Finansal Zaman Serilerinde Yineleme Haritaları Analizi: İMKB Örneği

Mehmet Yunus Çelik [+] **Kerim Eser Afşar** [*]

Özet: Bu çalışmada, yineleme haritaları ve yineleme haritalarının kantitatif analizi yöntemleriyle, finansal zaman serilerindeki düzensiz periyodik davranış kalıpları incelenmiştir. Bu bağlamda İMKB 100 Endeksinin 1986-2008 yılları arasındaki günlük getiri serileri dönemlere ayrılarak analiz edilmiştir. Finansal zaman serileri, doğrusal ve durağan olmayan aynı zamanda düzensiz periyodik salınımlar gösteren bir yapıya sahiptir. Yineleme haritaları ve yineleme haritalarının kantitatif analizleri, finansal zaman serilerinin doğrusal ve durağan olmayan davranış kalıplarının ortaya çıkarılmasında geleneksel yöntemlere göre daha işlevsel sonuçlar üretmektedir.
Anahtar Kelimeler: Yineleme Haritaları Analizi, Yineleme Haritaları Kantitatif Analizi, Finansal Zaman Serileri, Gömme Uzay Tekniği.

Recurrence Plot Analysis On Financial Time Series: ISE Case

Abstract: In this paper, irregular periodic dynamics of financial time series are examined by using recurrence plot analysis (RP) and recurrence quantification analysis (RQA). In this context, ISE 100 daily index data between 1986-2008 is divided by five sub periods then analysed. It is found that structures of financial time series have non-linear, non-stationary and irregular periodic oscillatory patterns. RP and RQA supplies more functional results than traditional time series methods in order to analyze of non-linear and non-stationary structures of financial time series.
Key Words: Recurrence Plot Analysis, Recurrence Quantification Analysis, Financial Time Series, Embedded Space Technique.

GİRİŞ

İktisadi zaman serilerinde temel dinamiklerin teşhisinde geleneksel zaman serisi yöntemleri çoğu zaman yeterli olmamaktadır. Geleneksel zaman serileri analizi, zaman serilerinin durağan olmasını gerektirir. Özellikle iktisadi değişkenlerin durağan hale getirilmesi, veri kaybına sebep olmakta ve serilerin uzun dönemli davranışlarının incelenmesini zorlaştırmaktadır (Engle ve Granger, 1987: 251-276). Aynı zamanda iktisadi zaman serilerinin sağlıklı analiz edilmesi ve temel dinamiklerinin elde edilmesi için, serilerin oldukça uzun bir zaman periyoduna sahip olması gerekir. Özellikle doğrusal olmayan yöntemler kullanıldığında, veri setinin yeterli uzunlukta olmaması analizlerin sonuçlarını tartışmalı kılmaktadır. Yineleme haritaları analizi (recurrence plot analysis), veri sayısının yetersiz olduğu, durağan ve doğrusal olmayan zaman serilerine uygulanabilen bir yöntemdir. Yineleme, dağılıcı dinamik sistemlerin temel yapı taşıdır. Dağılıcı sistemlerde meydana gelen küçük bir sapma üstel olarak büyür; fakat tamamen keyfi olarak tekrar eski durumuna gelebilir ve bu durum zaman boyunca sürekli tekrarlanır (Eckmann vd., 1987). Yineleme haritaları analizi, bu gibi tekrarlı süreçlerin görselleştirilmesi için geliştirilmiştir.

Yineleme haritaları analizinin teorik temelleri, Poincare'nin "Yineleme Teoremi" ile atılmıştır. Fakat 1970'lerde kaos teorisinin ortaya çıkmasına kadar Poincare'nin bu alanda yaptığı öncü çalışmalar değerlendirilmemiştir. Günümüzde yineleme haritaları analizi, Packard vd. (1980: 712-716) ve Takens (1981) tarafından geliştirilen faz uzayının yeniden yapılandırılması ve gömme uzay tekniği temeline dayanmaktadır. Tek bir değişkene ait zaman serisi kullanılarak sistemin genel karakterini ortaya çıkaran metoda "Gömme Uzay (Embedding Dimension) Tekniği" adı verilir. Bu metoda göre gözlenen tek bir değişkene ait (tek boyutlu) zaman serisi gözlenmeyen tüm diğer değişkenlere ait bilgileri içerir. Yineleme haritaları analizinin temel araçları Eckmann vd. (1987) tarafından geliştirilmiştir. Yineleme haritası, m boyutlu faz uzaydaki çekicinin yinelemeli davranışlarının iki boyutlu faz uzayda gösterimidir. Yineleme haritasının her iki ekseni de zamandır ve haritada, i ve j gibi farklı iki zamanda, sistemin yineleme durumları gösterilir. Zbilut ve Webber (1992: 199-203), yineleme haritaları analizini geliştirerek yineleme haritalarının kantitatif analizi (recurrence quantification analysis) olarak bilinen yeni bir teknik geliştirmişlerdir. Yineleme haritalarının kantitatif analizi, yineleme noktalarının yoğunlukları ve yineleme haritasının diyagonal yapısını kullanarak görsel yineleme haritalarının sayısallaştırılmasını mümkün kılmaktadır.

