

Aileme ve Gizem'e

İSTATİSTİKSEL ARBİTRAJ: NYSE VE NASDAQ'DA İŞLEM GÖREN
HİSSE SENETLERİ VE YATIRIM FONLARI İÇİN İKİLİ İŞLEM
STRATEJİSİ

Sosyal Bilimler Enstitüsü

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

AHMET CEVDET HAYRULLAHOĞLU

Yüksek Lisans

İŞLETME ANA BİLİM DALI

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ

ANKARA

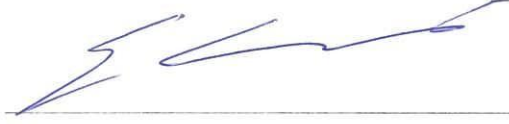
Temmuz 2015

Bu tezin Yüksek Lisans derecesi için gereken tüm koşulları yerine getirdiğini onaylarım.



Prof. Dr. Serdar SAYAN
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürü

Bu tezi okuduğumu ve kapsam ve içerik olarak Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalında bir yüksek lisans tezi olabilecek yeterlikte olduğuna kanaat getirdiğimi onaylıyorum.



Doç. Dr. Ekin TOKAT
Tez Danışmanı



Doç. Dr. Hülisi ÖĞÜT
Tez Jüri Üyesi



Doç. Dr. Kasırga YILDIRAK
Tez Jüri Üyesi

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Ahmet Cevdet HAYRULLAHOĞLU

ÖZET

İSTATİSTİKSEL ARBİTRAJ: NYSE VE NASDAQ'DA İŞLEM GÖREN HİSSE SENETLERİ VE YATIRIM FONLARI İÇİN İKİLİ İŞLEM STRATEJİSİ

HAYRULLAHOĞLU, Ahmet Cevdet
Yüksek Lisans, İşletme Bölümü
Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Ekin TOKAT

Temmuz 2015

Sayıları gün geçtikçe artan hisse senetleri ve yatırım fonları, riskli arbitraj stratejileri için çok sayıda fırsatı da beraberinde getirmektedir. Algoritma oyuncuları tarafından geliştirilen riskli arbitraj stratejilerinden ikili işlem stratejisi otomatik alım/satım programlarında kullanılan stratejilerin başında gelir. İkili işlem stratejileriyle piyasa nötr portföyler oluşturulduğundan, strateji her türlü ekonomik koşul altında kâr elde etmeyi başarabilir. Bu çalışmada, hedge fonların ve büyük yatırım firmalarının yer aldığı bu oyunda, sınırlı imkan ve kaynakla ikili işlem stratejisi kullanılarak ne ölçüde kâr elde edilebileceği gösterilmiştir.

İkili işlem stratejisi geliştirilerek 2011 ile 2015 yılları arası için NYSE ve NASDAQ'da işlem gören hisse senetleri ve yatırım fonları için performans test edilmiştir. İkili işlem stratejisini toplam 17 farklı varlık grubu için test eden algoritma tasarlanmış ve MATLAB'da kodlanmıştır. Verileri Yahoo Finance'dan otomatik çeken, ekonometrik modellere uyumluluğunu test eden, istatistiksel olarak uygun seviyelerde pozisyon açan bir alım/satım programı geliştirilmiştir.

İkili işlem stratejisinin sonuçları S&P 500 endeksinin yıllık getirisi ve Sharpe oranıyla kıyaslanmıştır. Uygulandığı yıllar ve varlıklar baz alındığında günlük kapanış verisiyle ikili işlem stratejisi kullanılarak kâr elde etmenin oldukça zor bir süreç gerektirdiği ortaya çıkmıştır. Parametrelerin performansı oldukça etkilemesi ve anlık değişebilen ekonomik koşullar nedeniyle, sürekli optimizasyon yapılması gerektiği gösterilmiştir. Buna rağmen ikili işlem stratejisine işlem maliyetleri de dâhil edildiğinde günlük kapanış fiyatları kullanılarak kâr elde etmek mümkün görünmektedir.

Anahtar Kelimeler: İkili İşlem, Algoritmik İşlem, İstatistiksel Arbitraj, Riskli Arbitraj, Ortalamaya Dönen Strateji, Hedge Oranı, NYSE, NASDAQ

ABSTRACT

STATISTICAL ARBITRAGE: PAIR TRADING FOR STOCK EXCHANGES AND EXCHANGE TRADED FUNDS IN NYSE AND NASDAQ

HAYRULLAHOĞLU, Ahmet Cevdet
Master of Business Administration
Supervisor: Doç. Dr. Ekin TOKAT

July 2015

Number of stocks and exchange traded funds has been increasing year by year, so it gets a fertile ground for risk arbitrage strategies. One of highly used risk arbitrage strategy in financial markets is pair trading, which is developed by algorithmic traders for automatic trading. Pair trading is a market neutral strategy, which makes it robust under any economic conditions. This thesis proves that an individual trader can success with a limited computing power and resource, in a game dominated by hedge funds and investment banks.

In this study, pair trading strategy is developed exclusively for stocks and ETFs. The strategy is tested paired stocks and ETFs, which traded on NYSE and NASDAQ for the period between 2011 and 2015. First algorithm is coded in MATLAB, after then its performance is tested on 17 different pairs. The backtest program has a capability of requesting data from Yahoo Finance, parsing historical data into components, applying econometric models and finally using statistics to trigger entry and exit signals in an automated way.

S&P 500 is taken as a benchmark, and the performance results of pair trading are compared on the basis of cumulative compound rate and Sharpe ratio. It is proven that the process of pair trading requires multi-dimensional skills and complex econometric calculations. Parameter choice and regime shifts can highly affect performance statistics of the strategy. Therefore it is suggested to use adaptive hedge ratios and continuous parameter optimizations. At the end, retail investors can utilize risk arbitrage and generate profits by using pair trading strategy on daily closing prices.

Keywords: Pair Trading, Algorithmic Trading, Statistical Arbitrage, Risk Arbitrage, Mean Reverting Strategy, Hedge Ratio, Spread Trading, NYSE, NASDAQ

TEŞEKKÜR

Bu tezi yazmamda en büyük katkıyı sağlayan; desteğini, bilgisini, tecrubesini ve zamanını hiç esirgemeyen sevgili hocam Ekin Tokat'a çok teşekkür ederim. Bu zorlu süreçte bana sağladığı motivasyon ve her türlü destek için de Hakkı Arda Tokat Hocam'a çok teşekkür ederim.

Beni büyüten, yetiőtiren ve bu noktaya gelmemi sağlayan başta babam Murat Zafer Hayrullohoğlu olmak üzere annem Sibel Hayrullohoğlu ve ablam Nergiz Deger'e çok teşekkür ederim. Geldiğim bu nokta emin olun sizlerin eseridir.

Tez boyunca beni sürekli dinleyen, her konuda yardımını hiç esirgemeyen ve anlayış gösteren kız arkadaşım Gizem Var'a da çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
BİRİNCİ BÖLÜM: GİRİŞ.....	1
İKİNCİ BÖLÜM: LİTERATÜR ANALİZİ.....	5
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM: METODOLOJİ.....	11
3.1. Pair Trading.....	11
3.2. Geri Test.....	15
3.2.1. Verinin Çekilmesi.....	15
3.2.2. Örneklem Kümesi.....	17
3.2.1.1. Korelasyon.....	18
3.2.2.2. Durağanlık.....	19
3.2.2.3. Koentegrasyon.....	20
3.2.2.4. Hedge Oranı ve Spread.....	22
3.2.3. Örneklem Dışı.....	24

3.2.4. Performans Ölçme	29
3.2.5. Algoritma Test Platformu	32
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM: BULGULAR VE TARTIŞMA	33
4.1. Veri	33
4.2. Geri Test	36
4.3. Pair Trading Stratejisi	40
BEŞİNCİ BÖLÜM: SONUÇ	51
KAYNAKÇA	54
EKLER	57

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AAPL	:	Apple Hisse Senedi
ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
ADF	:	Augmented Dickey Fuller
API	:	Uygulama Programlama Ara yüzü
BIST	:	Borsa İstanbul
BP	:	British Petroleum Hisse Senedi
C	:	Citigroup Hisse Senedi
DBP	:	Değerli Metaller Yatırım Fonu
DIA	:	Dow Jones Yatırım Fonu
ECM	:	Error Correction Model
ETF	:	Yatırım Fonu
EWA	:	Avustralya Yatırım Fonu
EWC	:	Kanada Yatırım Fonu
EWZ	:	Brezilya Yatırım Fonu
GDX	:	Altın Madenleri Yatırım Fonu

GLD	:	Altın Yatırım Fonu
GOOGL	:	Google Hisse Senedi
IDE	:	Tümleşik Geliştirme Ortamı
JNJ	:	Johnson & Johnson Hisse Senedi
JPM	:	JPMorgan Hisse Senedi
KO	:	Coca-Cola Hisse Senedi
NYSE	:	New York Hisse Senedi Borsası
PEP	:	Pepsi Hisse Senedi
PFE	:	Pfizer Hisse Senedi
SEC	:	United States Securities and Exchange Commission
SLV	:	Gümüş Yatırım Fonu
SPY	:	Standard & Poor's 500 Yatırım Fonu
TCELL.IS	:	Turkcell Hisse Senedi (BIST)
TKC	:	Turkcell Hisse Senedi
TOBB	:	Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği
TUR	:	Türkiye Yatırım Fonu
UNG	:	Doğalgaz Yatırım Fonu
USO	:	Petrol Yatırım Fonu
WMT	:	Wal-Mart Stores Hisse Senedi
XLE	:	Enerji Yatırım Fonu
XLF	:	Finans Yatırım Fonu
XLK	:	Teknoloji Yatırım Fonu
XLV	:	Sağlık Yatırım Fonu

XLP : Gıda, İçecek ve Ev Ürünleri Yatırım Fonu
XOM : Exxon Mobil Hisse Senedi

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1 İşlem Maliyetinin Bağlı Olduğu Değişkenler	39
Tablo 2 ADF Durağanlık Test Sonuçları	41
Tablo 3 Johansen Koentegrasyon Test Sonuçları	43
Tablo 4 Pair Trading Stratejisinin Sonuçları.....	44
Tablo 5 Johansen Koentegrasyon Test Sonuçları Yıllara Göre	49

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1 Pair Trading Stratejisi	12
Şekil 2 Metodoloji Blok Diyagramı	Error! Bookmark not defined.
Şekil 3 EWZ ve TUR Fiyat Verisi	16
Şekil 4 Hedge Oranı, Spread ve Z-skor için Hesap Kümeleri	18
Şekil 5 EWZ/TUR Serpilme Diyagramı	19
Şekil 6 EWZ/TUR için Spread, Hareketli Ortalama ve Alış/Satış Seviyeleri	24
Şekil 7 EWZ/TUR için Z-skor ve Alış/Satış Seviyeleri	27
Şekil 8 Z-skora göre Giriş ve Çıkış Sinyalleri	28
Şekil 9 EWZ/TUR için Pair Trading Stratejisine göre Birleşik Getiri	31
Şekil 10 EWZ ve TUR Arasındaki İlişkinin Hedge Oranı ile Tespiti.....	42
Şekil 11 Birleşik Getiri İstatistiği.....	47

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Piyasalarda yer alan varlıklar değer açısından incelendiğinde, yatırımcılar için en önemli zorluğun, gerçek değerinin oldukça altında veya üstünde seyreden varlıkların tespiti olduğu görülmektedir (Connors ve Alvarez, 2009: 49). Varlıkların sahip olması gereken anlık piyasa değerlerinin tespit edilme zorluğunun yanı sıra, bu değerlerin geleceğe yönelik nasıl bir seyir izleyeceğinin tahmin edilmesi de oldukça güçtür. Bu araştırmada istatistiksel arbitraj stratejisi oluşturularak, piyasa değerlerinin bir başka varlıkla doğrudan veya görece ilişkili hareket ettiği saptanan varlıklar kullanılarak; aşırı değerlenme ve eksik değerlenmeler tespit edilebilecektir.

Günümüze kadar, borsalar için geliştirilmiş tüm alım-satım algoritmaları ele alındığında temelde iki farklı stratejiyi esas aldıkları görülür (Chan, 2008: 116). Bahsi geçen iki strateji ikili işlem (pair trading) ve momentum stratejisidir. Bu iki stratejinin de ortak amacı; varlıkların piyasa fiyatlarını gelecek dönemler için tahmin etmektir. Pair trading, fiyatların önceden belirlenen ortalamalara döneceğini varsayar. Momentum ise, fiyatların tespit edilen dönemler için trend eğilimi göstereceğini varsayar. Bu varsayımlar dışında, fiyatların rassal yürüyüş teorisine göre hareket ettiği ve neticede işlem açmanın anlamsız olacağı sonucuna varılabilir.

Tezin amacı hedge fonları ve kurumsal yatırımcılar tarafından sıkça kullanılan; ancak akademik araştırmalara sınırlı sayıda konu olan; pair trading stratejisi oluşturmak ve sonuçlarını geçmiş zaman verisi üzerinden incelemektir.

Pair trading stratejisi geçici olarak aşırı değerlendirilen veya eksik değerlendirilen varlıkları tespit etmeyi sağlar. Çünkü uzun vadede doğrudan veya göreceli olarak beraber hareket etmesi beklenen varlıklar zaman zaman bu ilişkiden sapmalar gösterebilir. Ancak kısa bir süre sonra fiyatlarda beklenin dışında oluşan bu farklılık yatırımcılar tarafından fark edilir ve ortadan kalkar. Sonuç olarak ilişki eski halini alır.

Pair trading sayesinde uzun vadeli ilişkiden ne ölçüde sapıldığı da gözlemlenebilir (Vidyamurthy, 2004: 80). Pair trading stratejisinde olağan dışı fiyat hareketlerinden doğan kâr fırsatlarını yakalayabilmek için aşırı değerlendirilen varlık satılırken, aynı anda değer kaybeden varlık için ise alım yapılır.

Bu stratejiyi sıkça kullanan hedge fonlar son yıllarda etkin piyasa oyuncuları olmalarına karşın, pair trading stratejisinin finans literatürüne henüz yeni girdiği görülmektedir. Bu anlamda piyasada doğrudan uygulanabilir bir strateji oluşturarak ve performansını ortaya koyarak sonuçların literatüre katkı sağlayacağını düşünmekteyim.

