmamasını beklerken sonuçta ortaya bambaşka fonksiyonların çıktığını gördü. Grafikteki iniş ile çıkışların uzun dönemde tıpkı bir kelebeğe benzer desene neden olduğunu gözlemledi.



Şekil 1: Lorenz Çekeri

Lorenzin bu sonuçtan çıkardığı yorum, doğru ve güvenilir bir uzun vadeli hava tahmininin kaotik davranışı nedeniyle belli bir süreyi aşamayacağı, bu nedenle periyodik olmayan davranış özellikleri gösteren hiçbir sistemde öngörü yapmanın mümkün olmadığı şeklinde olmuştur .

Lorenz, dıştan düzensiz olarak görünen ama içsel bir düzene sahip olan kaotik sistemlerin iki temel özelliğini öne sürerek "kaos teorisi"ni açıklamaya çalışmıştır; Lorenz'in bu çalışmasından sonra "kaos teorisi"nin açıklamaya çalıştığı dıştan düzensiz olarak görünen ama; içsel bir düzene sahip olan kaotik sistemlerin iki ana noktası net olarak ortaya konulur.

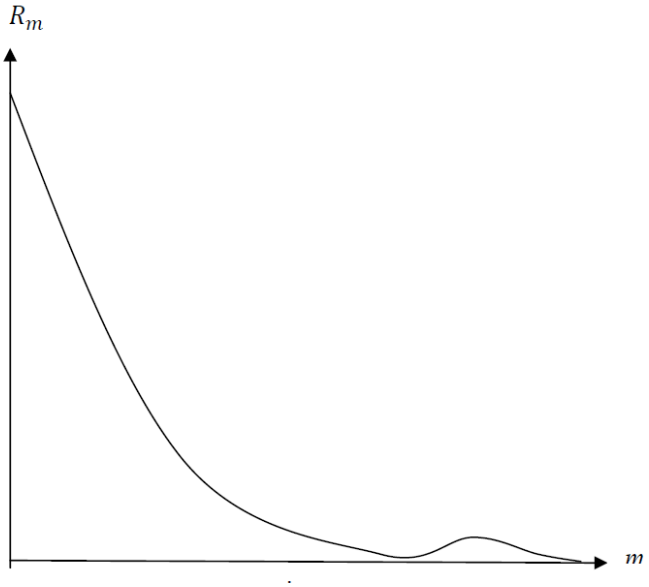
Kaotik süreçlerin teknik özellikleri şunlardır;

1- Başlangıç durumuna hassas bağımlılık

Deterministik bir sistemin başlangıç durumu ve denklemleri biliniyorsa, sistemin sonraki davranışı belirlenebilir. Kaotik sistemlerde, sistemin zaman içindeki gelişimini tam olarak

belirleyebilmek için başlangıç değerlerini sonsuz hassasiyetle bilmek gerekmektedir. Çünkü kaotik sistemler doğrusal olmadıkları için hata zamanla üstel olarak artacaktır.

Teoride, gerçekte zamana göre oluşan her şey örneğin; polen üretimi, nüfus artışı, ekonomik değişimler, dünya buz kütlesi vb... kaotik olabilir. Fizik, kimya, matematik, iletişim, biyoloji, fizyoloji, sosyoloji, ekonomi, 0tarih, ekoloji, astronomi, hidrolik, atmosferik, uluslararası ilişkiler, solar sistemler, mühendislik gibi alanlarda kaotik çalışmalar görülmektedir



Şekil 2: Kaotik Harekete İlişkin Korelogram

Kaotik yapıya sahip serilerin başlangıç koşullarına hassas bağlılık göstermesi özelliğinden dolayı, böyle yapılarda geçmiş ile gelecek değerleri arasındaki ilişki çok zayıf olmaktadır. Buna göre Şekil'de görüldüğü gibi gecikme arttıkça sıfıra yakınsayan otokorelasyon değerlerine sahip seriler geçmiş ile gelecek değerleri arasındaki ilişkinin çok zayıf olduğu serilerdir. Dolayısıyla da böyle serilerin kaotik yapıya sahip oldukları söylenebilmektedir.

2 - Rasgele olmama durumu.

Daha açık bir ifade ile: Dünyadaki birçok olay aslında kaotik bir yapılanmaya sahiptir (her şey bize öğretildiği gibi lineer yani doğrusal değildir); bir kar tanesinin oluşumu, sigara dumanının yükselişi, ağaç köklerinin gelişimi, kuş sürülerinin uçuşu, denizdeki dalgaların hareketleri gibi. Bütün bu kaotik yapılanmalar kendi içerisinde bir düzenliliğe sahiptir ve rastgele değillerdir. İşte bu davnnış biçimleri yeni bilimin yasalarına uymaktadır. Klasik bilimin nedensellik anlayışına oturtulamayan ve dinamik sistemler olarak adlandırılan süreçte kaosun determinizmi yıktığı ve sıkışan bilime yeni bir soluk getirdiği savunulmaktadır.

Dinamik Sistemler ve Kaos Teorisi, genelde lineer olmayan karmaşık sistemlerde yapılan ufak tefek oynamaların ileride büyük değişikliklere yol açabileceğini söyleyen bir teoridir. Yakın gelecekte olabilecek olayların tahmininin kolay, daha ilerki zamanda olacak olayların tahmininin zor olduğuna dair bir teoridir. Kaos teorisi için verilen en yaygın örnek kelebek etkisidir.

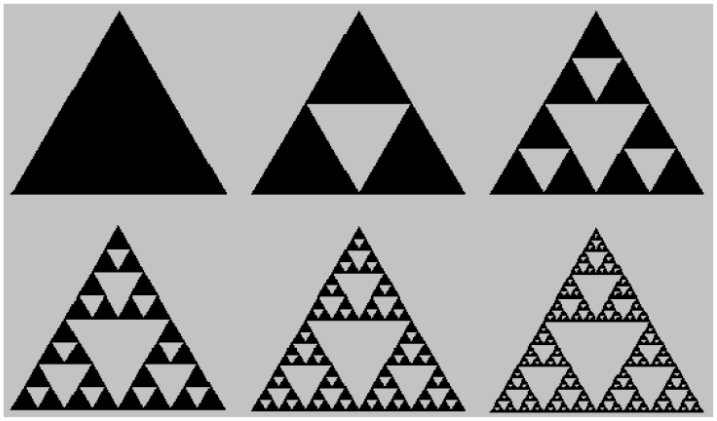
Kaos teorisinin temel önermeleri de aşağıdaki gibi sıralanabilir;

a .Düzen düzensizliği yaratır.
b.Düzensizliğin içinde de bir düzen vardır.
c .Düzen düzensizlikten doğar.
d.Yeni düzende uzlaşma ve bağlılık değişimin ardından çok kısa süreli olarak kendini gösterir.
e.Ulaşılan yeni düzen, kendiliğinden örgütlenen bir süreç vasıtasıyla kestirilemez bir yöne doğru gelişir.

3-Fraktal Geometri

Mandelbrot "fraktal" kavramını, "Parçalar ile bütünün benzer yapısal özellikler gösterdiği geometrik şekiller" olarak ifade etmektedir[Tosun, 2006]. Bu açıdan, fraktal geometri en basit haliyle"Kaos'un geometrisi" olarak tanımlanmaktadır. Kesirli boyutlara sahip şekiller, her ölçekte aynı görüntüyü veren kendine-benzer (self-similar) yapılar, sonsuza kadar süren dallanmalar ve bu dallanmaların ana yapı
ile yapısal benzerlik göstermelerifraktal geometrinin temelinioluşturmaktadır. Fraktal yapılarla gerçel doğanın yapıları kurallarla açıklanmaya çalışılmaktadır. Kendini tekrarlayan bu yapılar, Öklid geometrisi ile anlaşılamamaktadır. Ancak fraktal geometri, bu şekillerin gizemini çözebilmektedir. Bu yapılarınbasitleştirilmeye çalışılması ve ulaşılmaya çalışılan bu basitlikle kompleks sistemlerin açıklanmaya çalışılması, fraktal yapıların araştırılma sebebini oluşturmaktadır[Tosun, 2006].

Fraktal Şekilleri oluşturmanın temel ve basit kuralı, alınacak bir kuralın sürekli olarak tekrar edilmesidir. Yani bir kural sabit olarak alınır ve sürekli olarak uygulanırsa fraktal bir şekil elde edilebilmektedir. Bunun için Şekil 2.'de görülen WaclawSierpinski'nin fraktal yapısı örnek olarak verilebilmektedir. Sierpinski eşkenar bir üçgende kenarortay noktalarından oluşan yeni bir üçgen oluşturmaktadır. Burada oluşan her üçgen için bunu yenileyerek Şekil 2.'dekiüçgen şekilleri ortaya çıkmaktadır [Peters, 1996].