Yineleme haritaları analizi, tıp bilimlerinden fen bilimlerine kadar geniş bir uygulama sahasına sahiptir. Sosyal bilimler alanında ise psikoloji ve iktisadın bahsi geçen tekniği kullanmaya başladıkları görülmektedir. Bu çalışmanın amacı, kaos teorisi uygulamaları kapsamında geliştirilen Yineleme Haritaları Analizi Yöntemiyle, finansal zaman serilerindeki düzensiz periyodik davranış kalıplarının incelenmesidir. Bu amaçla çalışmanın ikinci bölümünde karmaşık dinamik sistemlerin analizinde kullanılan "gömme uzay tekniği" ve "faz uzayının yeniden yapılandırılması" konusu ele alınmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde yineleme haritaları analizinin teorik çerçevesi, temel yineleme harita tipleri ve yineleme haritalarında ortaya çıkan çizgi ve noktaların yapısal özellikleri açıklanmıştır. Dördüncü bölümde Zbilut ve Webber (1992: 199-203) tarafından geliştirilen yineleme haritalarının kantitatif analizi incelenmiştir. Yineleme haritalarının kantitatif analizi, yineleme noktalarının yoğunlukları ve yineleme haritasının diyagonal yapısını kullanarak incelenen sistemin temel özelliklerinin sayısallaştırılmasını sağlamaktadır. Bu bölümde yineleme haritalarının kantitatif analizi çerçevesinde elde edilen parametrelerden hareketle incelenen sistem hakkında ortaya konan bilgiler tartışılmıştır. Çalışmanın son bölümünde, 1986-2008 yılları arasındaki İMKB 100 endeksi getiri serileri dönemlere ayrılarak yineleme haritaları elde edilmiş ve yineleme haritalarının kantitatif analizi parametreleri hesaplanmıştır. Çalışmadaki tüm hesaplamalar için VRA 5.01 paket programı kullanılmıştır. Uygulama sonucunda, İMKB 100 endeksinin tesadüfi yürüyüş modeline uygun davranmadığı bulgusu elde edilmiştir.

[+] Araş. Gör. Dr., D.P.Ü., İ.İ.B.F., İktisat Bölümü, Kütahya
[*] Araş. Gör., D.E.Ü., İ.İ.B.F., İktisat Bölümü, Buca-İZMİR

GÖMME UZAY TEKNİĞİ VE FAZ UZAYININ YENİDEN YAPILANDIRILMASI

Dinamik sistemlerin çoğu çok değişkenli, başka bir ifade ile çok sayıda serbestlik derecesine sahip sistemlerdir. Bu nedenle sistemlerin tüm değişkenlerine ait verileri toplamak ve bu verileri modellemek oldukça zor, hatta imkânsızdır. Çünkü sisteme ait tüm değişkenlerin eşanlı olarak belirlenmesi ve kaydedilmesi gerekir. Birçok verinin yüksek gürültü içermesi ve verilerin gözlenememesi doğru sonuçların ortaya çıkmasına engel olur. Aynı zamanda bir sistemin tanımlanması için kaç tane değişken gerektiği de belirlenememektedir. Bu nedenle karmaşık sistemlerin modellenmesinde tek bir değişkene ait zaman serisinden sistemin temel karakteri ortaya çıkarılabilir. Çünkü tek bir değişkene ait zaman serisi, tüm değişkenlerin eşanlı etkileşimlerinden ortaya çıkmıştır ve bu nedenle sistemin tüm özelliklerini bünyesinde barındırmaktadır. Tek bir değişkene ait zaman serisi kullanılarak sistemin genel karakterini ortaya çıkaran metoda "Gömme Uzay Tekniği" adı verilir. Bu metoda göre gözlenen tek bir değişkene ait (tek boyutlu) zaman serisi gözlenmeyen tüm diğer değişkenlere ait bilgileri içerir. Gömme uzay tekniğiyle yeniden yapılandırılan faz uzay, dinamik sistemin tüm topolojik yapısını aynen barındırır (Takens, 1981). Bu nedenle sistemin korelasyon boyutu, entropisi, Lyapunov üslüsü gibi sisteme ait tüm bilgiler aynen muhafaza edilmektedir. Faz uzayının yeniden yapılandırılması, birbirinden bağımsız olarak Packard vd. (1980) ve Takens (1981) tarafından ilk kez ele alınmıştır. Packard vd. (1980) bu metodun sayısal gösterimini gerçekleştirmiş, Takens (1981) ise metodun biçimsel yapısını kurmuştur. Menkul kıymet borsaları, karmaşık dinamik sistemler grubuna girmektedir. Karşılıklı etkileşimde bulunan çok sayıda karar biriminin işlem yaptığı, alım-satım kararlarının çok sayıda faktör tarafından etkilendiği bir sistem olan menkul kıymet borsalarıyla ilgili en sağlıklı ve gürültüsüz veri borsa fiyatlarıdır. Bu nedenle borsa fiyatlarını kullanarak menkul kıymet borsalarının temel dinamiklerinin elde edilmesi gömme uzay tekniğiyle mümkündür.

Gömme uzayın elde edilebilmesi için öncelikle dinamik sistemin içinde gözlenen tek bir değişkene ait zaman serisi elde edilir. Bu değişkene ait zaman serisinden dinamik sistemin tüm yapısını karakterize edebilecek şekilde veriler gruplandırılarak vektörler oluşturulur. Bu amaçla kaç boyutlu vektör oluşturulması gerektiğini yani gömme boyutunu ve yeniden yapılandırılacak faz uzayının gecikme zamanının bilinmesi gerekir. Eğer doğru gömme boyutu ve gecikme zamanı belirlenebilirse sistemin dinamiği m boyutlu bir uzayda betimlenebilir ve modellenebilir. Sistemin davranışını sergileyebilmek için sistemin davranış kalıbının içine gömüldüğü şablonu ortaya çıkarmak gerekir.

$$Y_t = \{x_t, x_{t-d}, x_{t-2d}, ...x_{n-(m-1)d}\} \qquad (1)$$

Y(t), gerçek sistemi betimlemektedir ve sistem gözlemlenen x(t) değişkeni tarafından temsil edilir. Yani Y(t)'nin davranış dinamikleri, gömme boyut (m) ve gecikme zamanı (d) doğru belirlenmişse X(t)'yi gözlemleyerek ortaya çıkarılabilir. Gecikme zamanının belirlenmesi için ortak bilgi fonksiyonu yöntemi, gömme boyut için yanlış en yakın komşular yöntemi kullanılmaktadır.