Piyasalarda doğan riskli arbitraj fırsatlarını yakalamayı amaçlayan pair trading stratejisi için tez boyunca NYSE ve NASDAQ'da işlem gören varlıklar incelenmiştir. Literatürde yer alan çalışmaların çoğunlukla vadeli işlem sözleşmeleri için risksiz arbitraj gözetilerek yapıldığı ve etkin piyasa hipotezinin test edildiği görülmektedir. İstatistiksel arbitraj stratejilerine yönelik çalışmaların da sınırlı sayıda varlığı konu aldığı, sonuçların birçok çalışma için gelecek veriyi görerek elde edildiği ve yanı sıra işlem maliyetlerinin hesaplara dahil edilmediği görülmektedir. Bu tezde ise hisse senetleri (örneğin, AAPL, XOM) ve yatırım fonlarını (örneğin, TUR, XLE) kapsayan, daha önce literatüre konu olmamış ikili varlıklar için pair trading stratejisi oluşturulmuş ve performanslar S&P 500 endeksi ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca hesaplamalar sırasında gelecek veri kullanılmamış ve işlem maliyetleri de dahil edilerek gerçekçi sonuçların rapor edilmesi hedeflenmiştir.

Tezin ilk bölümü olan giriş bölümünün ardından ikinci bölümde; risksiz arbitraj, istatistiksel arbitraj ve pair trading ile ilgili literatürde yer alan çalışmalara yer verilmiştir.

Üçüncü bölüm olan metodoloji bölümünde ise kullanılan istatistik ve ekonometri modellerinden bahsedilmiştir. Bunların içerisinde verinin çekilmesinden

sonra uygulanan; korelasyon, durağanlık ve koentegrasyon testleri yer almaktadır. Sonrasında da pair trading stratejisinde kullanılan hedge oranı, Spread ve z-skor değerlerinin nasıl hesaplandığı ve ne amaçlarla kullanıldığından bahsedilmiştir. Son olarak da geri testin performansının nasıl ölçüldüğü ve hangi platform üzerinden kodlandığına değinilmiştir.

Dördüncü bölümde de veri ve geri test ile ilgili dikkat edilen önemli noktalardan bahsedilmiş, sonrasında da performans çıktıları rapor edilerek tartışılmıştır.

Beşinci ve son bölümde ise tez boyunca tecrübe edilen ve pair trading stratejisi için kritik olan noktalar ve çıkarımlar özetlenmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR ANALİZİ

Tüm ulaşılabilir bilginin piyasalarda fiyatlandığını varsayarsak, piyasaların etkin bir yapıda olduğu sonucu çıkarılabilir. Ne var ki piyasalar etkinliklerini zaman zaman yitirebilir ve risksiz arbitraj fırsatlarının doğmasına yol açabilir. Bu sayede farklı piyasalarda işlem gören aynı varlıkların fiyatlarının karşılaştırılarak uygun pozisyon alınmasıyla risksiz getiri elde edilebilir. Fiyatlardaki bu sapma zaman zaman o kadar yüksektir ki oyuncular için işlem maliyetleri bile göz önüne alındığında risksiz getiri elde etmek mümkündür. Özetle bu durum, piyasanın etkinliğini kaybettiği zamanlar için geçerlidir.

Peki bireysel yatırımcılar için risksiz getiriyi yakalamak günümüz teknoloji çağında ne derece mümkündür? Gözlemek de, elde etmek de neredeyse

imkansızdır. Çünkü piyasalardaki yanlış fiyatlama mili saniye aralıklarla oldukça gelişmiş bilgisayarlar tarafından sürekli monitör edilmekte ve yanlış fiyatlamalar göz açıp kapayıncaya kadar ortadan kalkmaktadır (Investopedia, 2015).

Söz konusu arbitraj fırsatları piyasa yapımcıları tarafından kullanılarak bireysel yatırımcılara fırsat kalmadan ortadan kalkar. Çünkü piyasa yapımcıları çoğunlukla bireysel yatırımcıya göre daha çok sermayeye, yeteneğe, haberlere hızlı erişim imkanına, hızlı bilgisayarlara ve kompleks yazılımlara sahiptir (Investopedia, 2015). Tüm bu olumsuzluklara rağmen risksiz arbitraj yerine, riskli arbitraj imkanları piyasada her zaman için mevcuttur. Bu stratejiler içerisinde en popüler olanı istatistiksel arbitraj stratejisi olan ikili işlem (pair trading) stratejisidir, ve bu tezin ana konusunu oluşturmaktadır. Her geçen gün artan varlık çeşitliliği de bu strateji için imkanların giderek arttığı anlamına gelmektedir. Öte yandan stratejinin hedge fonları gibi büyük yatırımcılar ve kurumlar tarafından bilindiği ve kullanıldığı düşünüldüğünde ise her geçen gün pair trading stratejisinden kâr elde etme olanaklarının azaldığını söylemek de mümkündür (Chan, 2008: 119).

İstatistiksel arbitraj stratejilerinin gelişiminde bilgisayarlar önemli bir rol oynamıştır. 1970'lerin sonuna gelindiğinde gelişimlerini hızla sürdürmekte ve bireysel kullanıcılar tarafından artık finanse edilebilir olmuşlardı. Bilgisayarlar o güne kadar veri tabanı ve matematiksel hesaplamalar için ağırlıklı olarak kullanılmaktaydı (Thorp, 2015). Ancak bu ekosisteme internetin ve 1971'de dünyanın ilk elektronik hisse senedi piyasası olan NASDAQ'ın da eklenmesiyle finans piyasaları için büyük bir devrin de kapısı aralanmış oldu.

İlk istatistiksel pair trading stratejisi Nunzio Tartaglia önderliğinde bir grup matematikçi, fizikçi ve bilgisayar mühendisi tarafından Wall Street'te uygulanmak üzere geliştirilmiştir. 1987'nin bilgisayar teknolojisini kullanarak otomatize edilen ilk istatistiksel pair trading programıdır. Daha sonra stratejiyi geliştiren grubun 1989 yılında dağılmasıyla birlikte stratejiyle ilgili önemli ipuçları da dışarıya sızmaya başlamıştır. Böylelikle pair trading büyük şirketler tarafından kullanılabilir hale gelmiştir (Vidyamurthy, 2004: 73).

Bu gelişimi başından yakalayan ve borsalar için istatistiksel arbitraj (piyasa nötr) stratejisi geliştiren firmalardan biri de Ridgeline Partners'idi. Geliştirdikleri algoritma ile 1992-2002 yılları arası için yıllık 21.10% getiri ile S&P 500'ün 9.93% lük getirisinin oldukça üstünde bir performans göstermeyi başarmışlardı (Thorp, 2015).

İlerleyen süreçte istatistiksel arbitraj stratejileri; ortalamaya dönen, trend gösteren, rejim değiştiren, mevsimsel özellikler gösteren veya yüksek frekanslı seyreden işlemler başta olmak üzere birçok farklı stratejiyi kapsar hale gelmiştir (Chan, 2008: 154).

Günümüze gelindiğinde istatistiksel arbitraj stratejileri artık oldukça popüler olmuş, yatırım fonları, yatırım bankaları ve kurumsal yatırımcılar tarafından sıkça kullanılabilir hale gelmiştir (Vidyamurthy, 2004: 74). Finans mühendisleri tarafından şekillendirilen istatistiksel arbitraj algoritmaları hisse senetleri, vadeli işlemler, para birimleri veya yatırım fonları gibi çeşitli enstrümanlar için dizayn edilmekteler.

İstatiksel arbitraj stratejileri içerisinde yer alan pair trading stratejisi bu tezin ana konusunu oluşturmaktadır. En basit haliyle pair trading stratejileri için “piyasa nötr” stratejiler de denebilir (Vidyamurthy, 2004: 8; Nicholas, 2000). Her ne kadar bu stratejiyle oluşturulan portföyler sıfır betaya sahip olmasa da, alınan ikili ters pozisyonlar bu isimle adlandırılmalarına yol açmıştır. Çünkü alım-satım sonrasında oluşan portföyün betası sıfıra oldukça yakın çıkar. Bu nedenle de piyasa hareketlerinden en az düzeyde etkilenilir.

Literatürde pair trading ile ilgili yer alan çalışmaların daha çok vadeli işlem sözleşmeleri üzerine yapıldığı görülmektedir; ancak daha kapsamlı çalışmalar da mevcuttur. Örneğin Johnson, Gerlow vd. (1991) soya fasulyesi ve yağ vadeli işlem sözleşmelerini incelerken, Girma ve Paulson (1999) vadeli ham petrol ve kurşunsuz benzin fiyatlarını incelemiştir. 2008 yılına gelindiğinde ise Chan (2008) tarafından yazılan Quantitative Trading kitabında pair trading stratejilerinin altın (GLD) ve altın madenleri şirketlerinin (GDX) ETF’leri için de test edildiği görülmektedir. Aynı çalışmayı benzer iki sektör oyuncusu olan Pepsi (PEP) ve Coca-Cola (KO) için de yapmıştır (Chan, 2008: 130).

İçerisinde birçok istatistiksel arbitraj algoritmasının bulunduğu Chan (2013) tarafından yazılan Algorithmic Trading kitabında ise Avustralya (EWA) ve Kanada (EWC) yatırım fonu endekslerinin geçmiş zaman verileri incelenmiştir. Bu iki yatırım fonunun seçilme nedeni olarak emtia tabanlı ülkeler olmaları gösterilmiştir (Chan, 2013: 69). Bu nedenle Chan’ın (2013) istatistiksel anlamlılığın yanı sıra uzun dönemli ilişkiye sahip, benzer ekonomik göstergelere bağlı olan yatırım fonlarını

stratejilerinde seçtiği görülmektedir. Bu nedenle de tezde benzer hikayelere sahip varlıklar araştırma kapsamında tutularak eşleştirilmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Konuyla ilgili en kapsamlı çalışmalardan birini, Vidyamurthy (2004) Pairs Trading adlı kitabında yapmıştır. Bu çalışma istatistiksel arbitraj ve riskli arbitraj teknikleri başta olmak üzere ikili işlemleri matematiksel ve teorik yönleriyle detaylı ele almıştır. Vidyamurthy (2004) başarılı bir pair trading stratejisi için en önemli kriterin, doğru varlıkların seçilmesi olduğundan bahsetmiştir. Bu nedenle de seçilen varlıkların istatistiksel olarak anlamlılık düzeyine bakılması gerektiğinden bahsetmektedir. Bunun için de Johansen Koentegrasyon testini uygulayarak t-istatistiği ile koentegrasyonun derecesinin ölçülebileceğini belirtmiştir (Vidyamurthy, 2004: 80). Ancak tezde seçilecek varlıklar için bu test bir ön koşul olarak zorunlu tutulmamıştır. Sonuçlar bu testi geçen ve geçmeyen portföylerin tamamının dahil olduğu bir tablo hazırlanarak tartışılmıştır. Bu sayede koentegrasyonun testinin sonucu eleştirilere dahil edilmiş ve literatürde yer almayan pek çok varlık için pair trading stratejisi denenmiştir. Bu varlıkların içerisinde NYSE ve NASDAQ'da işlem gören yatırım fonları ve hisse senetleri yer almaktadır.

Tezde, literatürde daha önce kullanılan bazı metotlar geliştirilerek günlük veri için uygulanabilir hale getirilmiştir. Algorithmic Trading & DMA kitabında alım/satım kararını etkileyen Spread'in hesaplamasında varlıkların alış ve satış fiyatlarının aritmetik ortalamasının kullanıldığı görülmektedir (Johnson, 2010: 151). Ancak bu metot yüksek frekanslı pair trading stratejileri için mümkündür. Tezde geliştirilen stratejide ise son işlem fiyatı olan günlük kapanış fiyatları kullanılmıştır.

Literatürde yer alan bazı pair trading stratejilerinde giriş ve çıkış sinyalleri için Bollinger Band yöntemi kullanılmaktadır (Chan, 2013: 70). Tezde bu yöntem kullanılmış ve sonrasında geliştirilerek algoritmaya çoklu giriş ve çıkış özelliği de entegre edilmiştir. Bu sayede birden çok giriş ve çıkış seviyesi için pair trading stratejisi test edilebilmektedir.

Pair trading stratejileri incelendiğinde, literatürde yer alan çalışmaların gelecek veriyi dahil etme sorunundan kurtulabilmek için veri setini iki parçaya böldüğü ve hesaplamaları buna göre yaptığı görülmüştür (Dunis vd. 2009). Tez boyunca tasarlanan algoritmada da mevcut veri seti ikiye bölünmüş ve strateji buna göre uygulanmıştır. Aynı zamanda çoğu akademik çalışmada yer almayan işlem maliyetleri, sonuçların pratikte gerçeği yansıtması adına gelir hesaplamalarında göz önünde bulundurulmuştur.

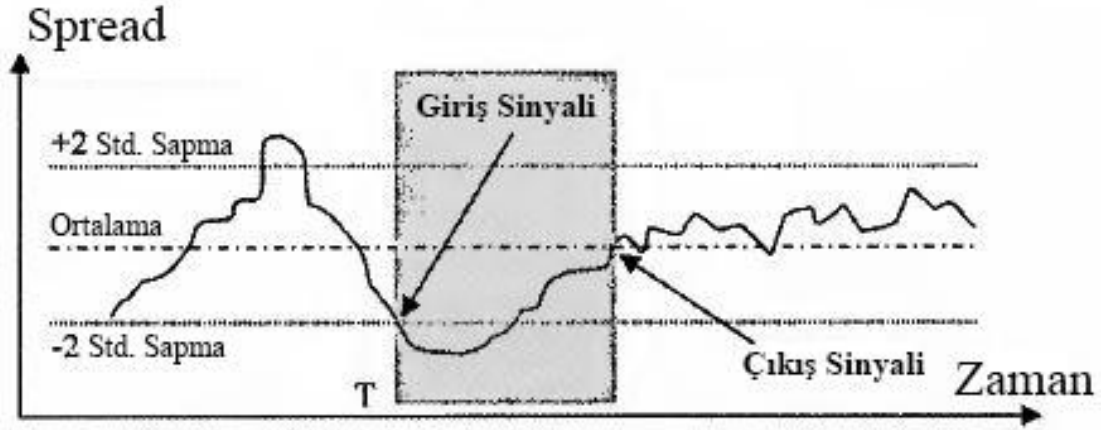
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

METODOLOJİ

3.1. Pair Trading

Finans piyasasında algoritma oyuncularını tarafından uzun yıllardır kullanılan stratejilerin başında pair trading stratejisi gelir. Bu strateji varlık fiyatlarının belirli bir ortalamanın etrafında salınım yaptığını varsayar. Eğer fiyatlar ortalama etrafında salınım yapıyor ise o zaman ortalamanın altında (üstünde) seyreden fiyatları satın almak (açığa satmak) ve fiyat ortalama döndüğünde elden çıkarmak teoride kâr elde etmek anlamına gelir. Ancak ne var ki birçok varlık fiyatı incelendiğinde rassal yürüyüş teorisine göre hareket ettikleri görülür. Çok az varlık için durağan hareket ettikleri ve genellikle bu davranışlarının kısa sürdüğü söylenebilir (Chan, 2013: 105).