Şekil 3: Sierpinski'nin Fraktal Örneği

Birçok alanda yer alan zaman serileri için fraktal yapılar iseserinin zaman içinde kendine-benzer yapılar göstermesiyle ortaya çıkmaktadır. Fraktal zaman serileri esasen tesadüfi olarak dağılmış zaman serileridir ve deterministik olduklarından bütün özelliklerini kesinperiyotlar halinde göstermemektedirler. Dolayısıyla ana yapıya benzeyen yapı şekilleri zaman serisi içinde tesadüfen oluşmaktadır.

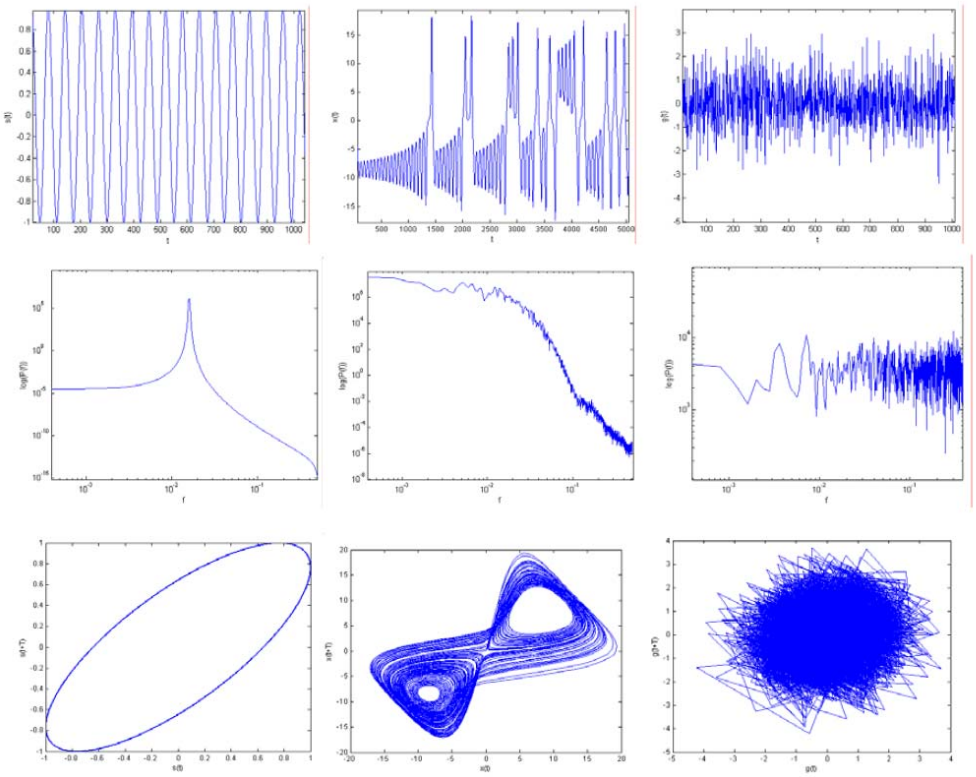
Bir seri doğrusal oldukça fraktal boyutu da1'e yaklaşmaktadır. Dolayısıyla yüksek sivrilikler içeren, yükseliş ve düşüşlerin fazla olduğu yapılardabu boyuthem 2'ye yaklaşmaktadır hem de kesirli bir sayı olmaktadır. Bu durumda TonisVaga'nınkaos teorisini finansal piyasalara uygulamasının nedeni açıklanabilmektedir. Vaga'ya göre piyasalarda risk ve getiri doğrusal olmayan oynak bir yapıya sahiptir [Vaga, 1991].Bu nedenle iyi bir analiz yapabilmek için sistemin fraktal boyutu ve yapısı önemlidir. Çünkü bu sayede piyasanın bazı şartlarına göre düşük risklerde yüksek getiriler elde edebilmek mümkündür. Benzer olarakWarren Buffet ve George Soros gibi yatırımcılar da, uzun vadede ortalamaya göre yüksek kar elde etmelerini benzer bir şekilde açıklamışlardır [Tosun, 2006].

Çekiciler kısaca dinamik sistemlerin resimleridirler. Buna göre bir dinamik hareket incelendiğinde fraktal geometri, çalışmaları büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır. Örneğin, nokta çekici sistemin zamana göre değişmeden durduğunu ifade ederken garipçekiciler karmaşık olup çoğunlukla ilginç yapılarda şekillenmektedir. Bir sistemin kaotik yapıya sahip olması sonucu, zaman serisini oluşturan fonksiyon tahmin edilemez bir yapıya sahip olmaktadır. Bu durum, rastgele artıp azalarak değişim gösteren fonksiyonla eşdeğerdir. Sistemdeki her bir farklı kaotik dalgalanma için faz uzayında birbirinden farklı şekiller,diğer bir ifade ile farklı çekiciler oluşmaktadır. Kaos çalışmalarının tarihsel gelişimi çerçevesinde ortaya çıkan önemli çekiciler aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir [Kasap ve Kurt, 2011].

- Lorenz çekicisi
- Rössler çekicisi
- Henon çekicisi

Burada kavramsal açıdan bakıldığında çekiciler iki önemli noktayı içermektedirler. Bunlar, çekicinin bizzat kendisi ve onun formudur. Buna göre bir sistemin davranışı bütünüyle o sistemin çekicisiyle anlaşılmaktadır. Dolayısıyla bir çekici ancak fraktal geometri tarafından tanımlanabiliyorsa o çekiciye garip çekici denmektedir. Kaos çalışmalarının vazgeçilmez kavramı olan garip çekiciler her farklı kaotik zaman serisi için farklı faz uzayı portresine sahiptirler.

a)Periyodik (sinüs) Sinyal b)Kaotik (Lorenz) Sinyal c)White Noise (Rastgele) Sinyali



Şekil 4: Periyodik (sinüs) (a), kaotik (Lorenz) (b) ve gürültü (rastgele) (c) sinyallerinin güç spektrumları ve faz uzayındaki çekerleri. Yukarıdan aşağıya her bir sütun, zaman serisi şeklindeki sinyali, sinyalin güç spektral yoğunluğunu ve iki boyutlu faz uzayındaki çekerini göstermektedir

Periyodik (sinüs) (a), kaotik (Lorenz) (b) ve gürültü (rastgele) (c) sinyallerinin güç spektrumları ve faz uzayındaki çekerleri. Yukarıdan aşağıya her bir sütun, zaman serisi şeklindeki sinyali, sinyalin güç spektral yoğunluğunu ve iki boyutlu faz uzayındaki çekerini göstermektedir

Kaosun Varlığını Tespit Etmek İçin Yapılan Analizler

Kaotik sistemler matematiksel olarak genellikle iki şekilde ifade edilebilmektedirler

i. Sürekli sistemler için diferansiyel veya kesikli sistemler için fark denklemleriyle,
ii. Denklemlerin bilinmediği durumlarda deneysel veriyle.

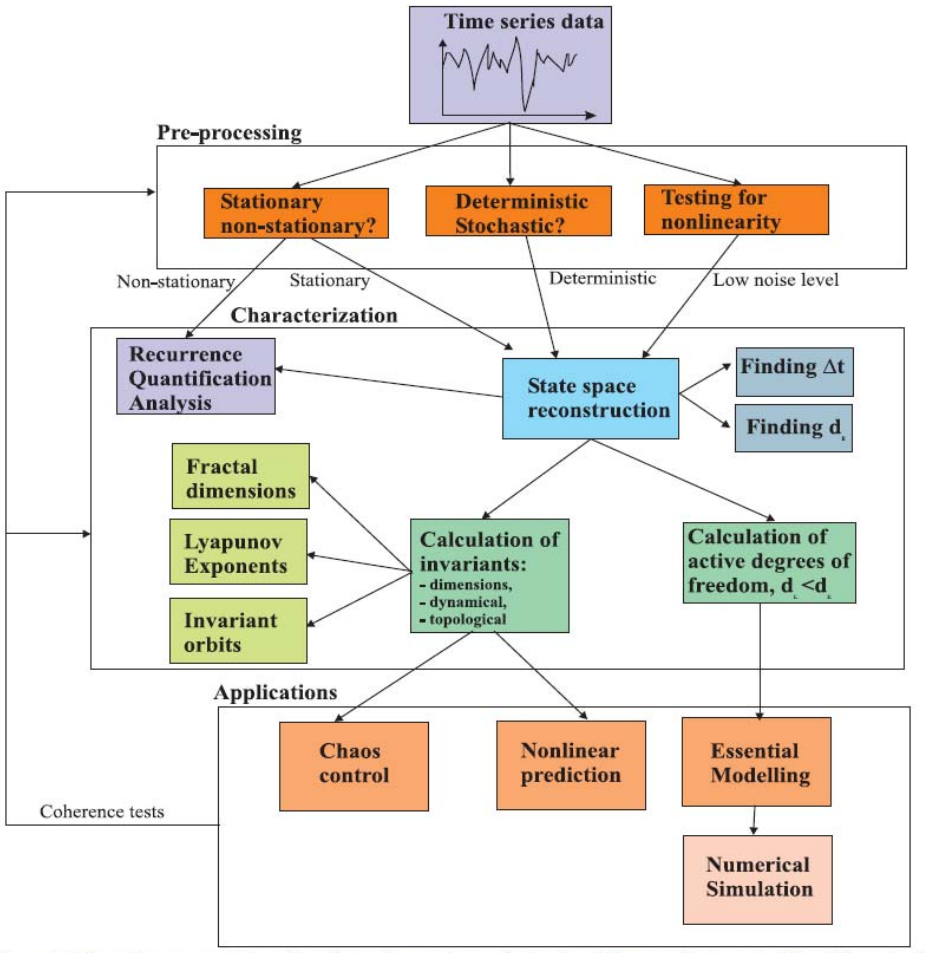


Figure 5. Schematic representation of nonlinear time series analysis using delay coordinate embedding (Strozzi and Zaldívar, 2002).