Ortak Bilgi Fonksiyonu Yöntemi

Doğru gecikme zamanının bulunması için Fraser ve Swinney (1986: 1134-40) 'in geliştirdikleri "Ortak Bilgi Fonksiyonu" yöntemi kullanılmaktadır. Bu yönteme göre d olarak verilen gecikme zamanı için en iyi tahmin, sistemin mevcut durumunun {x(t)}, x(t+d)'deki ölçüm için maksimum yeni bilgi içermesidir. En uygun gecikme zamanının bulunması için gecikme zamanı sıfırdan başlanarak ortak bilgi fonksiyonu çizilmektedir. Gecikme zamanı arttırıldıkça, ortak bilgi fonksiyonunun değeri azalmakta, sonra artmaktadır. Ortak bilgi fonksiyonun ilk kez minimuma ulaştığı nokta en uygun gecikme zamanını vermektedir.

Yanlış En Yakın Komşular Yöntemi

Gömme boyutunun tam olarak bulunması için kullanılan yöntem, Kennel vd. (1992: 3403-3411)'in geliştirdiği "Yanlış En Yakın Komşular" yöntemidir. Bu yöntem, verilen boyuttaki her bir noktanın en yakın komşu noktasını bulmakta ve bu noktaların bir üst boyutta hala en yakın komşular olup olmadıklarını araştırmaktadır.

$X = (x_1, x_2, x_3, ...x_n)$ ve $Z = (z_1, z_2, z_3, ...z_n)$ vektörleri n boyutlu bir uzayda birbirine en yakın komşu vektörlerdir. Sistem n+1 boyuta taşındığında iki vektör arasındaki uzaklık ($R = |x_{n+1} - z_{n+1}|$) hesaplanır. Vektörler arasındaki uzaklık (R), z_{n+1} x_{n+1}'in tahminleyicisi olarak düşünüldüğünde ölçüm hatasını verir. Eğer R katsayısı $|x_{n+1} - x_n|$ farkından büyük veya eşit bir değer alırsa x ve z vektörlerinin en yakın komşuluğu yanlış olarak adlandırılır. Sistemin boyutu arttırıldıkça hesaplanan yanlış en yakın komşuluk oranının en düşük değer aldığı boyut sayısı en uygun gömme boyutu verecektir. Takens (1981), gömme uzay boyutunun sistemin gerçek boyutunun iki katı civarında olması gerektiğini belirtmiştir.

YİNELEME HARİTALARI ANALİZİ

İktisadi süreçler, yinelemeli davranış gösterirler. Örneğin periyodik döngüler tipik bir yinelemeli davranıştır. Fakat birçok iktisadi süreç periyodik davranışlar gibi düzenlilik arz etmez. Kaotik veya doğrusal olmayan determinist sistemlerin temel özelliği olan yinelemeli davranışlar tamamen keyfi ve öngörülemez bir biçimde ortaya çıkmaktadır (Argyris vd., 1994). Yineleme, dağılıcı dinamik sistemlerin temel yapıtaşıdır. Dağılıcı sistemlerde meydana gelen küçük bir sapma üstel olarak büyür; fakat tamamen keyfi olarak tekrar eski durumuna gelebilir ve bu durum zaman boyunca sürekli tekrarlanır (Eckmann vd., 1987: 973-977). Yineleme haritaları analizi, bu gibi tekrarlı süreçlerin görselleştirilmesi için geliştirilmiştir. Yineleme haritaları analizi, daha önce ayrıntılı olarak bahsedilen Takens'ın (1981) geliştirdiği faz uzayının topolojik yapısı ve yeniden inşası temeline dayanır.

RP analizinin temel araçları Eckmann vd. (1987) tarafından geliştirilmiştir. Yineleme haritası, m boyutlu faz uzaydaki çekicinin yinelemeli davranışlarının iki boyutlu faz uzayda gösterimidir. Yineleme haritasının her iki ekseni de zamandır ve haritada, faz uzayda i ve j gibi farklı iki zamanda, sistemin yineleme durumları gösterilir. R(i,j) sistemin yineleme durumunu gösterir. Epsilon eşik değeri ve Θ Heaviside basamak fonksiyonudur. Sistemin i ve j zamanlarındaki durumları belli bir eşik değerini aştığı durum yineleme haritasında siyah (koyu renk), eşik değerinin altında kaldığı durum ise beyaz (açık renk) bir noktayla gösterilir.

$$R(i,\ j) = \Theta(\varepsilon - \left\| \overrightarrow{x(i)} - \overrightarrow{x(j)} \right\|) \qquad (2)$$

Faz uzayı yeniden inşa edildikten sonra, her vektör çiftinin birbirinden uzaklığı hesaplanır ve uzaklık, bir renkle betimlenir. Yineleme haritaları analizinde açık renkler vektörler arasındaki uzaklığın küçük olduğunu, koyu renkler ise, vektörler arasındaki uzaklığın büyük olduğunu göstermektedir. Köşegen üzerinde eksen değerleri birbirine eşit olduğu için, vektör çiftlerinin birbirine uzaklığı sıfırdır. Bu nedenle yineleme haritalarında diyagonal çizgi beyazdır.