Böyle bir durumda sıklıkla kullanılan alternatif yollardan birisi de, farklı varlıkları bir araya getirerek, doğru ağırlıklandırma ile durağan ilişkiye sahip bir portföy oluşturmaktır. Durağan bir fiyata sahip olan bu yeni fiyattan oluşabilecek sapmalara (Spread'e) göre artık ortalama baz alınarak alım veya satım emirleri verilebilir, Şekil 1'de olduğu gibi. Tam da bu noktada pair trading stratejisi için vazgeçilmez olan, durağan ve koentegre ilişki testlerini yaparak doğru varlıkları tespit etmek olacaktır.



Şekil 1 Pair Trading Stratejisi

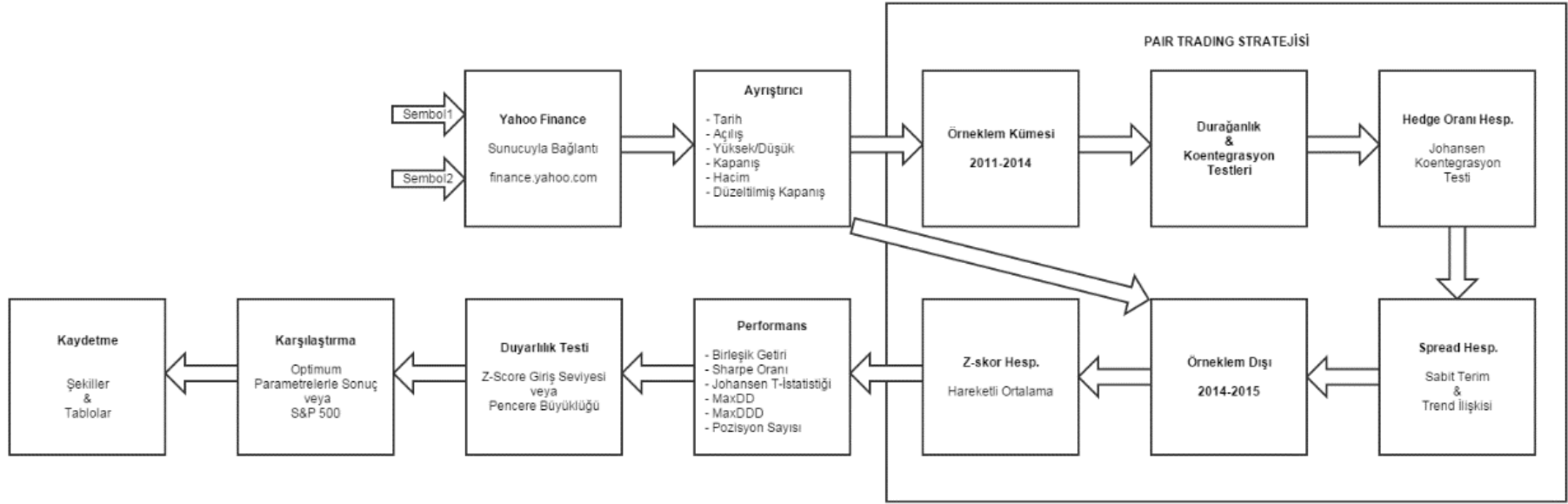
Durağanlık ilişkisini test etmek için Augmented Dickey Fuller (ADF) Test kullanılmıştır. Kontegre ilişkinin boyutunu saptamak için ise Error Correction Model'de (ECM) yer alan Johansen Koentegrasyon Testinin sonuçlarına bakılmıştır. Koentegrasyon testinden geçen yani koentegre ilişkiye sahip oldukları ispat edilen

varlıklar başta olmak üzere, iki varlıktan oluşan portföyler yaratılmıştır. Portföyleri oluştururken gerekli olan ağırlıklar için Johansen Koentegrasyon Testinden elde edilen eigen vektör değerleri kullanılmıştır. Bu sayede istatistiksel olarak anlamlı portföyler oluşturulmuş ve geri test öncesinde ikili ilişkileri gözlemleme fırsatı elde edilmiştir. Koentegrasyon testin sonuçları için Bulgular ve Tartışma bölümüne bakılabilir.

Seçilen varlıklar her ne kadar istatistiksel olarak anlamlı, yani koentegre olsalar dahi pair trading ile elde edilecek sonuçlar aslında seçilen parametrelerin de bir yansımasıdır. Bu nedenle birçok farklı parametreye ve spesifikasyona göre pair trading stratejisi çalıştırılarak optimum sonuçlar tespit edilmiştir.

Tezde pair trading stratejisi NYSE ve NASDAQ da işlem gören hisse senedi ve yatırım fonlarına uygulanmıştır. Seçilen varlıklarda istatistiksel olarak anlama önem verilmesinin yanı sıra, arkalarında ekonomik gerekçelerin olmasına da dikkat edilmiştir. Bu kapsamda örneğin; Avustralya (EWA) ve Kanada (EWC) yatırım fonları kıyaslanırken her iki ülke ekonomisi için de emtianın ortak payda olduğu düşünülmüştür. Benzer şekilde, altın (GLD) ve altın madeni yatırım fonu (GDX) fiyatları kıyaslanırken de altın madeni şirketlerinin hisse senedi fiyatlarının altın fiyatlarından etkilenebileceği düşünülmüştür.

Son adımda ise pair trading stratejine göre elde edilen sonuçlar, yani getiri ve Sharpe oranları birçok araştırmada benchmark olarak gösterilen S&P 500 endeksi ile kıyaslanmıştır. Aşağıda yer alan blok diyagrama göre MATLAB'da kodlanan pair trading stratejisi için tasarlanan algoritma aşama aşama gösterilmiştir



Şekil 2 Metodoloji Blok Diyagramı

3.2. Geri Test

Geri testte amaç geçmiş zaman verisini kullanarak tasarladığımız algoritmanın testini yapmak ve de istenen bir sonraki zaman dilimi için nasıl bir performans göstereceğini tahmin etmektir. Çünkü gözlemlenen bu performansın gelecekte de devam etmesi istenir.

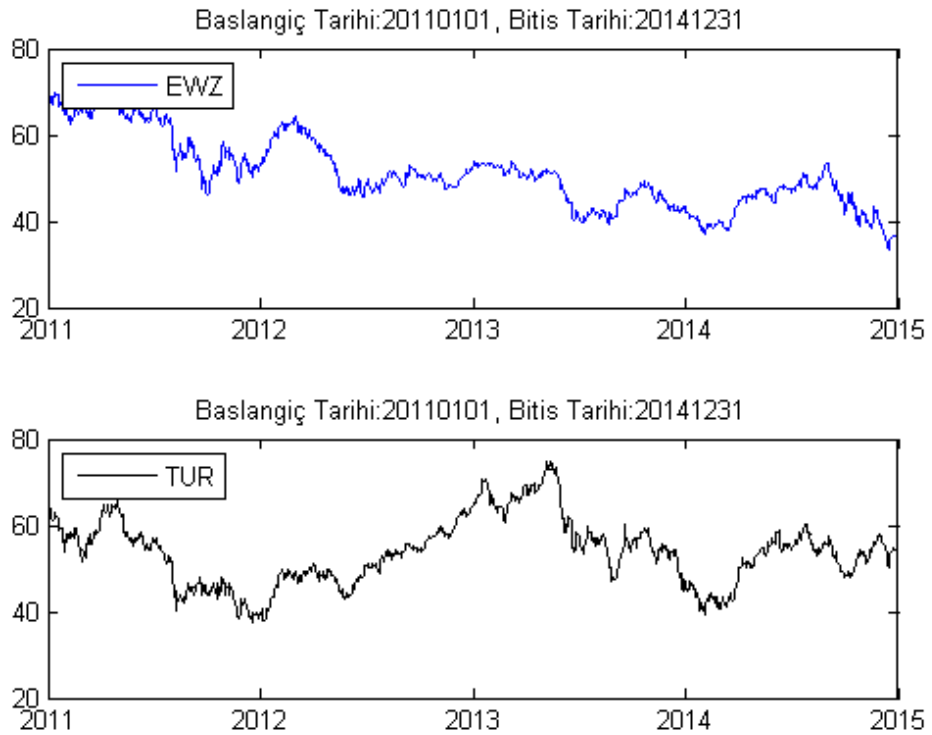
Sonuç olarak geri test sayesinde önceden tasarlanan strateji gerçek veri üzerinde test edilebilir ve optimizasyonlar ile performans iyileştirilebilir. Tam olarak da bu nedenle literatürde yer alan stratejiler temel alınmıştır. Sonrasında ise birçok kısım baştan tasarlanmış ve çeşitli optimizasyonlar yapılarak pratikte uygulanabilir dayanıklı bir algoritma kodlanmıştır. Yazılan algoritma ne kadar hatasız ve tasarlanan strateji teoride birebir isteneni test edebiliyor olsa da, en önemli kriter arbitraj fırsatlarını test etmek için üzerinde çalışılacak varlıkların seçimidir. Bu konu Bulgular ve Tartışma ile Sonuç bölümlerinde detaylı ele alınmıştır.

3.2.1. Verinin Çekilmesi

Yazılan algoritma NASDAQ ve NYSE’de yer alan çeşitli hisse senetleri ve yatırım fonu endeksleri (ETF) üzerinde test edilmiştir. Günlük veya daha büyük zaman dilimleri için Yahoo Finance (2015) sunucularından geçmiş zaman verisini

eken ve sonrasında tasarlanan algoritmayı koşturan bir program yazılmıştır. Bu sayede üzerinde çalışılacak varlığın ilk işlem gördüğü tarihten günümüze kadar ki tüm zaman verisi işlenmeye hazır hale getirilmiştir.

Pair trading stratejisinde varlık fiyatları karşılaştırılırken hisse senedi ve temettü dağıtımına göre düzeltilmiş günlük kapanış fiyatları esas alınmıştır. Tez boyunca stratejiyi test etmek için 01.01.2011 ile 01.01.2015 tarihleri arası kapanış fiyatları kullanılmıştır. Aşağıda Brezilya (EWZ) ve Türkiye (TUR) endeksleri için belirlenen tarih aralığında fiyat hareketlerini gösteren örnek bir Şekil yer almaktadır.



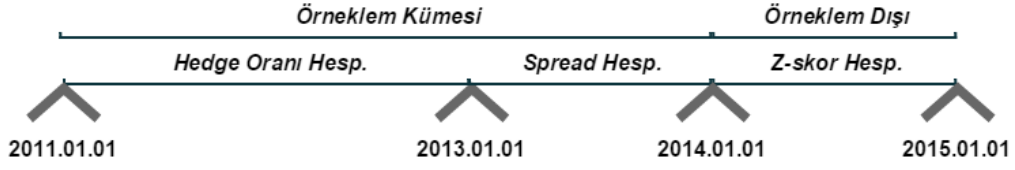
Şekil 2 EWZ ve TUR Fiyat Verisi

3.2.2. Örneklem Kümesi

Geçmiş zaman verisi üzerinden modelde çok fazla optimizasyon yapmak oldukça tehlikeli bir durumdur. Çünkü parametreler üzerinde yapılan aşırı optimizasyonlar aslında geçmiş zaman verisi üzerindeki geçici ve düzensiz gürültüleri gidermek için yapılmış olur. Ancak geçmişte görülen rastgele şekiller (random patterns) gelecek zaman verisinde düşük ihtimalle tekrarlanır. Sonuç olarak geçmiş zaman verisi üzerinden performansı şişirilmiştir; ancak gelecek zaman verisi (örneklem kümesinin dışında kalan veri) için çalışmayacak bir sistem elde edilmiş olur. Parametre optimizasyonu ile ilgili detaylı tartışma dördüncü bölümde yer almaktadır.

Tez boyunca veri seti ihtiyatlı kullanılarak, toplam iki ana kümeye ve içlerinde toplam üç ayrı bölüme ayrılmıştır (Şekil 4). Burada amaç yukarıda bahsi geçen optimizasyondan ziyade, yapılan hesaplamalarda görülmemesi gereken gelecek veriyi dahil etme sorununun önüne geçmektir. Böylelikle sonuçlar şişirilmeden anlık zaman verisine uygulanabilir pair trading stratejisi test edilebilmiştir.

Örneklem kümesinde 2011 ile 2013 yılları arası baz alınarak ideal hedge oranı hesaplanmıştır. Aynı zamanda korelasyon, durağanlık ve koentegrasyon testleri de bu zaman aralığı için yapılmıştır. Daha sonra hesaplanan hedge oranı kullanılarak, 2013 ile 2014 yılları arası için Spread hesaplanmış ve örneklem dışı için kullanılmıştır. Veri setinin iki ana parçaya ayrıldığını gösteren şekil aşağıdadır.