1 Karşılıklı bilgi yöntemi

Fraser ve Swinney (1986) ve Abarbanel (1996)'in önerdiği karşılıklı bilgi yöntemi (mutual information), iki zaman serisinin birbirleri hakkında içerdiği bilgiyi ölçen bir yöntemdir. Burada bir zaman serisi ve onun gecikmiş hali kullanılmaktadır. Eğer bu iki seri birbirinden bağımsız ise, karşılıklı bilgi değeri de sıfır olmaktadır.

2- Gömülüboyut

Bir zaman serisi analiz edilmeye başlandığında bu serinin geometrik olarak kaç boyutla temsil edilebileceği ve gecikme zamanının nasıl seçileceği bilinmemektedir. Takens'ın Gömülü Teoremi (EmbeddingTheorem) sayesinde bir zaman serisinin ham verisi ve gecikmeli verisi, o dinamik sistemin topolojik yapısını belirleyebilmektedir. Gömülü teoremi bize sistemin sn vektörüne karşılık gelen evreuzayındaki m boyutunu garanti etmektedir [Kantz ve Schreiber,

2004]. Böylece m boyutunda birbirine çok yakın olan iki nokta, m'nin daha büyük değerlerine sahip bir uzay içinde görünür hale gelmektedir.

Yanlış en yakın komşular metodu (YEK), (False Nearest Neighborhood - FNN) Kennel vd. (1992) tarafından sunulan ve sıkça kullanılan bir metottur.

Lyapunov Üstelleri (Lyapunov Exponents)

Kaotik sistemlerin periyodik olmayan dinamikler göstermesinin sebebi, faz uzayı eğrilerinin her birinin neredeyse aynı başlangıç şartlarında farklı üstel artış oranlarına sahip olmalarıdır. Bu duruma başlangıç koşullarına hassas duyarlılık denir. Lyapunov üsteli λ, başlangıç şartlarına olan duyarlılığın bir ölçüsünü verir ve faz uzayı içindeki komşu eğrilerin yerel ayrılma derecelerinin ortalaması olarak tanımlanır. Eğer λ negatif ise farklı başlangıç şartları aynı çıkış değerlerini vermeye meyillidir ve dolayısıyla gelişme kaotik değildir. Eğer λ pozitif ise farklı başlangıç değerleri farklı çıkış değerleri verir yani hareket kaotiktir.

Fraktal Boyutlar (Fractal Dimensions)

Fraktal geometri, bilimsel literatürde Mandelbrot tarafından ortaya konan bir terimdir. Mandelbrot, doğalobjelerin yapısal bütünlüğünü incelemiştir. Bir nokta, bir çizgi, bir kare veya bir küp gibi matematiksel objeler sırasıyla sıfır, bir, iki veya üç boyutlu objeler olarak bilinirler. Toplam boyut sayısı objenin geometrik yapısı hakkında bize bilgi verir.

Doğrusalsızlığın Tespiti (Detecting of Nonlinearity)

Zaman serileri fizyolojik, biyolojik, mekanik gibi gerçek yaşamsal sistemlerden elde edilen bilgilerle oluşturulurlar. Bu sinyallerin periyodik, yarı periyodik, kaotik veya rastgele ya da tamamiyle gürültülerden ibaret olup olmadığı yukarıda açıklanan hesaplamalar yapılarak ortaya çıkarılabilir ancak bu zor bir süreçtir. Kaotik bir sistem düşük boyutlu doğrusal olmayan bir sistemdir ve doğrusalsızlığın tespiti kaos için gerekli bir şarttır. Bu nedenle verinin doğrusalsızlığını tespit etmek için çeşitli metotlar geliştirilmiştir.

Brock, Dechert ve Scheinkman (1987), bağımsız benzer dağılımlı ayrılışın doğru istatistiksel ölçümünü yapmak için bir $V_m^T(l)$ normalleştirme faktörü türetmişlerdir. Bu normalleştirme faktörü, farklı boyutlardaki korelasyon integralinin karmaşık bir faktörüdür. Buradan yararlanılarak elde edilen BDS istatistiği aşağıdaki gibi gösterilmiştir:

$$W_m^T(l) = \sqrt{T}\frac{[C_m^T(l) - [C_m^T(l)]^m]}{V_m^T(l)}$$

Burada, T→ ∞ iken, *l> 0* ve *m>1* için boşluk hipotezi altında dağılım N(0,1) dağılımına yakınsamaktadır [Amilon ve Byström, 1998]. Burada yapılan test işleminde yokluk hipotezinin ret edilmesinde, kabul edememenin sebepleri hakkında herhangi bir bilgiye sahip olunmadığı gerçeğinden dolayı test, sıkıntıya sahiptir. Buna karşılık, testin yokluk dağılımının BDS testinin bağımsız aynı dağılımlı hataları ile parametrik modelin genel bir bölümünden tahmin edilen artıklara uygulanmasından etkilenmediğinin Brock ve Potter ve de Lima tarafından gösterilmesi ise bu testi avantajlı kılan bir diğer unsur olmaktadır [Brock ve Potter, 1993].

Korelasyon integrali

Dinamik sistemlerin karmaşıklığını göstermek için değişik boyut tanımları mevcuttur. Bunların içinde pratikte en yaygın kullanılanı korelasyon boyutudur (correlationdimension). Korelasyon boyutunun tercih edilmesinde genel olarak iki sebep gösterilmektedir. Birincisi, benzerlik boyutu, karşılıklı bilgi boyutu gibi diğer boyutlara göre çekiciyi daha ince ayrıntıda ölçeklerle araştırmasıdır. İkinci sebep ise,
korelasyon integralinin diğer boyutlara göre daha kolay ve hızlı biçimde hesaplanabilmesidir [Öztürk, 2008].

UYGULAMA

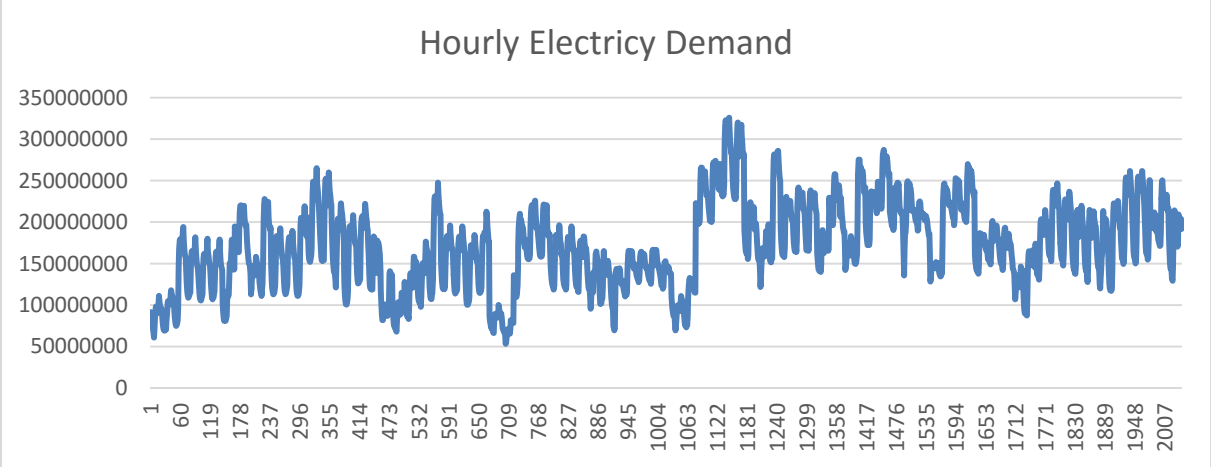
Elektrik talebi gibi ekonometrik zaman serilerinde gözlenebilen kırılma ve patlamaların oluşturduğu yüksek frekans, normal dağılımlı bir doğrusal modelde tutarsız davranışın bir örneği olarak ele alınmaktadır.