Yineleme Haritalarının Topolojik Yapısı

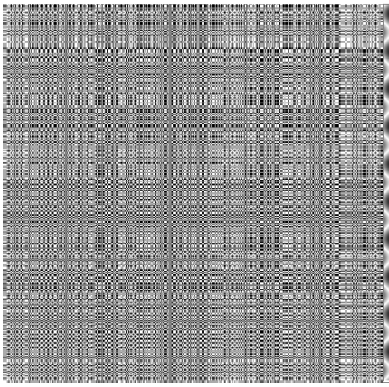
Yenileme grafikleri topolojik yapısına göre dörde ayrılabilir (Marwan ve Kurths, 2002: 299-307):

1.*Homojen Yineleme Haritaları*: Bu tip yapılar daha çok durağan ve otonom dinamik sistemlerde görülür. Yineleme haritalarında belirgin bir yapı görülmez. Zaman serileri tamamen rassaldır.

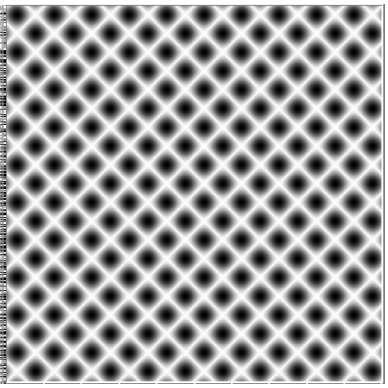
2.*Periyodik Yineleme Haritaları:* Eğer zaman serileri periyodik salınım gösteriyorlarsa, yenileme haritasında kareli şekiller oluşur. Aynı zamanda bu tip haritalarda ana köşegene paralel ve uzun çizgiler belirir.

3.*Sürüklenen Yineleme Haritaları:* Köşegene yakın bölgeler açık renktedir ve köşegenden uzaklaştıkça renkler koyulaşır. Bu tip haritalara sahip seriler durağan değildir. Çünkü bir trend içermektedirler.

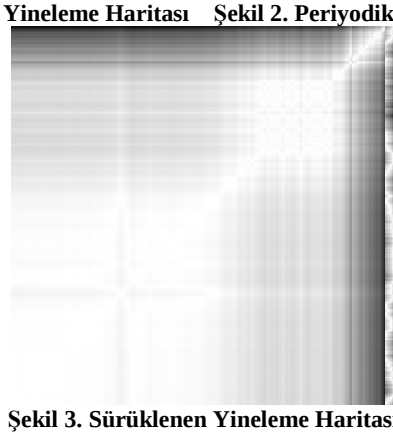
4.*Süreksiz Yineleme Haritaları:* Bu tip haritalarda, haritanın bir kısmı açık renkte, bir kısmı ise koyu renktedir. Eğer açık renklerin hakim olduğu bir sistemde, koyu renkli bölgeler oluşmuşsa, sistemde normal durumdan sapmalar ortaya çıkmıştır. Bu bölgelerde sistem geçişler yaşamaktadır. Bu tip bir yineleme haritasına sahip sistemler birim köke sahiptir.



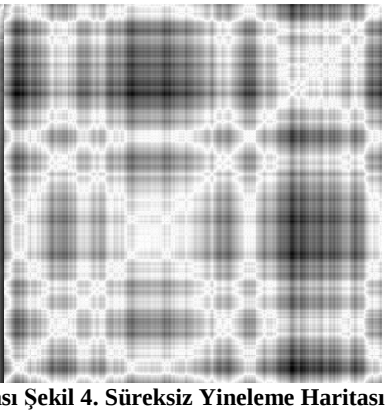
Şekil 1. Homojen Yineleme Haritası



Şekil 2. Periyodik Yineleme Haritası



Şekil 3. Sürüklenen Yineleme Haritası



Şekil 4. Süreksiz Yineleme Haritası

Yineleme Haritalarında Çizgi ve Noktaların Yapısı

Yineleme haritalarında ortaya çıkan çizgi ve noktaların yapısı da sistem hakkında önemli bilgiler verebilir.

•**Tek ve bağlantısız yineleme noktaları :** Bu noktalar süreklilik arz etmeyen ağır bir dalgalanma durumunda ortaya çıkarlar. Dolayısıyla bu noktaların ortaya çıktığı durumda iki ihtimal ortaya çıkabilir: Sistem değişmektedir veya sistemdeki gürültü miktarı artmıştır. Eğer haritada bu noktalardan çok sayıda varsa, sistemin içinde şiddetli dalgalanmaların olduğu söylenebilir.
•**Diyagonal çizgiler:** Bu çizgilerin olduğu sistemlerde, çizginin uzunluğuna bağlı olarak sistem çekicisi farklı bir zamanda daha önce geçtiği bir noktanın yakınından tekrar geçmektedir. Kaotik zaman serilerinde diyagonal çizgilerin boyları çok kısadır. Fakat periyodik bir sistemde diyagonal çizgilerin boyları uzundur. Bu nedenle diyagonal çizgilerin ortalama uzunlukları, kaosun varlığını gösteren en büyük pozitif Lyapunov üslü sayısının bir ölçümüdür(Eckmann vd., 1987: 973-977).

•**Dikey ve yatay çizgiler:** Yatay ve dikey çizgiler, çizginin uzunluğuna bağlı olarak sistem durumunun değişmediği anlamına gelmektedir.