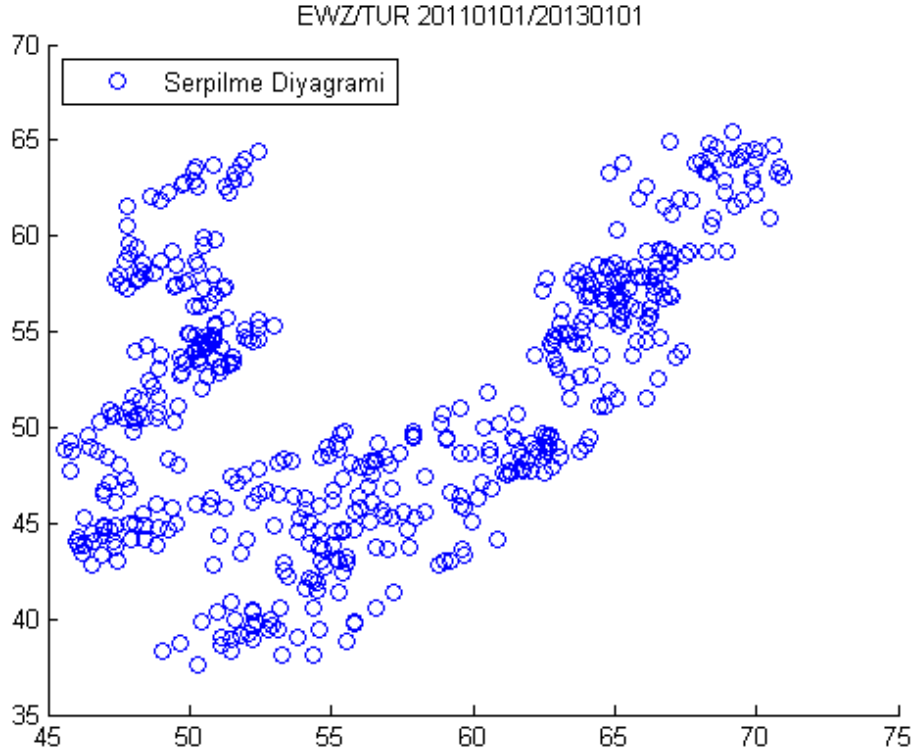


Şekil 3 Hedge Oranı, Spread ve Z-skor için Hesap Kümeleri

3.2.1.1. Korelasyon

Korelasyon sonuçlarına bakılarak varlıkların beraber aynı yönde hareket ettiği veya farklı yönlerde hareket ettiği gibi sonuçlara varılabilir. Örneğin pozitif korelasyon iki varlığın fiyatlarının aynı yönde hareket ettiğini tespit etmemizi sağlar. Ancak korelasyon varlıkların uzun dönemli ilişkileri ile ilgili herhangi bir bilgi içermez. Yani varlıklar aynı yönlü hareket ediyorlarsa dahi aralarındaki fiyat ilişkisi giderek açılabilir. Ne var ki bu noktada koentegrasyon ilişkisine bakılarak fiyatlar arasındaki ilişkinin korunma olasılığı istatistiksel olarak ispat edilebilir. Tez boyunca incelenen varlıklar için korelasyon ilişkisini gösteren tablo ekte yer almaktadır (Ek 1).

Korelasyon ilişkisini görsel olarak tespit etmek için literatürde serpilme diyagramının sıklıkla kullanıldığı görülmektedir (Chan, 2013: 52). Şekil 5’de üzerinde çalışılan 2011-2013 yılları için örnek serpilme diyagramı yer almaktadır.



Şekil 4 EWZ/TUR Serpilme Diyagramı

3.2.2.2. Durağanlık

Bir zaman serisi için durağanlıktan bahsediliyor ise, rastgele alınan her kesit için ortalamanın ve varyansın aynı olacağı kabul edilir. Bir başka deyişle zaman serisinin karakteristik özelliklerinde zamanla herhangi bir değişiklik olmayacağı anlamı da çıkarılabilir. Matematiksel bir ifadeyle sıfırıncı dereceden entegre zaman serileri durağandır (Chan, 2008: 126).

İstatiksel arbitraj stratejisinin uygulanabilirliği açısından seçilen zaman serisinin başlangıç seviyesinden uzaklaşmayan yani durağan olması istenen bir koşuldur. Çünkü eğer varlığın fiyatı durağan ise o anki fiyat seviyesi ile ortalama kıyaslanarak fiyatın bir sonraki hareketi için tahmin yürütülebilir. Örneğin ortalamanın altında (stnde) seyreden fiyatın yükseleceği (düşeceği) varsayılabilir. Bu sayede de durağan zaman serileri için pair trading stratejisi ideal olarak uygulanabilir.

Durağan zaman serisi testi için Augmented Dickey-Fuller (ADF) Test kullanılmıştır. ADF testin t-istatistik sonuçlarına bakılarak her varlığın istatistiksel olarak durağanlığı lmştr. Bu değerlerin kritik seviyelerle karşılaştırıldığı Tablo 2 Bulgular ve Tartışma bölümünde yer almaktadır.

3.2.2.3. Koentegrasyon

Pair trading stratejisi için gereken durağanlık, yani fiyatın ortalamaya dönmesi, hisse senedi ve yatırım fonu fiyatları için tek başlarına bakıldığında çoğu zaman elde edilebilen bir durum değildir. Yani tek başına varlık fiyatında uzun dönemli durağanlık yakalamak neredeyse imkansızdır (Algorithmic Trading, 105).

nl iki ekonometrist Engle ve Granger zaman serileri için tek başlarına durağan bir yapıya sahip olmasalar bile, oluşturulacak lineer kombinasyon ile durağan bir zaman serisinin yaratılabileceğini ispatlamışlardır (Enders, 1995: 377).

Özetle, uygun iki varlıktan birini alış diğerini satış yaparak oluşturulan portföyün piyasa değerinin durağan yapılabileceğini ispatlamışlardır. 1987 yılında yayınladıkları makalede de spesifik bir lineer kombinasyon ile koentegrasyonun elde edilebileceğini göstermişlerdir (Engle ve Granger, 1987). Sonraki yıllarda bu metot literatürde sıkça kullanılmıştır ve bu tezin de temel çıkış noktasını oluşturmaktadır (Vidyamurthy, 2004: 82).

Matematiksel olarak koentegrasyon ilişkisi ele alındığında; durağan olmayan örnek iki zaman serisi için; ilişkilerini açıklayan bir katsayıya ihtiyaç olduğu görülmektedir. Bu fikirle Error Correction Model'de yer alan Johansen Koentegrasyon Testi bu katsayıyı elde etmekte kullanılmıştır. Bu test ile elde edilen eigen vektörün katsayıları bize aslında koentegre ilişki için oluşturulacak kombinasyonun katsayısını verir. Bu katsayıya hedge oranı denmektedir.

Sonuç olarak Error Correction Model zaman serilerinin uzun dönemli durağan ilişkilerini saptar. Gelecek bir dönemde bu ilişkiden olası sapmalar görüldüğünde, uzun dönemli ilişkinin devam edeceği varsayılarak, düzeltmelerin fiyatlara yansıtacağı beklenir. Bu varsayımla piyasada pair trading stratejisi kullanılarak pozisyon açılır.

3.2.2.4. Hedge Oranı ve Spread

Johansen Koentegrasyon test sayesinde elde edilen hedge oranı ile durağan hareket eden portföy fiyatı elde edilmiştir. Johansen testi sabit terim ve olası trend ilişkisini varsayan spesifikasyonu ile çalıştırılmıştır. Test sonucu elde edilen en yüksek eigen değerine (örneğin, e_1) karşılık gelen eigen vektörü seçilmiştir (örneğin, h_{11} ve h_{12}).

$$eigen\ değeri = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$eigen\ vektörü = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{21} \\ h_{12} & h_{22} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Çünkü en yüksek eigen değerine karşılık gelen eigen vektörü aynı zamanda en yüksek t-istatistiğine sahip koentegrasyon ilişkisini vermektedir. Sonrasında, eigen vektör değerleri 3.3'de görüldüğü gibi normalize edilerek bir birim hisseye karşılık, diğer varlıktan hangi oranda hisse senedi alınması/satılması gerektiğini gösteren hedge oranı (h) hesaplanmıştır (3.4).

$$Hedge\ Oranı = h_{12}/h_{11} \quad (3.3)$$

$$Hedge\ Oranı = y/x \quad (3.4)$$

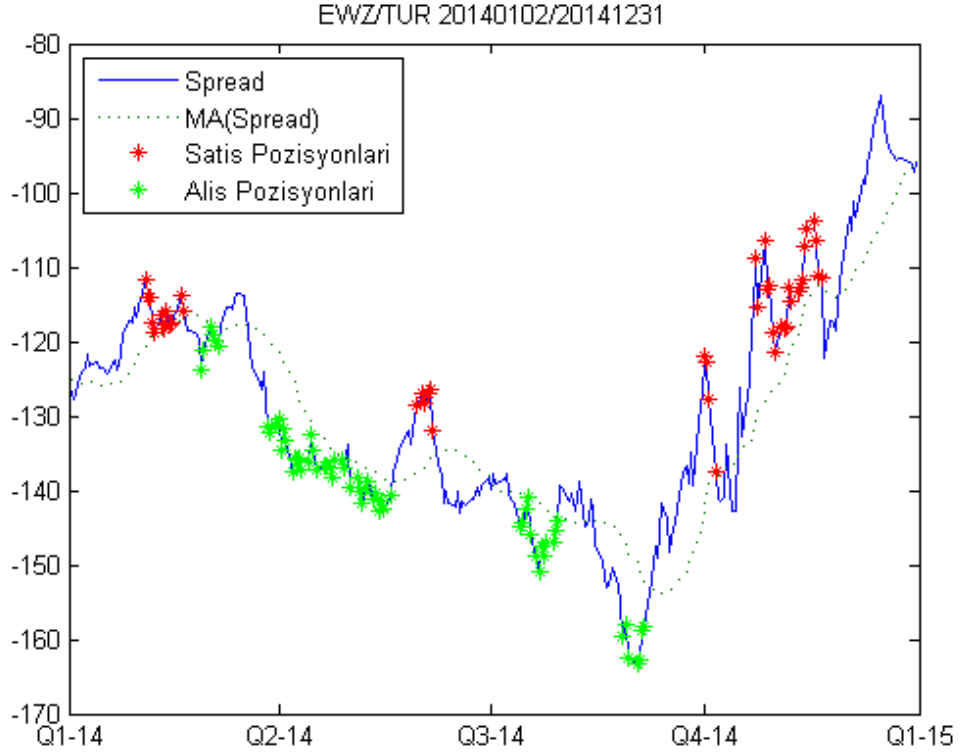
x : 1^{nci} Varlığın Zaman Serisi

y : 2^{nci} Varlığın Zaman Serisi

Hedge oranı geçmiş zaman dilimi için hesaplandıktan sonra, geriye bu orana göre yeni gelen fiyatlarda oluşan yanlış fiyatlamaların miktarını ölçmek kalır. Bu fiyat farklılığı akademik çalışmalarda Spread olarak adlandırılmaktadır. Koentegrasyon fiyatları için uzun vadede ilişkinin tekrar ortalamaya dönerek yanlış fiyatlamaların ortadan kalkması beklenir. Spread'in giderek artması iki sinyalin öncül göstergesi olabilir. İlki Spread'in yüksek değerlere çıkmasından ötürü fiyatlarda sert bir şekilde düzeltme görülebileceğidir. İkincisi ise artık ilişkinin faz değiştirmesinden kaynaklı olarak önceden belirlenen hedge oranı ile ortalamaya dönen stratejinin sürdürülemeyeceğidir. Aşağıda ortalamadan Spread'in standart sapmasının 2.1 katı kadar uzaklaştığı durumlar için alınacak pozisyonları gösteren temsili bir şekil yer almaktadır.

$$Spread = y - hx \quad (3.5)$$

h: Hedge Oranı



Şekil 5 EWZ/TUR için Spread, Hareketli Ortalama ve Alış/Satış Seviyeleri

3.2.3. Örneklem Dışı

Pair trading stratejisinin gerçek performansı örneklem dışı üzerinden elde edilen sonuçlara bakılarak görülebilir. Çünkü ideal hedge oranı hesaplanırken; geçmiş tarih aralığı kullanılmış, yani yanlış sonuçların çıkması önlenmiştir. Örneklem kümesinden elde edilen hedge oranı ve Spread değerleri, bu kümede z-skorun hesaplanmasında referans olarak kullanılmıştır.

Bu noktada pair trading stratejisi sonrası elde edilen sonuçların istenenden

farklı çıkması durumunda; stratejinin sadece sınırlı bir küme için istenen seviyede çalışabildiği, diğer zaman aralıkları için zayıf performans gösterdiği anlamı çıkarılabilir. Çünkü referans olarak alınan 2011-2013 yılları için hesaplanmış hedge oranı, 2014-2015 tarihleri için aynı performansı (koentegre ilişkiyi) sürdüremeyebilir. Konuyla ilgili karşılaştırmalı hedge oranı tablosu Bulgular ve Tartışma Bölümünde yer almaktadır (Tablo 5).

Tüm süreç düşünüldüğünde, portföyler için öncelikle koentegrasyon testleri yapılmış, sonrasında hedge oranını ve Spread değerleri hesaplanmıştır. Sonraki aşamada ise pozisyonların giriş ve çıkış seviyelerini belirlemek için gereken z-skor değerleri hesaplanmıştır. Tüm bu aşamalar Şekil 2’de detaylı olarak gösterilmiştir.

İlişkiden sapma miktarını gösteren Spread tek başına pozisyon almak için yeterli değildir. Çünkü hedge oranı hesaplanırken kullanılan Johansen Test’te, ilişki modelinde sabit terimin ve trend ilişkisinin olabileceği varsayılmıştır. Bu nedenle giriş sinyali için Spread’in istatistiksel dağılımını gözlemleyip, kendi seyrinden gerçekleşen aşırı sapmalarda pozisyon açılabilir. Bunun için de normalize edilmiş sapma değerlerini gösteren z-skor kullanılmalıdır.