Bunun nedeni doğrusal olmayan modellerin, hem stokastik, hem de deterministik olabilen bu tür davranışları açıklayabilmesidir. Diğer yandan, kaotik bir süreç, deterministik ve aynı zamanda tamamen rassal olduğundan davranışının ayırt edilmesi olanaksızdır. Dolayısıyla kaotik sistemler de doğrusal olmayan modellerle açıklanmaya çalışılmaktadır. Sistemdeki determinist liğin ve rassallığın model içinde üretilebilmesi, ekonomideki genel durumlardan farklı olan kaotik modeller açısından oldukça önemli olmaktadır.

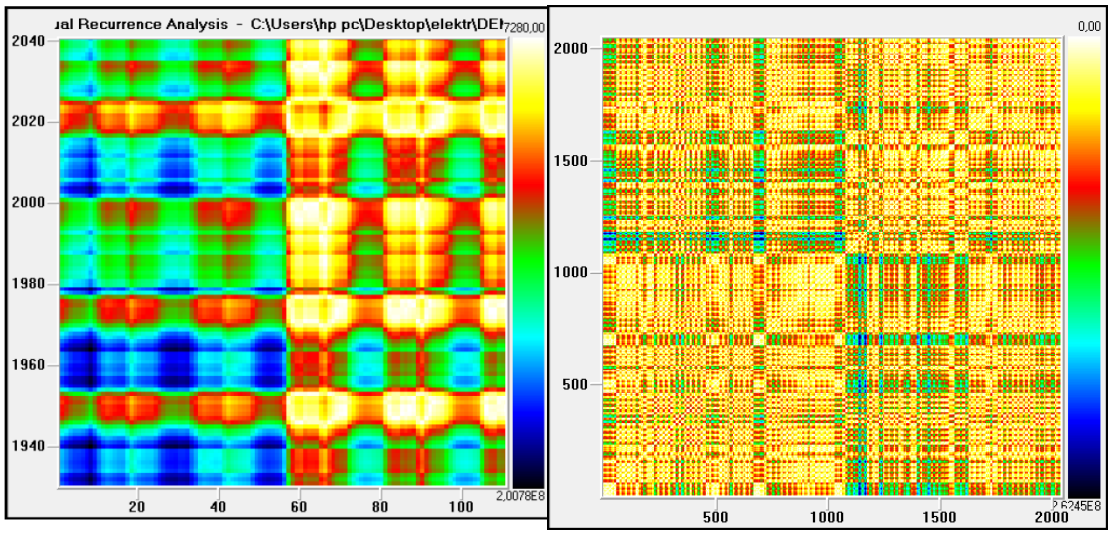
Çalışmada, kaotik yapının tespiti için karşılıklı bilgi yöntemi, korelasyon integrali, BDS testi, Teraesvirta Neural Network Testi, White Neural Network Testi ve son olarak da, kaotik yapının varlığı hakkında kesin bir kanıt olabilen Lyapunov üstelleri kullanılacaktır.

Kaotik yapının tespiti için, veri grubunun zaman frekanslarının küçük olması sistemin gerçek yapısını ortaya koyacağından Kayseri / Türkiye'deki trafolardan çekilen saatlik veriler tercih edilmiştir. Buna göre çalışmada, Kayseri / Türkiye'deki trafolardan çekilen saatlik verilerden toplanan 1357 saatlik gözlem değerleri kullanılmıştır.

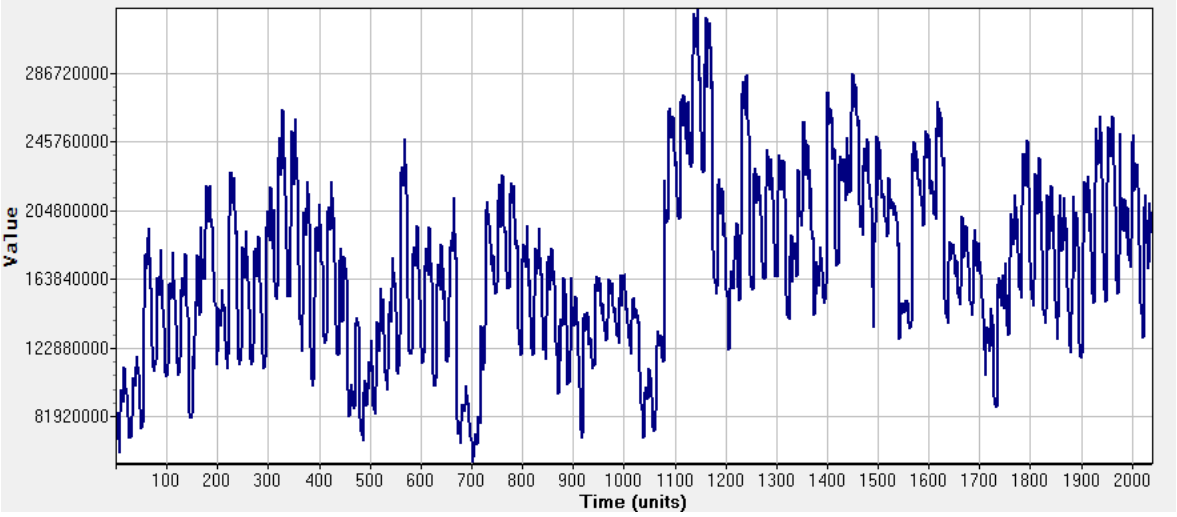
Uygulamada, birçok kaos analizi için VRA 5.1 (Visual Recurrence Analysis) paket programı ve R Studio ya ait fNonlinear ve tseriesChaos paketlerinden faydalanılmıştır.