YİNELEME HARİTALARININ KANTİTATİF ANALİZİ

Zbilut ve Webber (1992), yineleme haritaları analizini geliştirerek yineleme haritalarının kantitatif analizi olarak bilinen yeni bir teknik geliştirmişlerdir. RQA, yineleme noktalarının yoğunlukları ve yineleme haritasının yapısını kullanarak incelenen sistemin dinamikleri hakkında bilgiler vermektedir. Yineleme haritalarının kantitatif analizi kapsamında Zbilut ve Webber (1992) tarafından altı parametre geliştirilmiştir;

***REC*:** Yineleme haritası üzerinde, yineleme noktalarının yoğunluğunu yüzde olarak ölçer.

$$REC = \frac{1}{N^2}\sum_{i,j=1}^{N} R(i,j) \qquad (3)$$

***DET*:** Serinin determinizmini[1] yada tahmin edilebilirliğinin yüzdelik ifadesidir. Rastsal sistemlerde çok az sayıda köşegen çizgisi ve çok sayıda bağımsız nokta, deterministik bir sistemde ise az sayıda bağımsız nokta ve çok sayıda köşegen çizgisi bulunmaktadır.

$$DET = \frac{\sum_{l=l_{\min}}^{N} lP(l)}{\sum_{i,j=1}^{N} R(i,j)} \qquad (4)$$

l :diyagonal çizgilerin uzunluğunu $P(l)$:diyagonal çizgilerin uzunluklarının frekans dağılımını göstermektedir.

***L max*:** En uzun diyagonal çizginin uzunluğunu verir. L max parametresi, en büyük pozitif Lyapunov üslü sayısının tersine eşittir (Eckmann vd., 1987; Trulla vd., 1996: 255-260). Çünkü diyagonal çizgilerin uzunluğu, sistem yörüngelerinin birbirine yakınsama derecesini gösterir. Düşük L max. değerleri, sistemin kaotik olduğunu göstermektedir.

***ENT*:** Diyagonal çizgilerin uzunluklarının frekans dağılımını verir ve sistemin deterministik yapısının karmaşıklığını betimler. Entropi sistemin karmaşıklık derecesini ifade eder. ENT parametresinin düşük çıkması, sistemin periyodik olduğunu, yüksek çıkması ise kaotik olduğunu gösterir (Atay ve Altıntaş, 1999: 6593-6598).

$$ENT = -\sum_{l=1}^{N_l} P(l)\ln P(l) \qquad (5)$$

TREND: Trend değişkeni sistem durağanlığının derecesini hesaplar. Yineleme haritası üzerinde homojen dağılan noktalar olduğunda TREND sıfıra yakın çıkacaktır. TREND değişkeninin -5 ile +5 arasında çıkması sistemin durağan olduğunu göstermektedir (Webber vd., 1995: 814-822).
LAM: Sisteme ait yineleme haritasındaki dikey çizgilerin sistem içindeki yüzdesini göstermektedir. Bu oranın yüksek çıkması sistemin uzun süre değişmediği durağan durumu göstermektedir (Marwan ve Kurths, 2002: 299-307).

$$LAM = \frac{\sum_{v=v_{\min}}^{N} v.P(v)}{\sum_{v=1}^{N} v.P(v)} \qquad (6)$$

Hesaplanan parametreler kullanılarak çatallaşma noktaları, özellikle kaosa geçiş noktaları tespit edilebilir. Yüksek DET ve REC değerleri, düşük L max ve ENT değerleri sistemin kaotik olduğunu gösterir (Trulla, v.d., 1996: 255-260).

YİNELEME HARİTALARI YÖNTEMİYLE İMKB 100 ENDEKSİNİN ANALİZİ

[1] Determinizm kavramı, yineleme haritaları analizinde serinin tahmin edilebilirliğini ifade etmektedir.

Çalışmada yineleme haritaları ve yineleme haritalarının kantitatif analizleri, 1986–2008[2] yıllarını kapsayan İMKB 100 endeksi günlük getiri serisine uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan veriler TCMB'nın internet sitesinden[3] alınmıştır. Finansal zaman serilerinde fiyatlar yerine getirilerin kullanılmasının bir nedeni fiyatlara yansıyan enflasyon etkisinin getiri serilerinde oluşmaması, ikinci nedeni ise getiri serilerinin trend barındırmamasıdır. Aynı zamanda menkul kıymet borsalarında faaliyet gösteren iktisadi aktörler, mevcut fiyatlardan ziyade getirilerle ilgilenmektedirler. Bu nedenlerle İMKB 100 endeksinin kapanış fiyatlarına göre yüzdelik artışları hesaplanarak getiri serileri oluşturulmuştur.

$$R_t = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}} \qquad (7)$$

Denklemde P_t, t zamanındaki kapanış fiyatını, R_t ise t zamanındaki endeksin yüzdelik getirisini göstermektedir. Çalışmada kullanılan tüm hesaplamalar için VRA v. 5.01 programı[4] kullanılmıştır. Yineleme haritaları analizinin sonuçlarının dönemler itibariyle karşılaştırılması için endeks beşer yıllık dönemlere ayrılarak ayrıca analiz edilmiştir.