Z-skor, Spread ile Spread’in hareketli ortalaması arasındaki farkın Spread’in hareketli standart sapmasına bölünmesiyle hesaplanır (3.6). Böylelikle Spread’in hareketli ortalamadan kaç standart sapma kadar uzaklaştığı zaman çizelgesinde görülür (Şekil 7).

$$Zskor = (Spread - ma_w(Spread))/std_w(Spread) \quad (3.6)$$

ma: Hareketli Ortalama

std: Standart Sapma

w: Pencere Büyüklüğü

Hareketli ortalama ve standart sapma kullanımının başlıca nedeni de modelde trend ilişkisini gösteren değerin, z-skor hesaplamalarında göz önünde bulundurulması gerekliliğidir. Bir başka önemli katkısı da, Algorithmic Trading kitabında bahsedildiği üzere ekonomik koşulların ilişkide yaratabileceği uzun vadeli yavaş değişimlerinin göz önüne alınarak, değişimlere adapte olabilen bir z-skor hesaplanmasıdır (Chan, 2013: 66). Bu nedenle z-skordan önce her ne kadar koentegrasyon testi yapılmış olsa da sabit ortalama ve standart sapma kullanılmayarak performansta artış hedeflenmiştir. Z-skor belirlenen giriş seviyesi kadar standart sapmanın üstüne (satış) veya altına (alış) indiği durumlarda varlıklar için alım/satım kararları aşağıdaki değerlere göre alınmıştır:

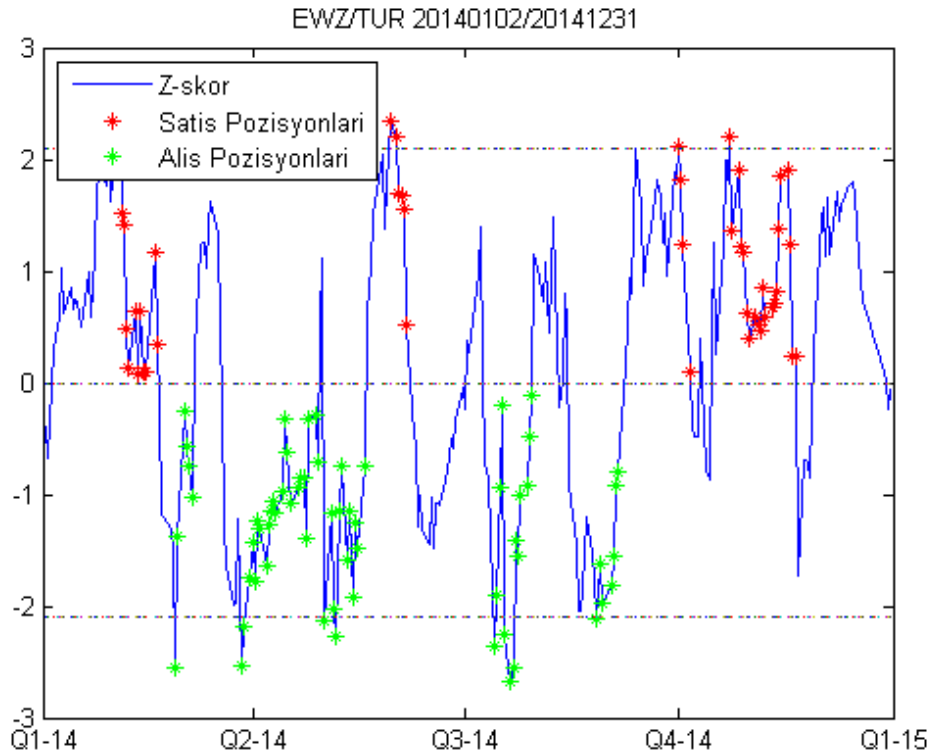
$$x \text{ için Karar} = -Nh \quad (3.7)$$

$$y \text{ için Karar} = N \quad (3.8)$$

N: Spread'e göre Alınan Pozisyonun Yönü

Stratejinin piyasaya doğrudan uygulanabilirliği açısından, anlık olarak Spread'in hareketli ortalamadan kaç birim standart sapma uzakta olduğunu tespit edip, buna göre alım/satım kararı verebilmek için Bollinger Band yöntemi kullanılmıştır. Bollinger Band yöntemine göre giriş ve çıkış standart sapma uzaklıkları ve kaç günlük hareketli ortalamaya göre işlem açılacağı optimize edilmesi

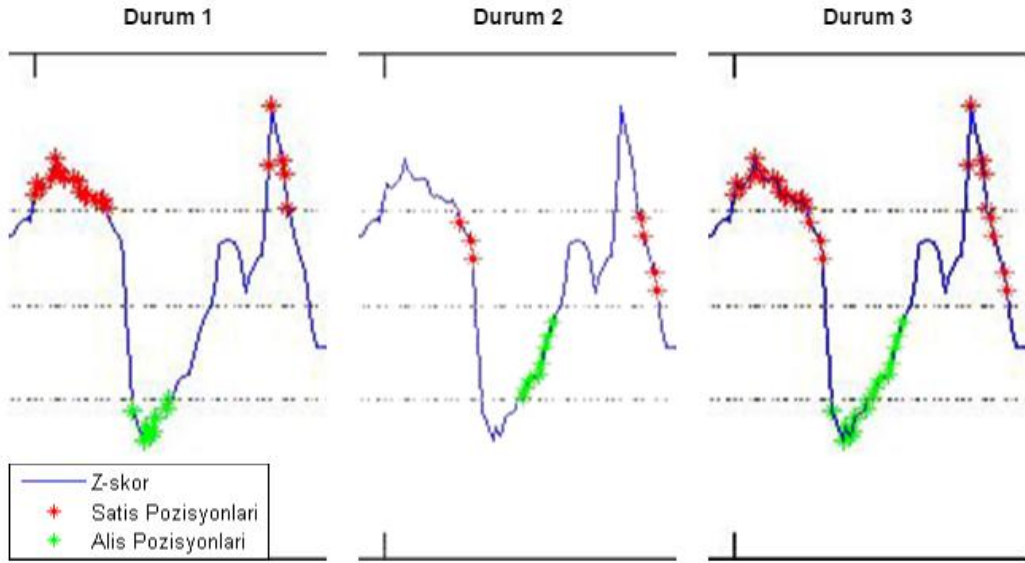
gereken parametrelerdir. Tezde pair trading stratejisi haftalık (5 günlük), aylık (20 günlük), 6 aylık (120 günlük) ve yıllık (250 günlük) olmak üzere 4 farklı hareketli ortalama değeri için test edilmiştir. Giriş ve çıkış sinyallerine doğrudan etki eden misli standart sapma girişleri için 0.1'den 3.1'e kadar 0.2 aralıklarla 16 farklı değer test edilmiştir. Çıkış için ise sıfır standart sapma farkı kullanılmıştır, yani ortalamaya dönen açık işlemler kapatılmıştır. Bu testlerin sonucu ve optimum parametreler Tartışma ve Bulgular bölümünde detaylı ele alınmıştır. Aşağıda EWZ ve TUR için 2.1 misli standart sapmaya ve aylık (20 günlük) hareketli ortalamaya göre Bollinger Band yöntemini gösteren temsili bir şekil yer almaktadır.



Şekil 6 EWZ/TUR için Z-skor ve Alış/Satış Seviyeleri

Bollinger Band'a göre işlemler açılırken üç farklı alternatif için giriş noktası tanımlanabilir. Bunlar satış (alışta tersi) işlemleri için:

1. Giriş seviyesi yukarı yönlü aşıldığı zaman ve tekrar giriş seviyesine gelindiğinde işlem kapatılırsa (Durum 1)
2. Giriş seviyesi aşağı yönlü geçildiği zaman ve tekrar ortalamaya döndüğünde işlem kapatılırsa (Durum 2)
3. Giriş seviyesi yukarı yönlü aşıldığı zaman ve tekrar ortalamaya dönüldüğünde işlem kapatılırsa (Durum 3)



Şekil 7 Z-skora göre Giriş ve Çıkış Sinyalleri

Tez boyunca tanımlanan bu üç durum için de pair trading stratejisi çalıştırılmıştır. Ancak sonuçların 3 numaralı durum için tüm varlıklar ve birleşik getiriler göz önüne alındığında daha pozitif çıktığı görülmüştür. Aynı zamanda Quantitative Trading ve Algorithmic Trading kitaplarında yer alan stratejilerde 3 numaralı durum kullanılmaktadır (Chan, 2008, 2013). Bu iki sebepten ötürü tüm durumlar optimizasyona dahil edilmemiş, strateji sadece 3 numaralı duruma göre çalıştırılmıştır.

3.2.4. Performans Ölçme

Geri testte, inşa edilen algoritmayı yani kuralları belirlenen stratejinin performansını test ederken ki hedeflerden biri de stratejinin uygulandığı zaman için, kümülatif yıllık getirisini hesaplamaktır. Bir diğer önemli performans kriteri olarak da Sharpe oranına bakılabilir.

Tez boyunca oluşturulan pair trading stratejisi için 2014 ile 2015 yılları arasında portföylerin elde ettiği getiriler ve buna bağlı birleşik getiriler ile Sharpe oranı aşağıda yer alan formüllere göre hesaplanmıştır. Getiri hesaplamalarına işlem maliyetleri de dahil edilmiştir. Bu sayede geri test ile elde edilen sonuçların gerçek piyasa koşullarını yansıtması hedeflenmiştir. Ne var ki işlem maliyetleri pozisyon açılan varlık türüne göre oldukça farklılık gösterebilmektedir, bu konu Bulgular ve Tartışma bölümünde detaylı ele alınmıştır. Tez süresince yazılan kodda pozisyon açma ve kapatma maliyetleri 5'er baz puan olarak belirlenmiştir. İşlem maliyetleri

için Quantitative Trading kitabı referans alınmış, kitapta yer alan stratejilerde S&P 500 hisseleri için toplam pozisyon açma ve kapatma maliyetinin 10 baz puan üzerinden hesaplandığı görülmüştür (Chan, 2008: 23). Aşağıda yer alan şekilde EWZ ve TUR için işlem maliyetlerinin de dahil edildiği pair trading stratejisi için bir senelik birleşik getiri gösterilmektedir.

$$Getiri_t = \frac{(-Nh_x)_{t-1}R_{tx} + (Ny)_{t-1}R_{ty}}{|(-Nh_x)_{t-1}| + |(Ny)_{t-1}|} \quad (3.9)$$

$$GetiriMal = Getiri - İşlem Maliyetleri \quad (3.10)$$

$$Birleşik Getiri = \prod_{t=1}^T (1 + GetiriMal_t) - 1 \quad (3.11)$$

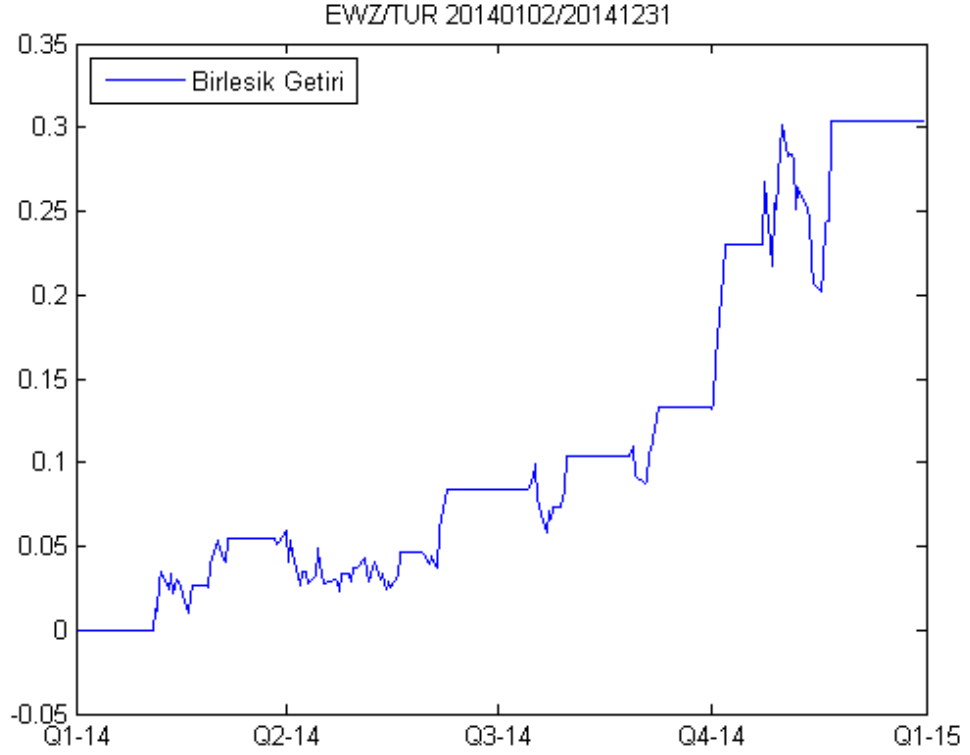
$$Sharpe Oranı = \sqrt{252} * mean(GetiriMal) / std(GetiriMal) \quad (3.12)$$

R_x: x için Getiri

R_y: y için Getiri

T: Toplam Gün Sayısı

t: Gün



Şekil 8 EWZ/TUR için Pair Trading Stratejisine göre Birleşik Getiri

Sonraki adımda tez boyunca benchmark olarak kullanılan S&P 500 için 2014 ile 2015 yılları arası birleşik getiri hesaplanmıştır. Hesaplanan birleşik getiri değerleri bir yıllık getiriyi kapsadığı için aşağıda yer alan yıllık getiri formülüyle de aynı sonucu vermektedirler. Daha sonra yine pair trading ile S&P 500'ün performansını kıyaslamak üzere Sharpe oranı hesaplanmıştır.

$$YillikGetiri = \prod_{t=1}^T (1 + GetiriMal_t)^{252/T} - 1 \quad (3.13)$$

3.2.5. Algoritma Test Platformu

Piyasalara yönelik algoritma programlamada kullanılacak çok çeşitli program ve kodlama dilleri mevcuttur. Dizayn edilen algoritma Java, C++, C#, R, Python ve MATLAB gibi çeşitli dillerde kodlanabilir. Bu diller finans piyasaları için yazılmış birçok stratejide kullanılmalarından mütevellit çeşitli ekonometri kütüphanelerine, uygulama programlama ara yüzlerine (API) ve tümleşik geliştirme ortamlarına (IDE) sahiptirler.

Tez süresince oluşturulan pair trading stratejisinin kodlanacağı program için en uygun platformun MATLAB olduğu düşünülmüştür. Çünkü MATLAB çok büyük miktarda veri ile çalışma kabiliyetine, matematiksel olarak karmaşık olan görevleri hızlı gerçekleştirebilmeye ve hata ayıklama kolaylıklarına sahiptir. Bunların yanı sıra MATLAB için yazılmış birçok ekonometri kütüphanesi mevcuttur. Literatürde de sıkça kütüphanelerinin kullanıldığı görülen Spatial Econometrics'in (2015) ekonometri sınıfları, tez süresince yazılan stratejide yararlanılmıştır. Tüm bu gerekçelerden ötürü MATLAB'ın Econometric, DataFeed ve Trading Toolbox'larına sahip R2014b sürümü kullanılmıştır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Veri

Pair trading stratejisinin performansı geçmiş zaman verisi üzerinde test edilerek gözlemlenmiştir. Bu nedenle çalışılan geçmiş zaman verisinin hatasız yani, o günkü kapanış fiyatlarını birebir yansıtması gereklidir. Çünkü kapanış fiyatlarındaki herhangi istenmeyen bir hata (gürültü) stratejinin beklenmeyen bir zaman aralığı için pozisyon alıp kapatmasına yol açabilir. Bu da sonuçların yanıltıcı olmasına sebep olur. Bu nedenle güvenilir bir veri sağlayıcı ile çalışmak oldukça önemlidir. Tezde bu sebeplerden ötürü Yahoo Finance'ın (2015) geçmiş zaman veri seti kullanılmıştır.