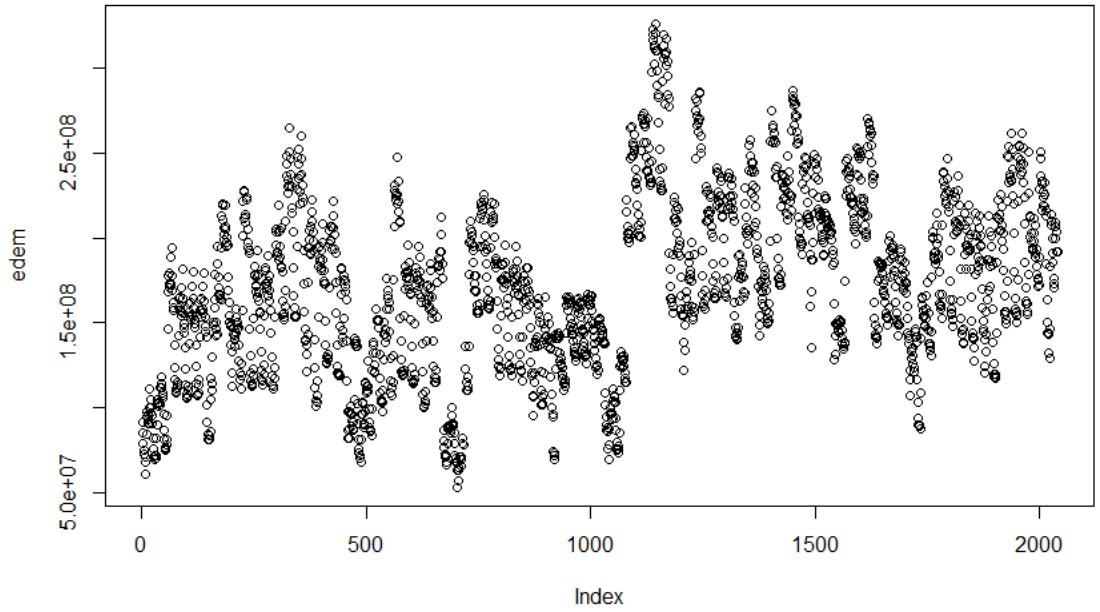
Şekil 6



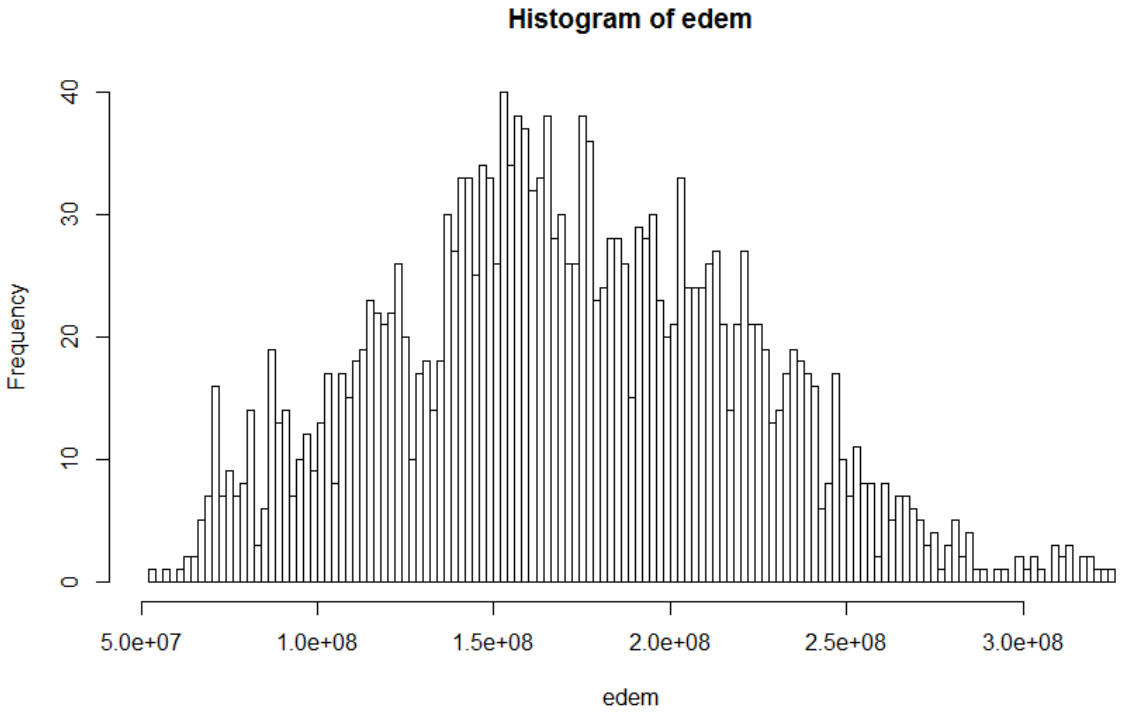
Şekil 7: Visual Recurrence Analysis



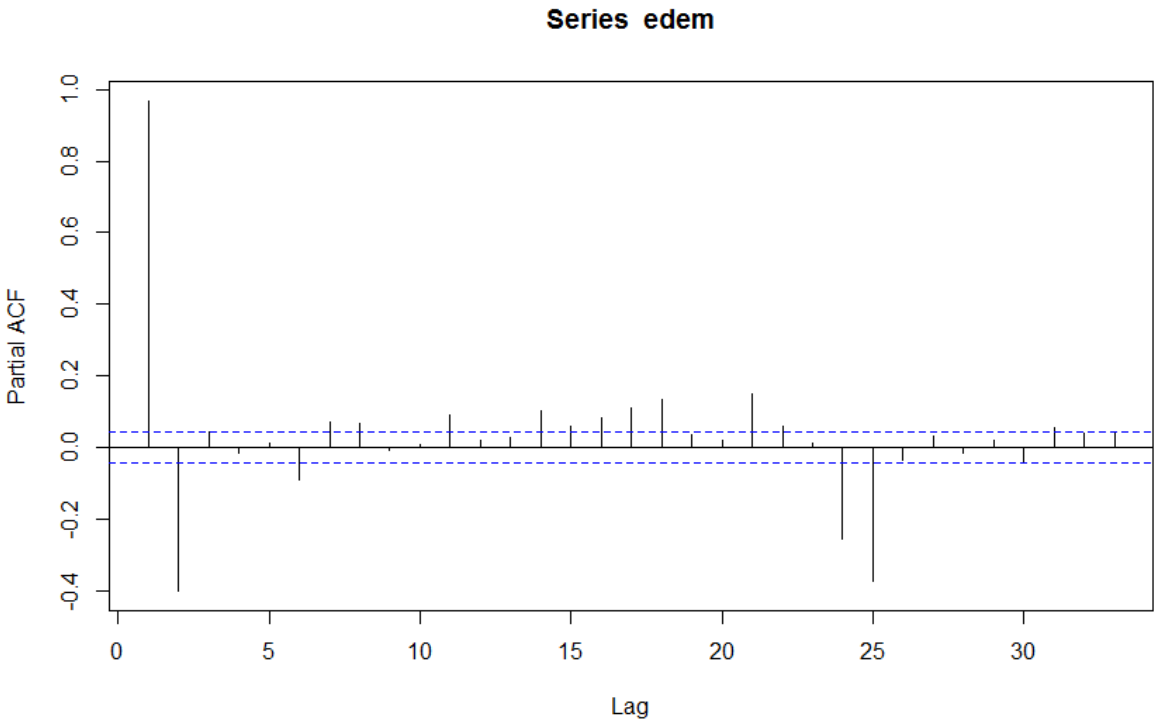
Şekil 8: Analysis of Electric Demand



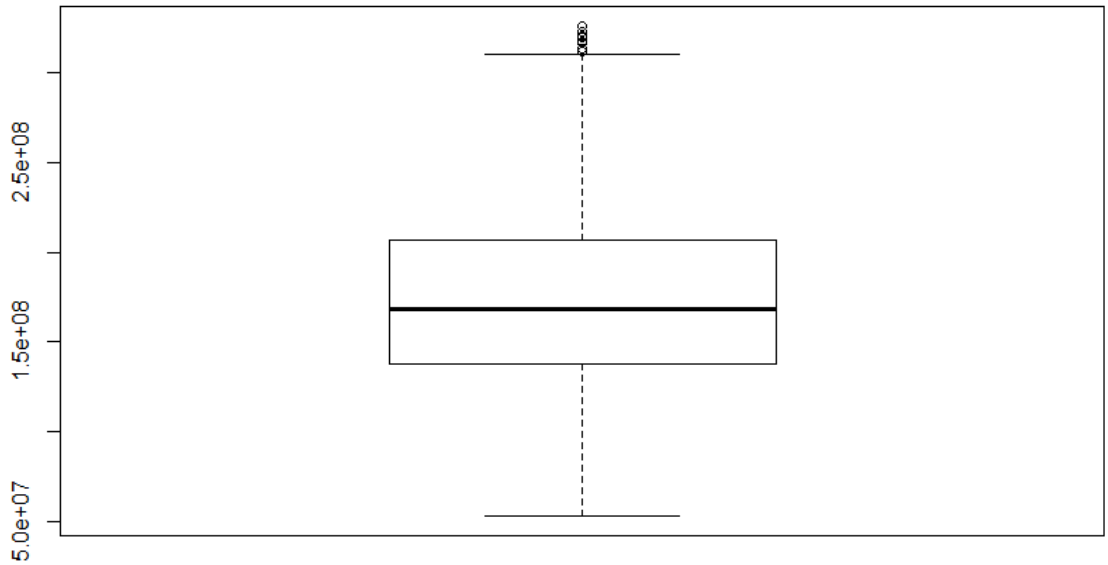
Şekil 9: Electric Demand Plot



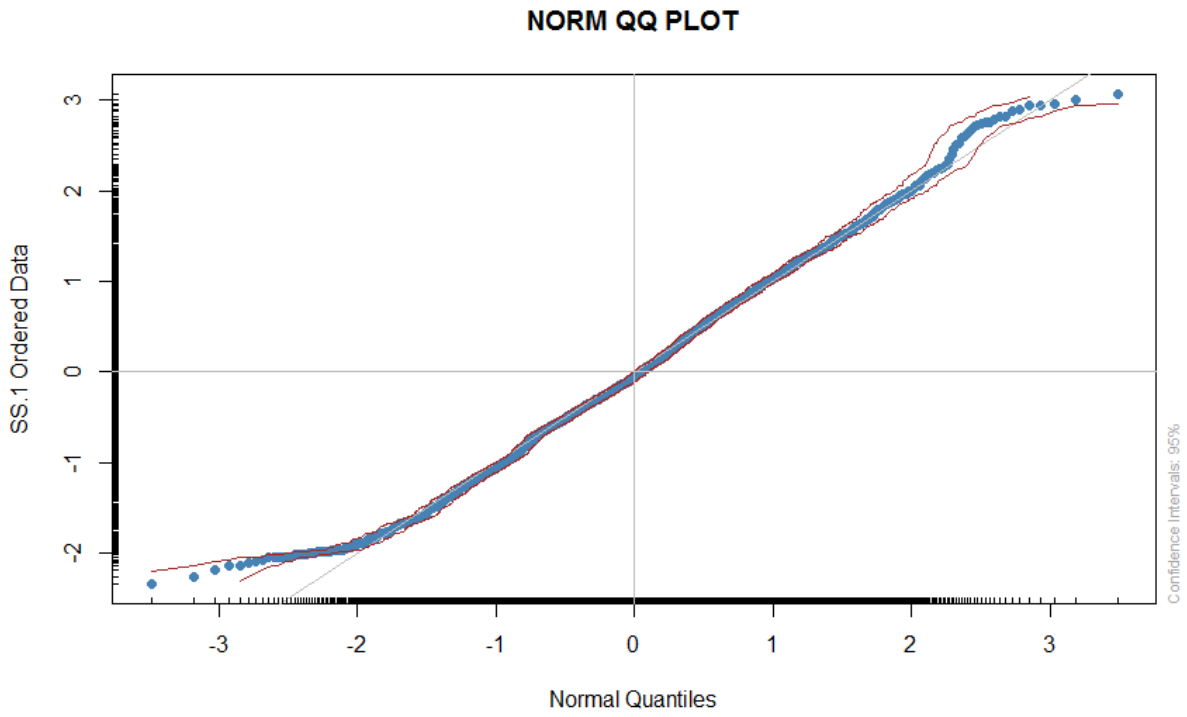
Şekil 10: Histogram of Electric Demand



Şekil 11: Correlogram of Electric Demand



Şekil 12: Box Plot of Electric Demand



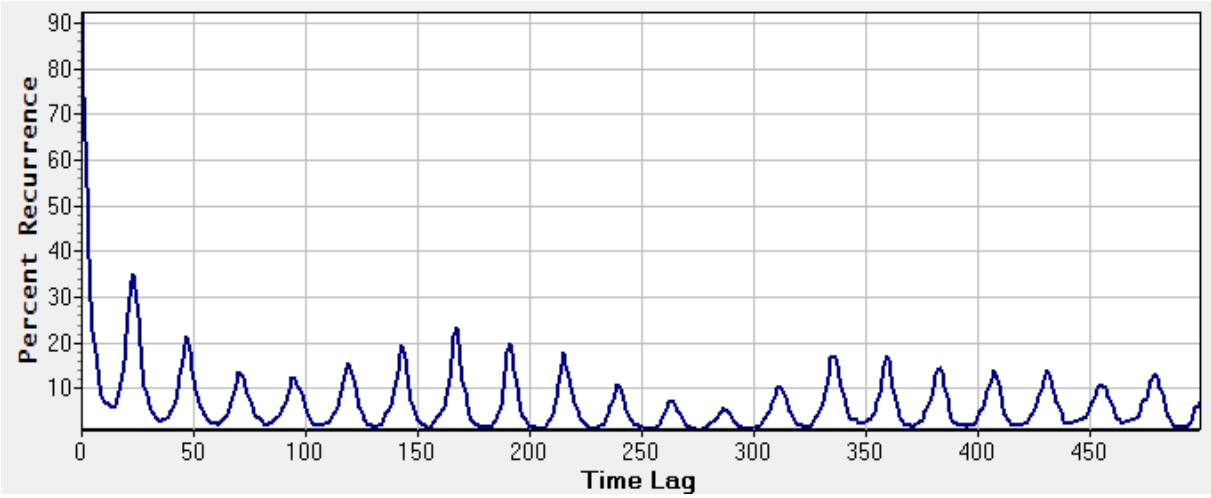
Şekil 13: QQ Plot

TABLO 1: BDS Test

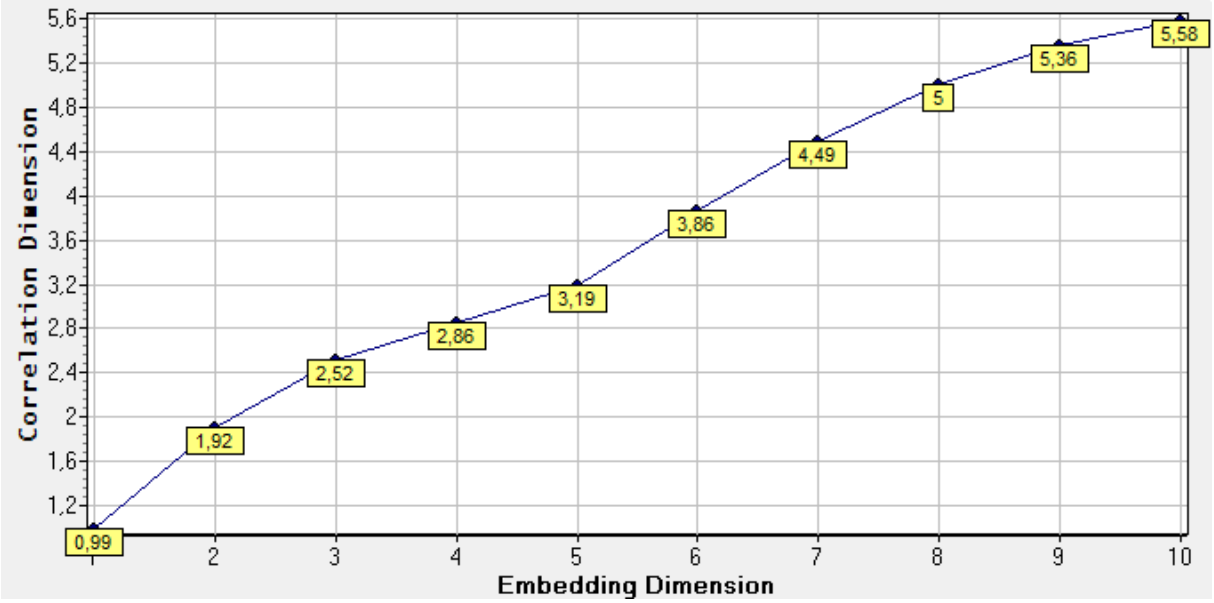
BDS Test	STATISTIC:	P VALUE:
Test Results: PARAMETER: Max Embedding Dimension: 3 eps[1]: 25265878 eps[2]: 50531756 eps[3]: 75797633 eps[4]: 101063511	eps[1] m=2: 326.6144 