Yineleme Haritaları Analizi Sonuçları

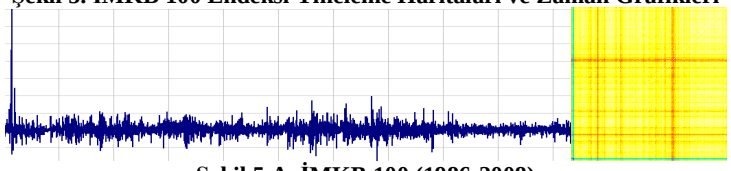
Uygulamanın ilk aşamasında faz uzayı yeniden yapılandırılmıştır. Faz uzayının yeniden yapılandırılması için gerekli olan optimum gecikme zamanı için ortak bilgi fonksiyonu yöntemi, gömme uzay boyutunun belirlenmesi için yanlış en yakın komşular yöntemi uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1 Getiri Serileri Optimum Gömme Boyutları ve Gecikme Sayıları

	GÖMME BOYUT	GECİKME SAYISI
İMKB 100 (1986–2007)	12	4
İMKB 100 (1986–1990)	38	2
İMKB 100 (1991–1995)	9	1
İMKB 100 (1996–2000)	17	3
İMKB 100 (2001-2005)	17	3
İMKB 100 (2006-2008)	19	1

Tablo 1'den görülebileceği gibi optimum gecikme sayısı bütün dönemler için 3 ile 1 arasındadır. Yalnızca endeksin bütünü (1986-2008) için gecikme sayısı 4 olarak hesaplanmıştır. Gömme boyut ise, 9 ile 38 değerleri arasında değişmektedir. Gömme boyut aynı zamanda sistemin karmaşıklık derecesinin bir göstergesidir. Gömme boyutun tüm dönemler için yüksek değerler alması, İMKB'nin karmaşık bir dinamik sistem olduğunu doğrulamaktadır. İkinci aşamada gömme boyut ve optimum gecikme zamanı belirlenen sistemler için yineleme haritaları elde edilmiştir. Sonuçlar Şekil 5'te gösterilmiştir. Şeklin sol panelinde zaman grafikleri, sağ panelinde ise yineleme haritaları verilmiştir.

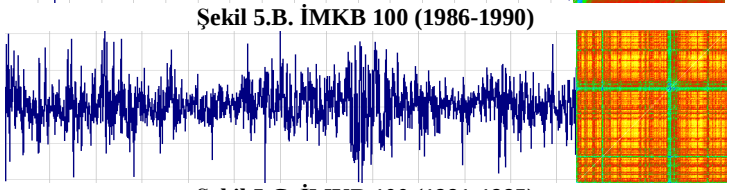
Şekil 5. İMKB 100 Endeksi Yineleme Haritaları ve Zaman Grafikleri



Şekil 5.A. İMKB 100 (1986-2008)

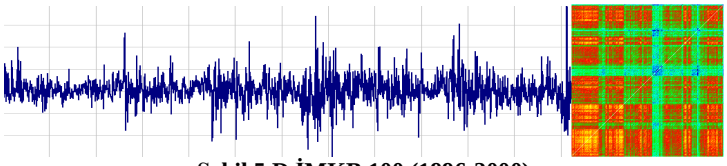


Şekil 5.B. İMKB 100 (1986-1990)

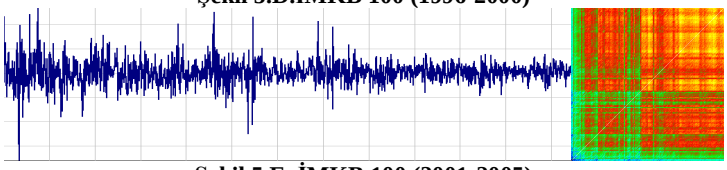


Şekil 5.C. İMKB 100 (1991-1995)

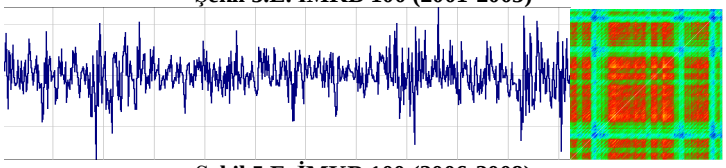
[2] 2008 yılı için Nisan ayına kadar olan veriler kullanılmıştır.
[3] http://evds.tcmb.gov.tr/
[4] Program, http://pweb.netcom.com/~eugenek/download.html internet adresinden ücretsiz olarak temin edilebilir.



Şekil 5.D.İMKB 100 (1996-2000)



Şekil 5.E. İMKB 100 (2001-2005)



Şekil 5.F. İMKB 100 (2006-2008)

Yineleme haritalarına bakıldığında tüm dönemler için yineleme haritaları tipinin süreksiz yineleme haritaları ile periyodik yineleme haritalarına uyduğu görülmektedir. Şekillerde karesel bir yapı ön plana çıkmaktadır. Fakat karesel yapılar çok bariz değildir. Aynı zamanda uzun diyagonal çizgiler de görülmemektedir. Bu nedenle sistemler kararsız periyodik yörüngelere sahiptirler. Şekillere biraz daha dikkatle bakıldığında özellikle 1986-1990 arasında diyagonal paralel kısa çizgiler göze çarpmaktadır. Bunun anlamı, sistem daha önce uğradığı noktaların tam üzerinden ya da bu noktaların çok yakınından geçmektedir. Şekillerin hepsinde yatay ve dikey kalın çizgiler söz konusudur. Bu dönemlerde sistemleri temsil eden vektörler, bu çizgilerin geçtiği zaman aralığında birbirinden uzaklaşmıştır. Dolayısıyla bu dönemde, sistemlerde dalgalanmalar söz konusudur. Açık renkli bölgeler, sistemi temsil eden vektörlerin birbirine yakın olduğunu gösterir. Bu nedenle bu bölgelerde sistemlerin durağan bir konumda olduğu söylenebilir. Dönemler arasında normal durumdan sapmalar ve sistem geçişlerinin yaşandığı dönemler, 1996-2000 ve 2006-2008 dönemleridir. En durağan dönem ise 1986-1990 dönemidir. İMKB 100 endeksinde ortaya çıkan en ciddi dalgalanma yineleme haritasına göre koyu dikey bir çizgiyle temsil edilen Kasım 2000 ve Şubat 2001 arasındaki dönemdir. Yineleme haritasına göre 1990 Aralık dönemi ve 1994'ün ilk ayları dalgalanma gösteren diğer dönemlerdir.