Üzerinde çalışılan verinin gürültüsüz olmasının yanı sıra, dikkat edilmesi gereken bir diğer konu da hisse senedi bölünmesi ve temettü dağıtımını göz önünde tutmaktır. Çünkü hisse senedi bölünmesinde ve temettü dağıtımında hisse senedi fiyatlarında bir düşüş gözlemlenir. Ancak elinde o şirketin hisse senedi olan bir kişi için ya elindeki hisse senedi sayısı artmış olacaktır ya da dağıtılan temettüden ötürü hesabında bir artış göreceği için reelde varlık fiyatının düşmesinden etkilenmeyecektir.

Varlık fiyatlarındaki bu anlık düşüşü hesap etmeden geçmiş zaman verisi üzerinde çalışmak hatalı alım/satım sinyallerine yol açacağı için yazılan programın geçerliliğinin sorgulanmasına neden olur. Neyse ki bu sorunun üstesinden gelmek için veri sağlayıcıların bir kısmı düzeltilmiş fiyatları da yayınlamaktalar. Yahoo Finance'ın (2015) veri setinin tercih edilmesinin bir diğer nedeni de hisse senedi ve yatırım fonları için düzeltilmiş kapanış fiyatlarını sağlamasıdır.

Bir diğer önemli konu da açığa satış kısıtıdır. Tez boyunca yazılan alım/satım stratejisinde hisse senetleri için herhangi bir açığa satış kısıdının olmadığı varsayılmıştır. Ancak zaman zaman hisse senetlerini açığa satmak ekstra maliyetli veya imkan dışı olabilir. Çünkü eğer çalışılan aracı kurum bizim için yeteri kadar hisse senedini satış için ödünç alamıyorsa bazen bunu ek maliyetler ile gerçekleştirebilir.

Açığa satış kısıdı, çok fazla açığa satışı gerçekleşmiş olan hisse senetlerinde görülebilir. Örneğin 2008-2009 yıllarında ABD'de gerçekleşen Lehman Brothers krizinde SEC finans piyasasında işlem gören tüm hisse senetleri için açığa satış

emirlerini birkaç ay için yasaklamıştır. Hatta SPY gibi bazı yatırım fonları için bile aynı dönemde açığa satış yasağı getirilmiştir (Chan, 2013: 29). Dolayısıyla geri test programında bu dönemler için yapılan satış emirleri gerçeği yansıtmayabilir.

Bu sorunu olabildiğince gidermek adına tez boyunca incelenen şirketlerin küçük ölçekli şirketler olmamasına dikkat edilmiştir. Çünkü kriz zamanları dışında da, açığa satışlarda en çok zorlanan firmalar piyasa değeri küçük olan firmalardır (Chan, 2013: 29). Ayrıca yine açığa satış kısıtından etkilenmemek için 2011 ile 2015 yılları arası incelenerek kriz yılları (mortgage krizi) sonrasını içeren zaman verisi ile çalışılmıştır.

Kriz yıllarının piyasalarda yüksek oynaklığa ve neticesinde yapısal kırılmalara yol açtığı literatürdeki çalışmalarda görülmüştür (Fung vd. 2010). Bu nedenle yapısal kırılmaların önüne geçebilmek için örneklem kümesi 2011 ile 2015 yılları arasını kapsayacak şekilde sınırlı tutulmuştur.

Tezde kullanılan yatırım fonları (ETF'ler) için hem alım hem satım emirlerinin piyasada verilebildiği varsayılmıştır. Ancak istenilen ETF'de satış emiri verebilmek için gerçek borsa hesabı düşünüldüğünde, ters pozisyonlu ETF'inin seçilerek alım yönünde pozisyonun açılması gerekmektedir. Çünkü ETF'ler için sadece alım emirleri piyasalara yollanabilmektedir.

4.2. Geri Test

Geri test algoritmasında yapılacak herhangi bir hata, stratejinin performansında ciddi sapmalara yol açabilir. Bu nedenle de algoritmanın tasarlanmasından kodlanmasına kadar tüm süreç için hatalar titizlikle ayıklanmıştır.

Pair trading stratejisi için gerekli olan ADF Test, Johansen Test ve ECM gibi karmaşık istatistiksel hesaplamalar için Spatial Econometrics'in (2015) internet sitesinde yer alan kütüphaneler kullanılmıştır. Aynı zamanda durağanlık testi için MATLAB'ın (2015) Econometrics Toolbox'unda yer alan kodlardan da yararlanılmıştır. Benzer istatistiksel hesaplamalar için Eviews programı da kullanılabilirdi. Ancak tüm kodlama süreci MATLAB kullanılarak aynı platformda gerçekleştirilmiştir. Bunlar verinin çekilmesi, istatistiksel testlerin yapılması, pair trading stratejisinin veri üzerinde koşturulması ve sonuçların rapor edilmesi gibi adımları kapsar. Tüm bu özellikleri bir arada sunabildiği için MATLAB tercih edilmiştir.

Pair trading stratejisini kodlarken dikkat edilmesi gereken hususların başında performansı ciddi şekilde yanıltabilecek olan geleceği görme sorunu yer alır. İkili işlem algoritmalarında kolaylıkla yapılabilen bu hata; stratejiyi geçmiş zaman verisiyle test ederken görece gelecek zaman verisini de kullanmaktan ortaya çıkar (Chan, 2013: 22). Bir başka deyişle bu soruna programın alım/satım sinyallerini oluşturduğu sırada, henüz gerçekleşmemiş veriyi de göz önünde bulundurarak işlem açması sebep olur. Bu hata gelecek zaman verisini kullanarak bugün için tahmin

yapmaktır. İşlem açmak için stratejinin aynı günün en yüksek ve en düşük fiyat seviyelerini kullanması örnek olarak verilebilir. Çünkü henüz işlem saati bitmeden varlığın o gün için gördüğü en yüksek ve en düşük fiyat seviyelerini bilmemiz imkansızdır.

Tez boyunca yazılan kodda böyle bir sorun yoktur. Çünkü bu amaçla mevcut veri farklı kümelerle ayrılmış; hedge oranı, Spread ve z-skor birbirini görmeyecek şekilde strateji kodlanmıştır.

Geri test programını yani pair trading stratejisini kodlarken olabildiğince az parametreyle çalışan bir algoritmaya sahip olmasına dikkat edilmiştir. Çünkü çok fazla parametreye bağlı çalışan bir strateji aslında sadece optimize edildiği geçmiş zaman verisi için pozitif sonuçlar verebilir. Test edildiği zaman verisine aşırı uyumlu hale gelen stratejinin başka bir zaman verisi üzerinde koşturulduğunda başarısız olması kaçınılmazdır.

Tez boyunca kodlanan algoritma sadece iki parametre optimizasyonuna ihtiyaç duymaktadır. Bunlardan ilki giriş seviyesini belirleyen z-skor değeri, ikincisi de geçmiş Spread değerlerine referans olarak alınan; Spread'in hareketli ortalamasının pencere büyüklüğüdür.

Bu iki parametre için Ek 8'de görüldüğü üzere duyarlılık testi kodlanmıştır. Duyarlılık testinde, her parametre değişikliği için elde edilen getirilerin standart sapmalarının ortalaması karşılaştırılmıştır. Tablo 4'de görüldüğü üzere strateji giriş seviyesi olarak kullanılan z-skor değerine nazaran çoğunlukla hareketli ortalamanın

pencere büyüklüğüne daha çok duyarlıdır. Farklı z-skor değerleri ve pencere büyüklükleri kullanıldığında EWZ/TUR'da yaşanan performans değişiklikleri Şekil 11'den görülmektedir. Bu sorunun üstesinden gelmek için Chan (2008: 60) gerçek hayatta mevcut işlem sermayesini farklı parametre değerleriyle çalışan stratejilere dağıtarak pozisyonların alınabileceğini önermektedir. Bu gerekçeyle oluşturulan portföy sayesinde alınan riskler dağıtılabılır.

Geri testin performansını değerlendirirken dikkat edilmesi gereken bir diğer konu da kullanılan işlem maliyetleridir. İşlem maliyetleri çok farklı parametrelere bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Tezde her işlem maliyeti için getiriden 5 baz puan düşülmüştür. Bu değer Chan'ın (2008: 61) ortalamaya dönen stratejilerinde kullandığı değerdir. Ancak 5 baz puan olarak geri testte varsayılan bu değer, gerçek hayatta Interactive Brokers'ın (2015) kaynaklarına göre Tablo 1'de yer alan değerlere göre değişkenlik gösterebilir.

Tablo 1 İşlem Maliyetinin Bağlı Olduğu Değişkenler

Değişkenler

Varlık Tipi
İşlem Gördüğü Borsa
Pazarlana birirlik
İşlemin Yönü
İşlemin Büyüklüğü
İşlem Gördüğü Fiyat
Dayanak Varlık
İşlemin Açıldığı Gün
İşlemin Açıldığı Saniye
Emir Tipi
Ortalama Delta Değeri

Pair trading stratejisinde pozisyonları kapatmak için literatürde çeşitli çıkış stratejilerinin kullanıldığı görülmektedir. Bunlar; giriş seviyesinden daha düşük bir z-skor için pozisyonların kapatılması, sabit gün sayısı belirleyip daha uzun süreli açık kalan pozisyonların kapatılması, hedef getiri belirleyip bu miktara ulaşıldığında işlemlerden çıkılması, hedef fiyat belirleyip bu fiyata ulaşılan kadar pozisyonların açık kalması veya Ornstein ve Uhlenbeck (1930) formülüne göre hesaplanan yarı ömürler referans alınarak işlemlerin kapatılması olarak sıralanabilir (Chan, 2008: 140; Johnson, 2010).

Ornstein ve Uhlenbeck (1930) formülü kullanılarak çıkış stratejisi oluşturulduğunda birleşik getirinin beklenin (optimum birleşik getirinin) oldukça

altında çıktığı görülmüştür. Diğer alternatif çıkış metotlarının kullanılması durumunda ise sisteme yeni bir parametrenin dâhil olması kaçınılmazdır. Bu nedenle parametre sayısını olabildiğince düşük tutmak adına, tezde geliştirilen pair trading stratejisinde pozisyonları kapatmak için Spread'in ortalamaya geri döndüğü noktalar beklenmiştir. Bu z-skorun sıfır çizgisine ulaştığı nokta olarak da tasvir edilebilir.

4.3. Pair Trading Stratejisi

Pair trading stratejisi NYSE ve NASDAQ'da işlem gören toplam 26 farklı varlık için ve toplamda 17 ikili varlık için test edilmiştir. Bunların içerisinde 17 (EWA, EWC, EWZ, DBP, DIA, GDX, GLD, SLV, SPY, TUR, UNG, USO, XLE, XLF, XLK, XLP, XLV) adet yatırım fonu yer almaktadır. Geri kalan varlıkların 9'unu (AAPL, BP, C, GOOGL, JNJ, JPM, PFE, WMT, XOM) hisse senetleri oluşturmaktadır. Bu anlamda tez boyunca ülke, emtia ve sektör olmak üzere çok farklı alanlarda işlem gören varlıklar için pair trading stratejisi test edilmiştir.

Giriş çıkış kuralları belirlenmiş ve varlıklar eşleştirilmiş olsa dahi, stratejinin performansını test etmeden önce durağanlık ve koentegrasyon testleri yapılmıştır. ADF testine göre varlıkların 2011 ile 2013 yılları arasındaki durağanlık boyutları Tablo 2'de listelenmiş ve t-istatistiklerine göre sıralanmıştır. Belirlenen tarih aralığında British Petroleum (BP) ve enerji endeksi yatırım fonu (XLE) için yüzde 95, değerli metaller yatırım fonu (DBP) için ise yüzde 90 durağanlık tespit edilmiş geri kalan varlıklar için istatistiksel olarak anlamlı bir sonuç çıkmamıştır. Bu nedenle

BP, XLE ve DBP varlıklarının fiyatları tek başına Spread olarak düşünülebilirdi. Bu değere göre alım/satım yapılarak işlem maliyetleri çıkarıldıktan sonra elde edilen gelirler hesaplanabilirdi. Ancak tez boyunca yazılan kod ve dizayn edilen algoritma eşleştirilen ikili varlık fiyatlarına göre çalışmaktadır. Tek varlık fiyatına göre alım/satım yapan pair trading stratejisi bu çalışmaya dâhil edilmemiştir.

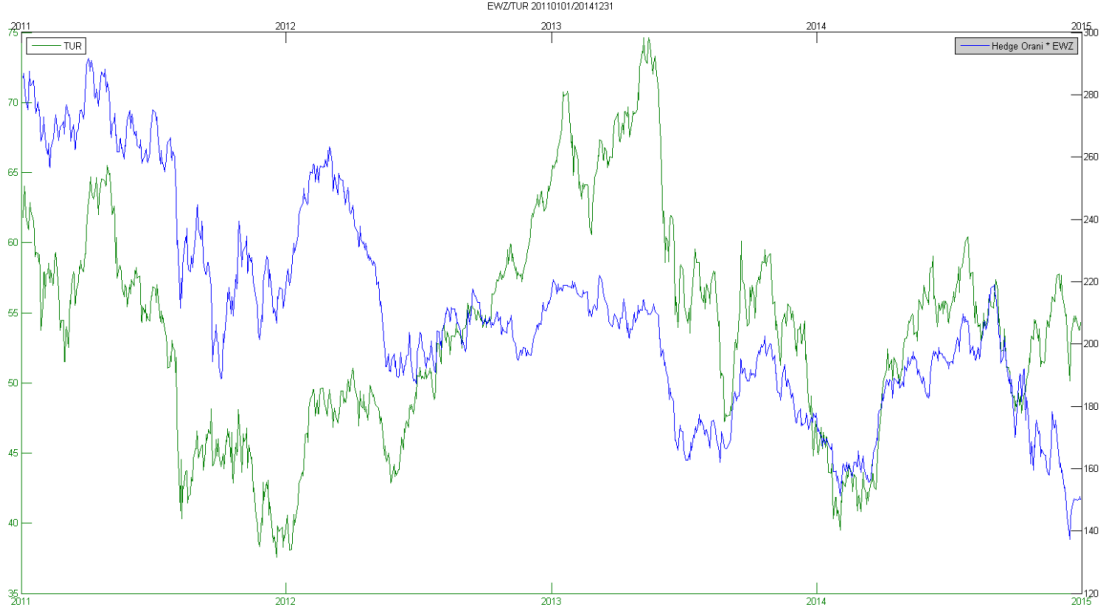
Tablo 2 ADF Durağanlık Test Sonuçları

<i>Portföyler</i>	<i>T-İstatistikleri</i>	<i>Portföyler</i>	<i>T-İstatistikleri</i>
BP	-3,027**	JPM	-1,613
XLE	-3,014**	SPY	-1,523
DBP	-2.691*	XLF	-1,508
SLV	-2,367	XLK	-1,488
EWA	-2,341	TUR	-1,426
GLD	-2,280	GOOGL	-1,417
XOM	-2,220	UNG	-1.313
C	-2,089	AAPL	-1,128
EWC	-2,059	JNJ	-1,121
GDX	-2,046	XLP	-1,077
USO	-1.968	XLV	-0,991
EWZ	-1,955	PFE	-0,741
DIA	-1,753	WMT	-0,689

Not: ***, **, * sırasıyla yüzde 99, 95 ve 90 durağanlık olasılıklarını gösterir.