eps[1] m=3: 551.0934 eps[2] m=2: 179.5774 eps[2] m=3: 218.2232 eps[3] m=2: 131.0819 eps[3] m=3: 137.0573 eps[4] m=2: 118.9231 eps[4] m=3: 115.213	eps[1] m=2: < 2.2e-16 eps[1] m=3: < 2.2e-16 eps[2] m=2: < 2.2e-16 eps[2] m=3: < 2.2e-16 eps[3] m=2: < 2.2e-16 eps[3] m=3: < 2.2e-16 eps[4] m=2: < 2.2e-16 eps[4] m=3: < 2.2e-16

TABLO 2: Neural Network Tests

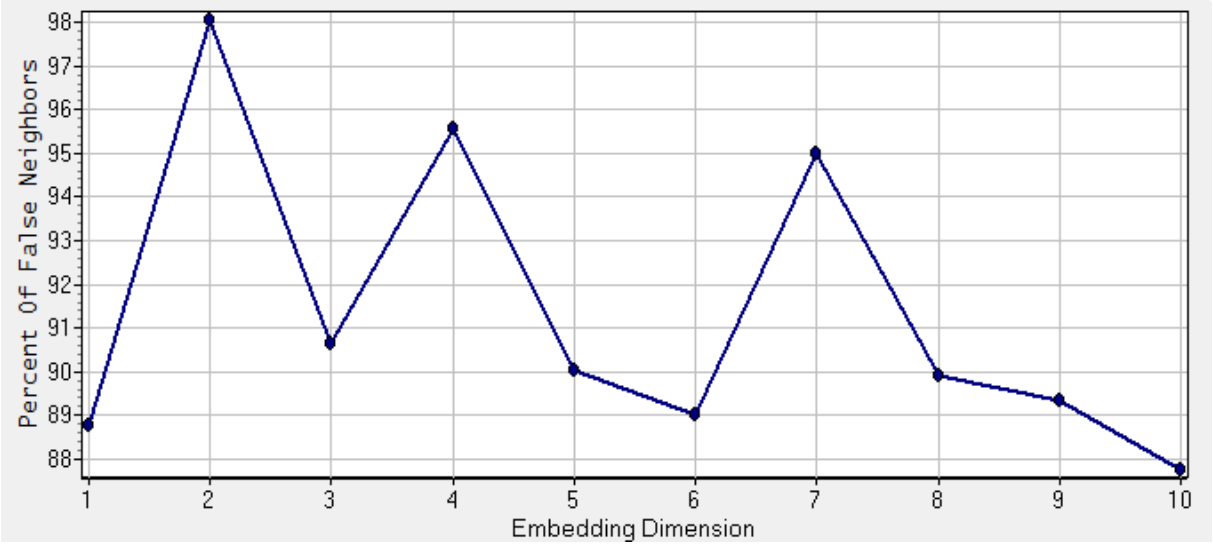
Teraesvirta Neural Network Test	**White Neural Network Test**
Test Results: PARAMETER: lag: 1 m|df: 2 t-lag-m|df: 2038 STATISTIC: Chi-squared: 1.7613 F: 0.8798 P VALUE: Chi-squared: 0.4145 F: 0.415	Test Results: PARAMETER: lag: 1 q: 10 range: 4 qstar|df: 2 t-lag-qstar|df: 2038 STATISTIC: Chi-squared: 0.1247 F: 0.0622 P VALUE: Chi-squared: 0.9396 F: 0.9397