Yineleme Haritalarının Kantitatif Analizi Sonuçları

İMKB 100 endeksine yineleme haritalarının kantitatif analizini uygulamadan önce, karşılaştırma yapabilmek amacıyla bazı fonksiyonel kalıplar için yineleme haritalarının kantitatif analizi sonuçları elde edilmiştir. Tablo 2'de incelenen fonksiyonel kalıpların analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 2 Fonksiyonel Kalıplar İçin Yineleme Haritaları Kantitatif Analizi Sonuçları

Fonksiyonel Kalıplar	REC	DET	ENT	L max	LAM	TREND
Lorenz	0,027	73,652	4,300	220	15,445	0,012
Tesadüfi Yürüyüş	0	-1	-1	-1	-1	0
Beyaz Gürültü	0,040	-1	-1	-1	-1	0,003
Lojistik	23,879	9,168	2,739	28	0	0,202
Sinüs	5,522	73,737	1,598	996	51,432	-0,928

İncelenen bütün fonksiyonel kalıplarda yinelenen noktaların yüzdesini gösteren REC parametresi 0 ile 23,879 arasında değişmektedir. Özellikle tesadüfi yürüyüş ve beyaz gürültü süreçlerinde yinelemeli bir davranış göze çarpmamaktadır. Serilerin tahmin edilebilirlik derecesini gösteren DET parametresi, Lorenz ve Sinüs fonksiyonlarında en yüksek değerleri almıştır. Tesadüfi yürüyüş ve beyaz gürültü süreçlerinde ise beklenildiği gibi bu oran -1 dir. Fonksiyonel kalıpların karmaşıklık derecesini gösteren ENT parametresi periyodik bir davranış gösteren sinüs fonksiyonunda düşük, kaotik bir sistem olan Lorenz fonksiyonunda ise beklentiler doğrultusunda yüksek çıkmıştır. Lmax parametresi, sinüs fonksiyonunda en yüksek değeri almaktayken tesadüfi yürüyüş ve beyaz gürültü süreçlerinde -1 değerini almaktadır. Dikey çizgilerin yoğunluğunun yüzdesini gösteren LAM parametresi, sinüs fonksiyonunda %25,432 gibi yüksek bir değer, tesadüfi yürüyüş ve beyaz gürültü süreçlerinde ise -1 değerini almıştır. TREND parametresine bakıldığında, incelenen kalıpların hiçbirinde belirgin bir trendin olmadığı söylenebilir.

Tablo 3 İMKB 100 Serileri İçin Yineleme Haritaları Kantitatif Analizi Sonuçları

Dönemler	REC	DET	ENT	L max	LAM	TREND
İMKB 100 (1986–2008)	23,632	26,398	6,036	434	38,475	2,556
İMKB 100 (1986–1990)	0,036	33,613	1,585	16	0	-0,163
İMKB 100 (1991–1995)	38,320	71,520	4,953	143	54,141	-1,474
İMKB 100 (1996–2000)	3,377	9,512	4,623	63	10,796	-0,331
İMKB 100 (2001-2005)	18,425	41,240	5,990	169	40,946	-27,378
İMKB 100 (2006-2008)	36,922	86,824	5,635	145	55,841	-58,999

İMKB 100 Endeksinin dönemler itibariyle yineleme haritaları kantitatif analizi sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Yinelemeli davranış kalıbının ölçüsü olan REC parametresi 1991-1995 ve 2006-2008 dönemleri arasında en yüksek değerleri almıştır. Yineleme noktalarının yoğunluğunun en az olduğu dönemler ise 1986-1990 ve 1996-2000 dönemleridir. Genel itibariyle İMKB 100 endeksine bakıldığında yineleme noktalarının yoğunluğu %23,632'dir. Serilerin tahmin edilebilirliğini gösteren DET parametresinin en yüksek değerler aldığı dönemler 1991-1995 ve 2006-2008 dönemleridir. Endeksin oldukça hareketli bir seyir izlediği 1991-1995 yılları arasında DET parametresinin yüksek çıkması, bu dönemde ortaya çıkan dalgalanmaların dışsal şoklar kanalıyla değil içsel dinamiklerle ortaya çıktığını göstermektedir. En belirsiz dönem ise 1996-2000 arasındaki dönemdir. 1999 yılı sonbaharındaki hızlı yükseliş ve 2000 yılının sonunda ortaya çıkan sert düşüşün bu dönemde ortaya çıkması nedeniyle, sonuç beklentilerle uyumludur. Sistemin karmaşıklığının bir göstergesi olan ENT parametresi, 1986-1990 dönemi dışında tüm dönemler için benzer değerler almaktadır. En uzun diyagonal çizginin uzunluğunu gösteren L max parametresi, diğer parametrelere uyumlu olarak 1986-1990 ve 1996-2000 dönemleri dışında yüksek çıkmıştır. Sistem içindeki dikey çizgilerin yüzdesel yoğunluğunu gösteren LAM parametresi endeksin bütünü için %38,475 olarak hesaplanmıştır. 1991-1995 ve 2006-2008 dönemlerinde LAM parametresi en yüksek değerlerini almıştır.