Durağanlık testinin ardından Johansen Koentegrasyon testi yapılmış ve bu sayede eşleştirilen varlıkların ilişkisi gözlemlenmiştir. Johansen Koentegrasyon testi sabit terim ve trend ilişkisini varsayan versiyonu ile çalıştırılmıştır. Bu noktada amaç

ilişkiyi en yakın şekilde yansıtabilecek regresyon modelini kullanarak performansı arttırmaktır. Aşağıda yer alan şekil bu modele göre 2011 ile 2013 arası için hesaplanan hedge oranının, gelecekteki bir zaman dilimi için (2013-2015) uygulandığında ilişkiyi çok iyi tahmin edebildiğini göstermektedir.



Şekil 9 EWZ ve TUR Arasındaki İlişkinin Hedge Oranı ile Tespiti

Aşağıda yer alan Tablo 3 de Johansen Koentegrasyon testinin sonucu yer almaktadır. Bu sonuca göre toplam 17 ikili varlık portföyünden sadece 4'ü yüzde 95 oranında test edilen yıllar (2011-2013) için koentegre ilişkiye sahiptir. Aynı zamanda tabloda varlıkların portföydeki ağırlıklarını gösteren hedge oranları da yer almaktadır.

Tablo 3 Johansen Koentegrasyon Test Sonuçları

<i>Portföyler</i>	<i>T-İstatistikleri</i>	<i>Hedge Oranları</i>
XLE/XOM	22.964**	1.494
XLE/BP	21.931**	0.56
XLV/PFE	21.579**	0.827
EWA/EWC	18.584**	1.258
XLP/WMT	15.956	8.754
XLV/JNJ	15.727	0.036
GLD/GDX	14.639	0.214
GLD/SLV	14.201	-0.047
DBP/SLV	14.160	-0.169
DBP/GLD	14.097	3.560
XLK/GOOGL	12.717	-9.252
SPY/DIA	11.838	0.505
USO/UNG	10.821	-2.834
XLFF/JPM	10.814	3.437
EWZ/TUR	10.552	4.108
XLK/AAPL	9.757	9.329
XLFF/C	6.75	5.22

Not: ***, **, * sırasıyla yüzde 99, 95 ve 90 koentegrasyon olasılıklarını gösterir.

Sonuç olarak koentegrasyon tablosuna bakıldığında sadece bu 4 portföy için pair trading stratejisinin takip eden yıllarda olumlu sonuçlar vereceği tez süresince beklenmekteydi. Ancak beklenenin aksine pair trading stratejisi sonrası elde edilen birleşik getiri (BGetiri) ile koentegrasyon ilişkisinin gücünü gösteren t-istatistiği (T-İstat) arasında herhangi bir ilişkinin olmadığı görüldü.

Tablo 4 Pair Trading Stratejisinin Sonuçları

Sıralama	Pariteler	BGetiri	SR	S&P500BGetiri	S&P500SR	T-İstat	ZSkor	Pencere	Duyarlılık	MaxDD	MaxDDD	PozSay
Sektör												
2014.01.01 - 2015.01.01												
2	XLK/GOOGL	0.19	1.38	0.12	1.09	16.29*	1.3	5	Pencere	-0.09	114	42
3	XLK/AAPL	0.12	2.01	0.12	1.09	23.14**	1.7	20	Pencere	-0.05	143	14
4	XLV/PFE	0.11	2.08	0.12	1.09	24.99***	1.7	20	Pencere	-0.04	111	16
6	XLE/BP	0.10	2.04	0.12	1.09	12.59	2.5	250	Pencere	-0.03	34	2
7	GLD/GDX	0.08	0.78	0.12	1.09	13.24	1.1	250	Pencere	-0.09	59	4
8	XLV/JNJ	0.08	1.04	0.12	1.09	12.45	2.5	20	Zskor	-0.05	129	5
11	XLE/XOM	0.04	1.32	0.12	1.09	9.08	2.5	250	ZSkor	-0.02	24	2
13	XLP/WMT	0.04	0.90	0.12	1.09	14.85	2.1	20	Pencere	-0.05	124	9
13	SPY/DIA	0.03	1.29	0.12	1.09	19.32**	0.7	120	Pencere	-0.02	61	10
14	XLFC	0.03	0.93	0.12	1.09	19.03**	2.1	20	ZSkor	-0.02	61	8
15	XLFP	0.03	0.88	0.12	1.09	20.83**	1.3	120	Pencere	-0.03	128	6
Emtia												
2014.01.01 - 2015.01.01												
5	GLD/SLV	0.10	0.60	0.12	1.09	13.78	0.1	5	Pencere	-0.28	229	59
10	DBP/SLV	0.07	0.44	0.12	1.09	13.61	0.1	5	Pencere	-0.29	229	58
16	DBP/GLD	0.00	0.16	0.12	1.09	14.31	3.1	250	ZSkor	-0.01	14	1
17	USO/UNG	-0.23	-2.75	0.12	1.09	8.94	1.9	5	ZSkor	-0.43	230	8
Ülke												
2014.01.01 - 2015.01.01												
1	EWZ/TUR	0.30	1.99	0.12	1.09	5.94	2.1	20	ZSkor	-0.08	45	9
9	EWA/EWC	0.08	1.41	0.12	1.09	14.59	1.5	120	Pencere	-0.04	38	5

Not: ***, **, * sırasıyla yüzde 99, 95 ve 90 koentegrasyon olasılıklarını gösterir. **Koyu** ile gösterilen pariteler için S&P 500'ün üzerinde birleşik getiriye ve sharpe oranına sahip performanslar elde edilmiştir.

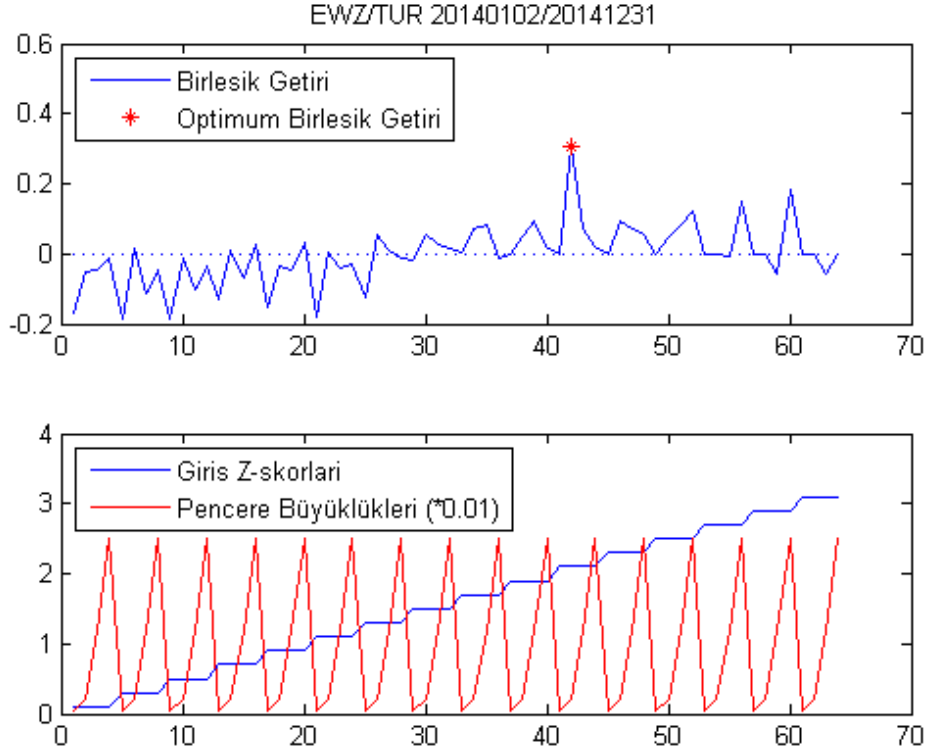
Stratejinin optimum parametrelere göre sonuçlarını gösteren tablo 4 incelendiğinde, EWZ/TUR, XLK/GOOGL ve XLK/AAPL için 2014 ile 2015 yılları arası elde edilen sonucun birleşik getiri (BGetiri) ve Sharpe oranı (SR) açısından S&P 500'ün üzerinde bir performans gösterdiği görülmüştür. EWZ/TUR'un elde ettiği birleşik getiri performansı S&P 500'ün oldukça üzerinde çıkmıştır. Ayrıca bu üç portföy 1'in üzerinde ve genel olarak 2'ye oldukça yakın Sharpe oranlarıyla oldukça düşük risk değerlerine sahiptirler. Ancak geri kalan 11 portföy birleşik getiri anlamında aynı performansı gösterememiştir.

Sonuçlar sektör, ülke ve emtia bazında incelendiğinde ise emtialar kullanılarak oluşturulan portföylerin birleşik getiri açısından görece düşük performans sergilediği görülmektedir. Sharpe oranı açısından sonuçlar değerlendirildiğinde ise yine sektör ve ülke portföyleri daha yüksek performanslar gösterebilmişlerdir. Ayrıca S&P 500'e kıyasla sektör ve ülke portföylerinin daha düşük risk değerlerine (Sharpe oranlarına) ulaşabildiği görülmektedir.

Tasarlanan pair trading stratejisinin z-skor giriş seviyesine ve hareketli ortalamanın pencere büyüklüğüne duyarlı olmasından hareketle, bu iki parametre için belirlenen tüm değer aralıklarında strateji test edilmiştir. Tablo 4'te optimum parametrelere göre stratejinin elde ettiği birleşik getiriler ve Sharpe oranları görülmektedir. Z-skor giriş seviyesini belirten 'ZSkor' ve hareketli ortalama pencere büyüklüğünü gösteren 'Pencere' değerleri için de optimum parametreler tabloda yer almaktadır.

Z-skor giriş seviyelerinin 0.1 ile 3.1 aralığı için test edildiği pair trading stratejisinde optimum değerlerin 1.3 ile 2.5 arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Pencere büyüklükleri için ise haftalık (5 günlük), aylık (20 günlük), 6 aylık (120 günlük) ve yıllık (250 günlük) değerler kullanılarak strateji çalıştırılmıştır. Yüksek performans gösteren portföyler baz alındığında haftalık ve aylık değerler seçildiğinde optimum değerlere ulaşılabildiği tespit edilmiştir.

Test edilen toplam 64 parametre kombinasyonu için birleşik getiri grafiğini ve optimum değeri gösteren Şekil 11 aşağıda yer almaktadır. Şekil üzerinden EWZ/TUR özelinde performans değerlendirildiğinde, parametre kombinasyonundaki en ufak değişimin sonuca oldukça etki ettiği görülmektedir. Ancak genel olarak getirinin 20 pencere büyüklüğü ve 1.5 standart sapmadan büyük değerler için pozitif sonuç verdiği görülebilmektedir. Parametre seçiminin benzer şekilde diğer portföyler için de getiri performansında büyük farklılıklara yol açabildiği tespit edilmiştir.



Şekil 10 Birleşik Getiri İstatistiği

Pair trading stratejisinin bu iki parametreden hangisine daha duyarlı olduğunu tespit etmek için duyarlılık testi yapılmıştır (Ek 8). Standart sapmaların ortalamasının karşılaştırıldığı duyarlılık testinde, EWZ/TUR ikilisi için stratejinin giriş seviyesi farklılıklarına (ZSkor) daha duyarlı olduğu görülmüştür (Tablo 4). Yani pozisyonların alım/satım seviyesinde yapılacak bir değişiklik stratejinin performansında ciddi derecede değişimlere yol açabilir. Giriş seviyesinin performansta yarattığı bu etkiyi Şekil 11’den de görmek mümkündür.

Sonuç olarak pair trading stratejisi ile günlük zaman verisi kullanılarak optimum parametrelerle bile 17 portföyden sadece 3 tanesinin S&P 500'ü getiri ve Sharpe oranı açısından alt edebildiği görülmüştür. Strateji daha yüksek frekansta zaman aralıkları için de denenebilir ve sonuçlar günlük kapanış fiyatları ile karşılaştırılabilir. Yüksek frekansta çalışılarak büyük sayılar yasasına göre daha yüksek Sharpe oranlarına kolaylıkla ulaşılabilir (Chan, 2008: 151). Öte yandan farklı piyasalarda işlem gören aynı tür varlıklar da karşılaştırmaya dahil edilebilir. Bu sayede tez boyunca geliştirilen pair trading stratejisi sayesinde piyasaların etkinliği birbirleriyle de kıyaslanabilir (örneğin, TKC, TCELL.IS).

Yazılan algoritmada hareketli ortalama kullanılarak ilişkinin yönünde oluşabilecek değişimlere karşı adaptasyon sağlanmıştır. Ancak pair trading stratejisi hedge oranlarının dinamik olarak güncellendiği bir yapıda da geliştirilebilirdi. Bu sayede iki varlık arasındaki ilişki sürekli güncellenerek hata payı oldukça düşük bir model oluşturulabilir. Ne var ki böyle bir durumda ikili arasındaki ilişkiden anlık sapmalar denkleme tekrar dâhil edilerek ilişkiden sapma sayısı yani kârlı işlem sayısı da düşürülmüş olur. Öte yandan hedge oranının çok uzun süreyle güncellenmediği bir pair trading stratejisinde ise ilişkinin olası değişimleri göz ardı edilmiş olur ve yine kârlı işlem sayısında düşüş gözlemlenir.