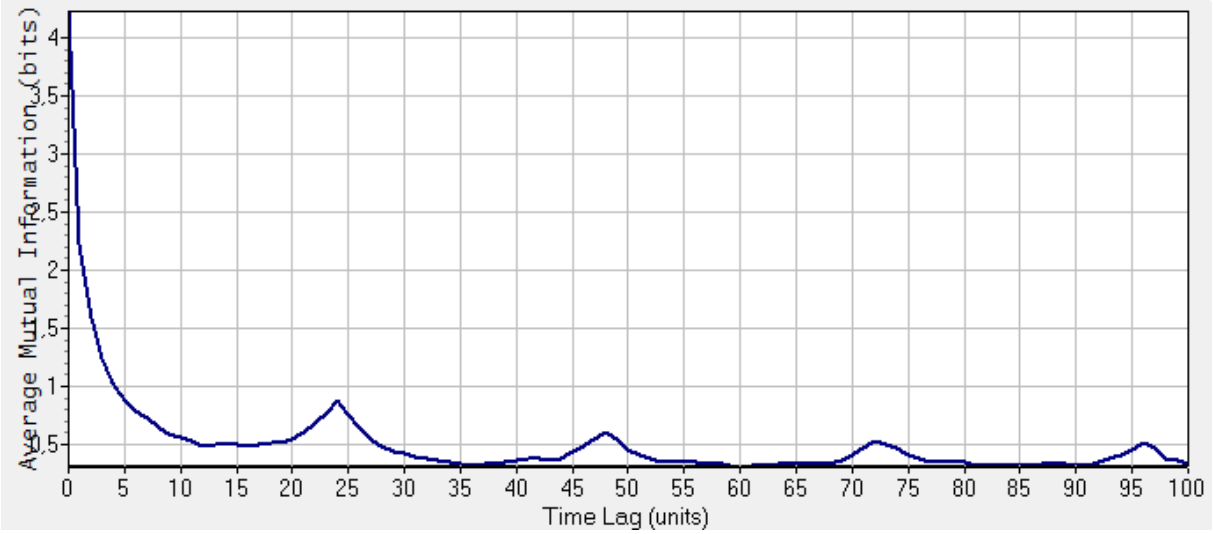
Şekil 14: Percent Reccurence



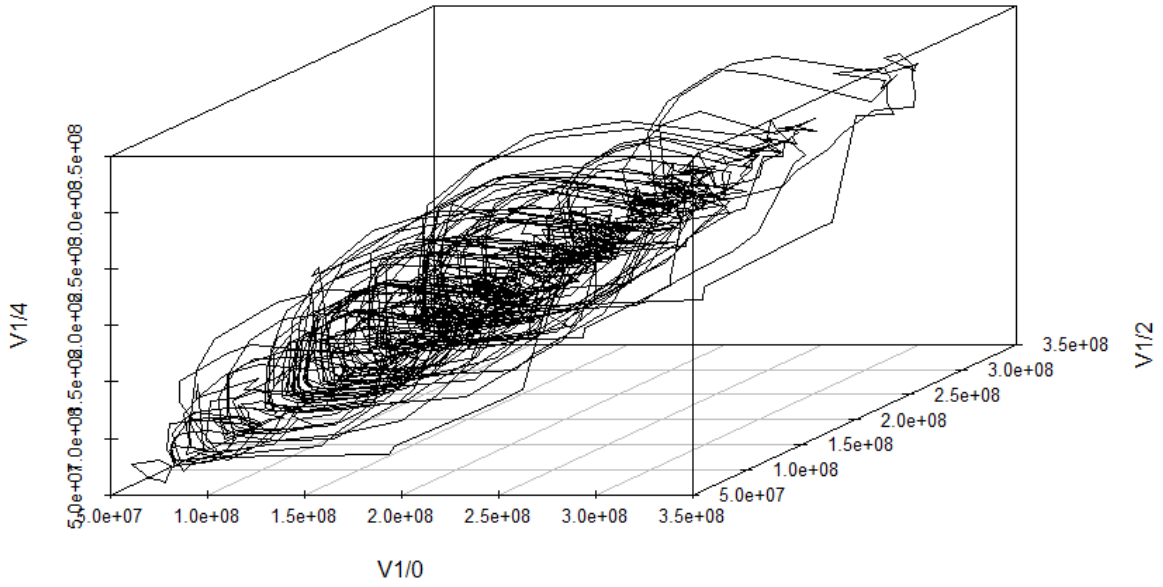
Şekil 15: Embeded Dimension



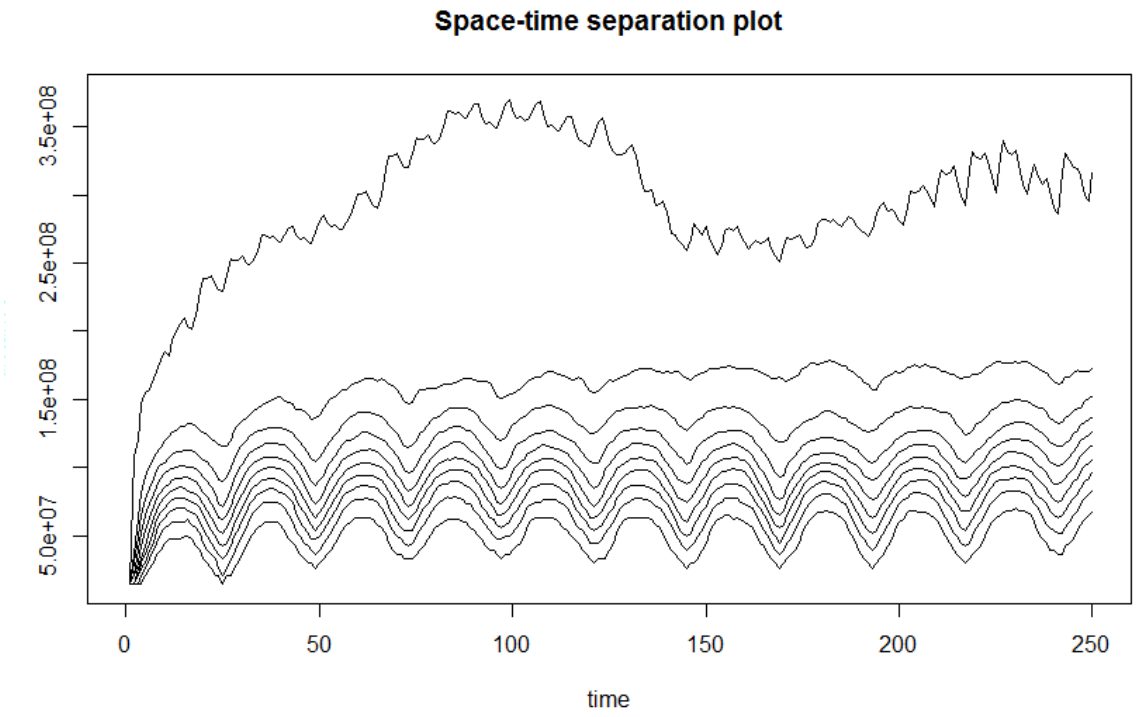
Şekil 16: Persentage of False Neighbours



Şekil 17: Mutal Information



Şekil 18: 3D Chaos Plot



Şekil 19: Speace-Time Seperation Plot

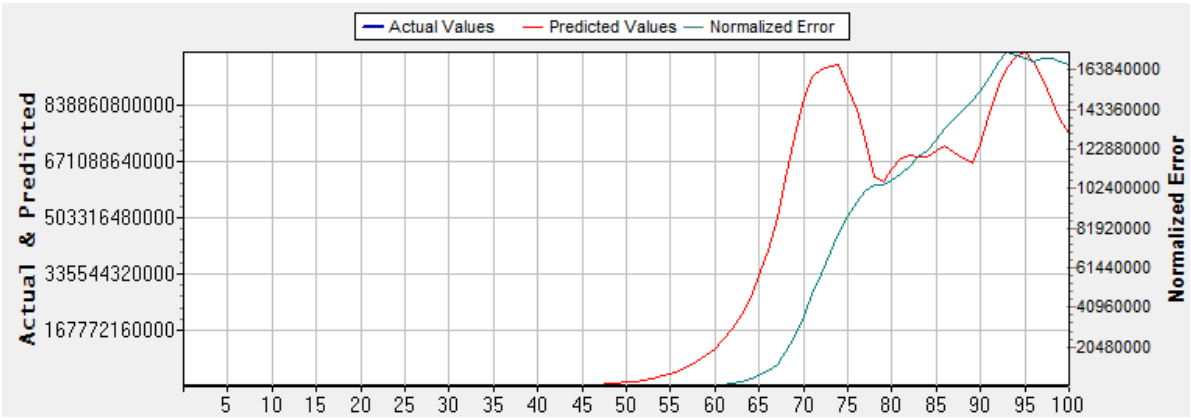
SONUÇ

Bütün test ve çıktılar kaotikliği destekler niteliktedir. Yani İstanbul köprü geçiş verilerinin doğrusal olarak modellenebilmesi mümkün değildir. İlişki ancak nonlinear denklem sistemleriyle incelenebilir.