Sistemin durağanlığının bir göstergesi olan TREND değişkenine bakıldığında 2001-2008 yılları arasını kapsayan dönemlerde bir trend vardır. Diğer dönemler, TREND parametresinin -5 ile +5 sınırları arasında kalması nedeniyle durağandır. 2001-2008 yılları arasında İMKB 100 Endeksi'nde sürekli bir yükselişin olması nedeniyle bu durum beklentilerle uyumludur.
Geleneksel finans teorisi, etkin piyasa hipotezi doğrultusunda menkul kıymet fiyatlarının ve getirilerinin tesadüfi yürüyüş modeline uygun davrandığını, fiyat hareketlerinin önceden öngörülebilmesinin mümkün olmadığını savunmaktadır (Mandelbrot ve Hudson, 2007). Yineleme haritalarının kantitatif analizi sonuçlarına göre ise İMKB 100 endeksinin tesadüfi yürüyüş modeline uygun davranmadığı görülmektedir. Uygulamadan elde edilen parametre değerleri, tesadüfi yürüyüş süreci için elde edilen parametre değerlerinden farklıdır.

SONUÇ

Yineleme haritaları analizi, yeni bir bilim paradigması olarak kabul edilen kaos ve karmaşıklık kuramlarının bir uzantısıdır. Menkul kıymet borsalarının karmaşık dinamik bir sistem olarak ele alınması, geleneksel finans teorisinin bulgularından farklı sonuçların ortaya çıkmasına ve geleneksel teorinin gelişmesine katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada, yineleme haritaları ve yineleme haritalarının kantitatif analizleri İMKB 100 endeksi günlük getiri serilerine uygulanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre İMKB 100 endeksi getirilerinin teoride öngörüldüğü gibi tesadüfi yürüyüş modeline uygun sonuçlar üretmediği görülmüştür. Faz uzayda yeniden yapılandırılan İMKB 100 serisinin yineleme haritasında yineleme noktalarının yoğunluğu %23,632, tahmin edilebilirlik yüzdesi ise %26,398 bulunmuştur. Bu sonuçlara göre endeks hareketlerinin yaklaşık %25'i içsel dinamiklerle ortaya çıkmış öngörülebilir dinamiklerdir. İMKB 100 endeksine dönemler itibariyle bakıldığında 1991-1995 ve 2006-2008 dönemleri, determinist eğilimlerin en yoğun olduğu dönemler, 1996-2000 döneminin ise İMKB 100 dönemleri içindeki öngörülebilirliği en zayıf olan dönem olduğu görülmüştür. İMKB 100 için, 1986-2000 yılları arasında belirgin bir trend yoktur. Dolayısıyla bu dönem durağandır. 2001-2008 döneminde ise güçlü bir trend ortaya çıkmıştır.
Borsa endekslerinin düzensiz salınımlardan oluşan temel davranış dinamiklerinin analiz edilmesi, borsa teknik ve temel analizlerinin ötesinde, yatırım karar mekanizmaları ve menkul kıymet borsaları fiyat dinamiklerinin yorumlanmasında daha gerçekçi öngörüler sunma potansiyeline sahiptir.

KAYNAKÇA

ARGYRİS, J. H., & FAUST, G., & HAASE, M. (1994). **An Exploration of Chaos**. Noth-Holland: Amsterdam.

ATAY, F. M., & ALTINTAŞ, Y. (1999). Recovering smooth dynamics from time series with the aid of recurrence plots. **Physical Review E**, 59(6), s:6593-6598.

FRASER, A. M., & SWİNNEY, H. L. (1986) Independent Coordinates For Strange Attractors From Mutual Information**. Physical Review A,** 33(2), s:1134-1140.

ECKMANN, J., & KAMPHORST, S. O., & RUELLE, D. (1987). Recurrence Plots of Dynamical Systems. **Europhysics Letters,** 5, s:973-977.

ENGLE, R. F. AND GRANGER, C. W. J. (1987). "Co-integration and error-correction: Representation, estimation and testing**". Econometrica 55**: 251—276.

MARWAN N., & KURTHS, J. (2002). Nonlinear Analysis of Bivariate Data with Cross Recurrence Plots. **Physiscs Letters A,** 302, s:299-307.

MANDELBROT, B & HUDSON, R. L. (2006). **Finans Piyasalarında Saklı Düzen Risk, Çöküş ve Kazanca Fraktal Yaklaşımlar**. Güncel Yayıncılık, İstanbul.

PACKARD. W. S., & CRUTCFİELD, J. P., & FARMER, J. D., & SHAW, R. S., (1980). Geometry From a Time Series. **Physical Review Letters,** 45(9), s: 712-716.

KENNEL, M., & BROWN, R., & ABARBANEL, H. (1992). Determining Embedding Dimension For Phase- Pace Reconstruction Using A Geometrical Construction. **Physical Reviews A**, 45, s: 3403-3411.

TAKENS, F. (1981). **Detecting Strange Attractors in Turbulance**. Springer: Berlin.

TRULLA L. L., & GİULİANİ, A., & ZBİLUT, J. P., & WEBBER C. L. (1996). Recurrence quantification analysis of the logistic equation with transients. **Physics Letters A,** 223, s: 255-260.

WEBBER, C. L., JR., SCHMİDT, M. A., & WALSH, J. M. (1995). Influence of isometric loading on biceps EMG dynamics as assessed by linear and nonlinear tools. **Journal of Applied Physiology**, *78*, 814-822.

ZBİLUT, J. P., & WEBBER, C. L. (1992) Embeddings and Delays as Derived from Quantification of Recurrence Plots. **Physics Letters A**, 171, s: 199-203.