Hedge oranının hangi sıklıkla değişmesi gerektiği bu tezin araştırma konusu içerisinde yer almamaktadır. Ancak performans çıktılarının koentegrasyon ilişkisinin gücüne (t-istatistiğine) neden bağlı olmadığı ve hedge oranlarının dinamik olarak hesaplanması gerektiğini Tablo 5'ten görebilmek mümkündür. Örneklem kümesi

dışında kalan ve pair trading stratejisinin performansının ölçüldüğü 2014-2015 yılları için hesaplanan hedge oranlarının, stratejide kullanılan 2011-2013 yılları arası hedge oranlarıyla kıyaslandığında bazı portföyler için ciddi farklılıklar gösterdiği görülmüştür.

Tablo 4 Johansen Koentegrasyon Test Sonuçları Yıllara Göre

<i>2011-2013</i>	<i>T-İstat</i>	<i>Hedge Oranları</i>	<i>2014-2015</i>	<i>T-İstat</i>	<i>Hedge Oranları</i>
XLE/XOM	22.964**	1.494	XLV/PFE	24.999***	0.923
XLE/BP	21.931**	0.56	XLK/AAPL	23.143**	6.383
XLV/PFE	21.579**	0.827	XLF/JPM	20.825**	-4.534
EWA/EWC	18.584**	1.258	SPY/DIA	19.318**	18.956
XLP/WMT	15.956	8.754	XLF/C	19.026**	-6.622
XLV/JNJ	15.727	0.036	XLK/GOOGL	16.294*	297.109
GLD/GDX	14.639	0.214	XLP/WMT	14.854	4.360
GLD/SLV	14.201	-0.047	EWA/EWC	14.587	1.134
DBP/SLV	14.160	-0.169	DBP/GLD	14.311	2.269
DBP/GLD	14.097	3.560	GLD/SLV	13.778	0.368
XLK/GOOGL	12.717	-9.252	DBP/SLV	13.615	0.833
SPY/DIA	11.838	0.505	GLD/GDX	13.239	0.909
USO/UNG	10.821	-2.834	XLE/BP	12.591	0.423
XLF/JPM	10.814	3.437	XLV/JNJ	12.454	-2.787
EWZ/TUR	10.552	4.108	XLE/XOM	9.084	0.470
XLK/AAPL	9.757	9.329	USO/UNG	8.940	0.302
XLF/C	6.75	5.22	EWZ/TUR	5.943	0.576

Not: ***, **, * sırasıyla yüzde 99, 95 ve 90 koentegrasyon olasılıklarını gösterir.

Hatalardan ayıklama süreci geçilmiş ve stratejilerin performans çıktıları olumlu sonuçlanmış olsa dahi yine de sonuçlar geleceğe yönelik kesin bir kanıt niteliği taşımamaktadır. Çünkü olası küresel ölçekli değişimler veya ülkelerin ekonomik ve siyasi yapılarında gerçekleşebilecek herhangi bir rejim değişikliği göz önüne alındığında, geri testin performansı gelecek için garanti gösterilemez.

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ

Farklı sektörleri, ülkeleri ve emtiaları kapsayacak şekilde hisse senetleri ve yatırım fonları seçilerek pair trading stratejisinin sonuçları NYSE ve NASDAQ'da yer alan varlıklar için test edilmiştir. Sonuçlar S&P 500 endeksinin performansı ile karşılaştırıldığında 17 portföyden sadece 3'ünün bu getiri oranını geçtiği görülmüştür.

Pair trading stratejisinde performansın algoritmada kullanılan parametrelere oldukça duyarlı olduğu tez sonunda varılan en önemli sonuçlardan biridir. Strateji öncesi varlıklar belirlendikten sonra parametreler için optimizasyon yaparak, bu değerleri gelecek dönemlerde kullanmak performansa katkı sağlayabilir. Ancak bu noktada örneklem kümesi birden çok parçaya bölünerek aşırı optimizasyon ile

parametrelerde oluşabilecek yanlılık da giderilmelidir. Tezde optimize edilmesi gereken iki önemli parametre olduğu görülmüştür. Bunlardan stratejinin, giriş seviyesini belirleyen z-skor değerine, hareketli ortalamanın pencere büyüklüğüne nazaran daha fazla duyarlı olduğu tespit edilmiştir.

Bir diğer önemli sonuç da varlıkların arasındaki ilişkinin zamanla boyut değiştirdiğidir. Buna örnek olarak şirket özelinde yönetim kararları, sektör özelinde pazar hareketliliği veya ülke özelinde rejim değişikliği gösterilebilir. Bu yüzden de tespit edildiği üzere, portföylerin koentegrasyon gücünde yani t-istatistiğinde zamanla farklılıkların olabildiği görülmüştür. Bunun neticesinde de ilişkiyi açıklamak için kullanılan hedge oranı zamanla değişir ve stratejinin performansı bundan etkilenir.

Tez sonunda elde edilen önemli sonuçlardan bir diğeri de, belirli bir zaman aralığı seçilerek Johansen Koentegrasyon Testinin t-istatistiği değerlerine bakılarak ilerisi için portföyün performansını tahmin etmenin mümkün olmadığıdır. Bu nedenle, uzun dönemli ilişkiyi korumak adına eşleştirilen varlıkların ortak ekonomik paydalara sahip olması önemli bir rol oynamaktadır.

Sonuç olarak elde edilen birleşik getirilere bakıldığında pair trading stratejisi ile kâr elde etmenin oldukça güç olduğu görülmüştür. Varlık seçimi, incelenen dönem ve algoritmada kullanılan parametreler stratejinin performansında farklılıklara yol açabilmektedir. Bu nedenle sürekli ve dinamik bir optimizasyonun yapılması önemlidir.

Tüm bunların dışında geliştirilen pair trading stratejisi risksiz arbitraj için de kullanılabilir. Seçilen piyasaların etkinliğini test etmek için iki borsada da kote olmuş aynı şirketin hisse senetleri seçilebilir. Örneğin BIST ve NYSE’de işlem gören Turkcell için TKC ve TCELL.IS verileri kullanılarak risksiz arbitraj stratejisi test edilebilir (Hayrulloğlu, 2015). Bu sayede piyasa etkinlikleri de karşılaştırılabilir.

KAYNAKÇA

- Ahmet Cevdet Hayrulloğlu Kişisel Web Sitesi. “Algorithmic Trading,” <http://ahmetcevdet.com/algotrading> (Erişim Tarihi: 21.06.2015).
- Chan, E. P. 2008. *Quantitative Trading: How to Build Your Own Algorithmic Trading Business* (1. Baskı). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Chan, E. P. 2013. *Algorithmic Trading: Winning Strategies and Their Rationale* (1. Baskı). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Connors, L. ve C. Alvarez 2009. *High Probability ETF Trading: 7 Professional Strategies to Improve Your ETF Trading* (1. Baskı). New Jersey: Laurence A. Connors and Cesar Alvarez.
- Dunis, C., J. Laws ve B. Evans 2009. “Trading and Filtering Futures Spread Portfolios: Further Applications of Threshold and Correlation Filters,” *Journal of Derivatives & Hedge Funds* 15(4): 274-287.
- Enders, W. 1995. *Applied Econometric Time Series* (1. Baskı). New York: John Wiley & Sons.
- Engle, R. F. ve C. W. Granger 1987. “Co-integration and Error Correction: Representation, Estimation and Testing,” *Econometrica* 55(2): 251-276.
- Ernest P. Chan Blog Sayfası. “Quantitative Trading,” <http://epchan.blogspot.com.tr/> (Erişim Tarihi: 01.09.2014).
- EViews. “EViews Software,” <http://www.eviews.com/home.html> (Erişim Tarihi: 01.09.2014).

- Foresti, P. 2006. "Testing for Granger causality between stock prices and economic growth," *Munich Personal Repec Archive* 2962: 1-10.
- Fung, H., Q. Liu ve Y. Tse 2010. "The information flow and market efficiency between the U.S. and Chinese aluminum and copper futures markets," *Journal of Futures Market* 30(12): 1192-1209.
- Fx Words. "Spread Trading," <http://fxwords.com/s/spread-trading-futures-vs-fx.html> (Erişim Tarihi 05.09.2014).
- Gatey, E., W. N. Goetzmann ve K. G. Rouwenhorst 2006. "Pair Trading: Performance of a relative-value arbitrage rule," *Review of Financial Studies* 19(3): 797-827.
- Girma, P. ve A. Paulson 1999. "Risk arbitrage opportunities in petroleum futures spreads," *Journal of Futures Markets* 19(8): 931-955.
- Göleç, A., A. Murat, E. Tokat ve I. Türkşen 2012. "Forecasting model of Shanghai and CRB commodity indexes," *Expert Systems with Applications* 39(10): 9275-9281.
- Interactive Bokers. "Transaction Cost Analysis," <https://www.interactivebrokers.com/en/software/reportguide/am/reports/transactioncostanalysis.htm> (Erişim Tarihi: 30.05.2015).
- Investopedia. "Trading The Odds with Arbitrage," <http://www.investopedia.com/articles/trading/04/111004.asp> (Erişim Tarihi: 26.05.2015).
- Johnson, B. 2010. *Algorithmic trading & DMA: An introduction to direct access trading strategies* (1. Baskı). London: 4Myeloma Press.
- Johnson, R., M. E. Gerlow, S. H. Irwin ve C. Zulauf 1991. "The soybean complex spread: An examination of market efficiency using disaggregated results," *Journal of Futures Markets* 11(1): 65-79.
- MATLAB. "Datafeed Toolbox," <http://www.mathworks.com/help/datafeed/index.html> (Erişim Tarihi: 01.11.2014).
- MATLAB. "Econometrics Toolbox," <http://www.mathworks.com/help/econ/index.html> (Erişim Tarihi: 01.11.2014).
- MATLAB. "Trading Toolbox," <http://www.mathworks.com/help/trading/index.html> (Erişim Tarihi: 01.11.2014).
- Nicholas, J. G. 2000. "Market Neutral Investing: Long/Short Hedge Fund Strategies," New York: Bloomberg Press.

- Thorp, E. 2008. "A Mathematician on Wall Street: Statistical Arbitrage," *Wilmott Magazine*.
- Uhlenbeck, G. E. ve L. S. Ornstein 1930. "On the Theory of the Brownian Motion," *Phys. Rev.* 36: 823-841.
- Spatial Econometrics. "Spatial Econometrics Toolbox," <http://www.spatial-econometrics.com/> (Erişim Tarihi: 01.09.2014).
- LeSage, J. ve R. K. Pace 2009. *Introduction to Spatial Econometrics* (1. Baskı) Florida: Chapman and Hall/CRC.
- Vidyamurthy, G. 2004. *Pair Trading: Quantitative Methods and Analysis* (1. Baskı). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Yahoo Finance. "Historical Prices," <http://finance.yahoo.com/q/hp?s=> (Erişim Tarihi: 01.11.2014).

EKLER

EK 1

Korelasyon Sonuçları

<i>Portföyler</i>	<i>Korelasyon Katsayısı</i>
XLE/PFE	0.977
SPY/DIA	0.976
XLP/WMT	0.939
XLF/JPM	0.930
XLK/AAPL	0.926
XLV/JNJ	0.915
DBP/GLD	0.898
XLE/BP	0.813
EWA/EWC	0.763
XLF/C	0.758
XLK/GOOGL	0.756
DBP/SLV	0.591
XLE/XOM	0.529
EWZ/TUR	0.420
USO/UNG	0.375
GLD/SLV	0.181
GLD/GDX	0.007

EK 2

```
% Hedge Ratio Calculation, h = y/x
resultJohansen = johansen([yAll(1:lookbackHedgeRatio) xAll(1:lookbackHedgeRatio)], ...
    johansenOrder, 1);
eigenvector = resultJohansen.evec(:, 1)';
hedgeRatio = -real(eigenvector(2)/eigenvector(1));
```

EK 3

```
% Spread Calculation, S = -h*x + y
spread = -hedgeRatio*xAll + yAll;
spread(1:lookbackHedgeRatio) = [];
```

EK 4

```
% Z-Score Calculation, Z = (S-MA(S))/STD(S)
zScore = (spread-movingAvg(spread,lookbackSpread))./movingStd(spread,lookbackSpread);
zScore = zScore(end-lookbackOutSpace+1:end);
```

EK 5

```
% Long Positions
longsEntry = zScore < -entryZscore;
longsExit = zScore > -exitZscore;

% Short Positions
shortsEntry = zScore > entryZscore;
shortsExit = zScore < exitZscore;
```

EK 6

```
% Return Calculations
numUnits=numUnitsLong+numUnitsShort;
positions = repmat(numUnits, [1 size([xOutSpace yOutSpace], 2)]).* ...
    [-hedgeRatio*xOutSpace yOutSpace];
pnl = sum(lag(positions, 1).*([xOutSpace yOutSpace]-lag([xOutSpace yOutSpace], 1))./ ...
    lag([xOutSpace yOutSpace], 1), 2);
ret = pnl./sum(abs(lag(positions, 1)), 2);
ret(isnan(ret)) = 0;
retMinusTcost = ret - abs(numUnits-lag(numUnits,1)).*onewaytcost;
cumRetMinusTcost = cumprod(1+retMinusTcost)-1;
```


EK 7

```
% Position Statistics
CumulativeReturn = cumRetMinusTcost(end);
Return = retMinusTcost;
APR = (prod(1+retMinusTcost).^(252/length(retMinusTcost))-1);
SR = sqrt(252)*mean(retMinusTcost)/std(retMinusTcost);
[maxDDMinusTcost,maxDDMinusTcost] = calculateMaxDD(cumRetMinusTcost);
numberOpenPositions = ceil(sum(abs(numUnits-lag(numUnits,1)))/2);
dayOpenPositions = sum(numUnits~=0);
totalDays = length(timestampOutSpace);
```

EK 8

```
% Sensitivity Test
if mean(StdEntryZscore) > mean(StdWindowSize)
    fprintf('Strategy is sensitive to WindowSize');
else
    fprintf('Strategy is sensitive to ZScore');
end
```