Doğrusal Kaotik tahmin aşağıda görüldüğü gibi olacaktır. Modelde ani sıçramalar ile ilgili tahmin yapabilmek mümkün görülmemektedir.

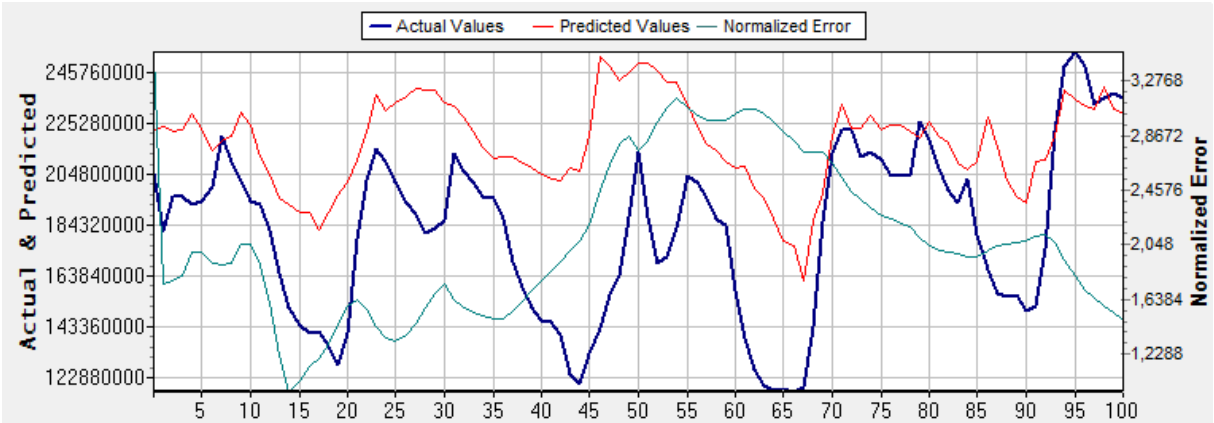
Bu sebeple alternatif tahmin metotları olarak Kernel Regresyonu ve Nearest Neighbor Tahminini kullanacak olursak sonuçlar aşağıdaki gibi olacaktır.

Linear Function



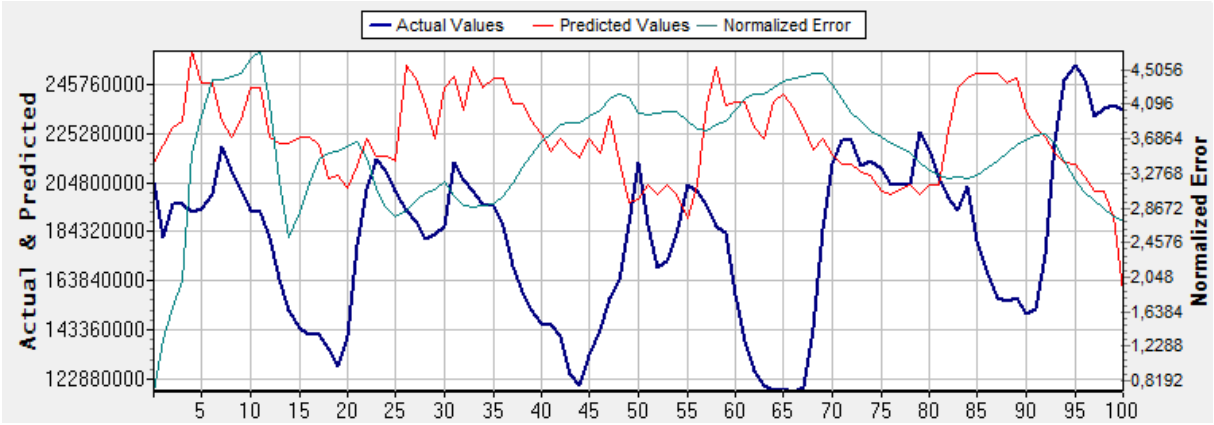
Şekil 20: Lineer Chaotic Estimation Plot

Kernel Estimation



Şekil 21: Kernel Chaotic Estimation Plot

Nearest Neighbor Estimation



Şekil 22: Nearest Neighbor Chaotic Estimation Plot

Şekil-20, Şekil-21, Şekil-22 deki tahmin grafiklerinden de görülebileceği üzere Kernel Regresyonu ve Nearest Neighbor Tahminini doğrusal kaotik modele göre çok daha iyi sonuçlar vermekle beraber bu uygulamada Kernel Regresyonu Tahmininin hata terimleri daha stabildir. Saatlik elektrik talebi gibi ortalama bir hareketmiş gibi gözüken bir olgunun dahi kaotik olması oldukça ilginçtir. Kaotik bu veriyi tahmin edebilmek de o derece önemli olacaktır. RMSE açısından da en doğru model Kernel Regresyonudur.

REFERENCES

- Akay, M., Nonlinear Biomedical Signal Processing, Dynamic Analysis and Modelling, Volume II, IEEE Pres, 2000.
- Awrejcewicz, J., Dzyubak, L. ve Grebogi, C., "A Direct Numerical Method for Quantifying Regular and Chaotic Orbits", Chaos, Solitons and Fractals, Cilt 19, No 3, 503-507, 2004.
- Barnett, W. A. ,"Martingales, Nonlinearity and Chaos",Department of Economics, Campus Box(1998).
- Brock, W., & Potter, S. ,"Nonlinear Time Series and Macroeconometrics",Handbook of Statistics, 195-229 (1993).
- Brock, W., Dechert, W., & Scheinkmann, J. ,"A Test for Independence based on the Correlation Dimension",Wisconsin Madison - Social Systems(1987).
- Brock, William A. Is the business cycle characterized by deterministic chaos? Journal of monetary economics 22 (1988) 71-90
- Cao, L., "Practical Method for Determinig the Minimum Embedding Dimension of a Scalar Time Series", Physica D, Cilt 110, No 1, 43-50, 1997.
- Derya Yılmaz , Nihal Fatma Güler; Kaotik Zaman Serisinin Analizi Üzerine Bir Araştırma; Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi ; Cilt 21, No 4, 759-779, 2006
- Fırat, U. , "Kaotik Zaman Serilerinin Yapay Sinir Ağlarıyla Kestirimi: Deprem Verisi Durumu", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik ÜniversitesiFen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberlesme Anabilim Dalı, İstanbul (2006).
- Grassberger, P., & Procaccia, I. ,"Characerization of Strange Attractors",Physical Review Letters, 346-349 (1983).
- Hentschel, H.G.E. ve Procaccia, I., "The Infinite Number of Generalized Dimensions of Fractals
- Kantz, H., & Schreiber, T. ,"Nonlinear Time Series Analysis",United Kingdom: Cambridge University Press (2004).
- Kasap, P., & Kurt, D. ,"Karmaşanın Bilimi Kaos",Nobel Yayınevi , Ankara (2011).
- Kennel, M., Brown, R., & Abarbanel, H. ,"Determining Embedding Dimension for Phase-Space Reconstruction Using a Geometrical Construction",Physics Review, 340-353 (1992).
- Kennel, M.B., Brown R. ve Abarbanel H.D.I., "Determining Embedding Dimension for Phase- Space Reconstruction Using a GeometricalConstruction", Phys. Rev. A, Cilt 45, 3403-3411, 1992.
- Mandelbrot, B.B., Fractals: Form, chance, and dimension, W.H. Freeman, San Francisco, 1997.

- Öztürk, A. ,"Doppler İşaretlerinin Kaotik Ölçütlerle Sınıflandırılması",Doktora Tezi,Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı , Konya (2008).
- Perron, P. (1989), The great crash, the oil price shocks and unit root hypothesis Econometrica 57 1361-1401
- Pindyck, Robert. (1999), The Long-Run Evolution of Energy Prices the Energy Journal, Vol.20, and No.2
- Saeed Moshiri, Testing for deterministic chaos in futures crude oil price;Does neural network lead to better forecast?, May 2004, University of Allameh Tabatabaie
- Serati, José-Manuel Zaldívar Comenges; Applicatıon Of Non-Linear Time Series Analysis Techniques To The Nordic Spot Electricity Market Data; Liuc Papers N. 200, Serie Tecnologia 11, Marzo 2007
- Sprott, J.C., Chaos and Time-Series Analysis, Oxford University Pres, 2003.
- Strozzi, F., Zaldívar, J. M., & Zbilut, J. P. 2002. Application of nonlinear time series analysis techniques to high frequency currency exchange data, Physica A 312, 520-538.
- Şahika Gökmen, Zaman Serilerinde Kaos Ve Forex Üzerine Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012
- Yalamova, R., Qi, L., Wang, L., Chen, Y., Mathews, S., & Gong, G. ,"Detecting Chaos in Financial Time Series",Tech. Print (2006).
- Yu, D., Lu, W. ve Harrison, R.G., “Detecting Dynamical Nonstationarity in Time Series Data”, Chaos, Cilt 9, No 4, 1999.