

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİG ŞAMPİYONASI ALGORİTMASI İLE GEZGİN TURNUVA PROBLEMİNİN
ÇÖZÜMÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harun BİNGÖL

(141137107)

Anabilim Dalı: Yazılım Mühendisliği

Programı: Yazılım Mühendisliği

Danışman: Doç. Dr. Bilal ALATAŞ (F.Ü.)

MART-2016

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİG ŞAMPİYONASI ALGORİTMASI İLE GEZGİN TURNUVA PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harun BİNGÖL

141137107

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Şubat 2016

Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Mart 2016

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Bilal ALATAŞ (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ali KARCI (İ.Ü.)

Doç. Dr. Resul DAŞ (F.Ü.)

MART-2016

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca, değerli görüş ve katkılarıyla beni yönlendiren, her konuda desteğini esirgemeyen, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Bilal ALATAŞ'a, tez çalışmalarım süresince desteğini esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma ve beni yoğun çalışmalarım esnasında hep anlayışla karşılayan eşim Tuba BİNGÖL'e teşekkürü borç bilirim.

Harun BİNGÖL

Elazığ - 2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ	XI
KISALTMALAR LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ	2
2. SEZGİSEL OPTİMİZASYON	5
3. SPOR TABANLI OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI	7
3.1. Futbol Optimizasyon Algoritması	7
3.2. Futbol Lig Optimizasyonu.....	7
3.3. Futbol Oyunu Optimizasyonu	7
3.4. Futbol Lig Müsabakası Algoritması	9
3.5. Lig Şampiyonası Algoritması.....	9
3.5.1. SWOT Analizi	10
3.5.2. LŞA'nın Terminolojisi	17
3.5.2.1. Spor Ligi.....	17
3.5.2.2. Takım Oluşumu	18
3.5.2.3. Maç Analizi	18
3.5.2.4. Transfer.....	18
4. LŞA'NIN KALİTE TESTİ FONKSİYONLARINA UYGULANMASI	20
4.1. Rastrigin Fonksiyonu.....	20
4.2. Sphere Fonksiyonu	21
4.3. Rosenbrock Fonksiyonu	23
4.4. Griewank Fonksiyonu	24

4.5. Ackley Fonksiyonu.....	26
5. KAOTİK HARİTALI LİG ŞAMPİYONASI ALGORİTMALARI	28
5.1. Kaotik Haritalar	28
5.1.1. Gaus Harita	30
5.1.2. Çember Harita.....	30
5.1.3. Lojistik Harita.....	30
5.1.4. Sinüzoidal Harita	30
5.1.5. Çadır Harita	31
5.2. Lig Şampiyonası Algoritmasında Kaotik Harita Kullanımı	31
6. GEZGİN TURNUVA PROBLEMİNİN LİG ŞAMPİYONASI ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜMÜ	44
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	58
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ	64

ÖZET

Klasik optimizasyon algoritmaları, büyük ölçekli kombinasyonel ve doğrusal olmayan problemlerde yetersiz kaldığında sezgisel optimizasyon algoritmaları önerilmektedir. Genel amaçlı sezgisel yöntemler; biyoloji tabanlı, fizik tabanlı, sürü tabanlı, sosyal tabanlı, müzik tabanlı, kimya tabanlı, spor tabanlı, matematik tabanlı ve bunların birleşimi olan melez yöntemler olmak üzere dokuz farklı grupta değerlendirilmektedir.

2009 yılında spor tabanlı bir arama ve optimizasyon algoritması olan Lig Şampiyonası Algoritması (LŞA) Ali Husseinzadeh Kashan tarafından önerilmiştir. LŞA, genel optimizasyon için birkaç haftalık yapay bir ligde oynayan yapay takımlar içerisindeki bir şampiyonayı taklit eden popülasyon tabanlı meta sezgisel optimizasyon yöntemidir. Bu algoritmada, lig programına göre haftalık olarak mücadele edecek takım çiftlerine numara verilir ve oyunun sonucu kazanan veya kaybeden olarak belirlenir. Bir takımın oyunu kazanıp veya kaybetmesi Oyun Gücü ile yakından ilişkilidir. Takımlar ileri haftalarda gerçekleşecek olan oyunları kazanabilmek için mevcut takım oluşumlarını tüm sezonlar boyunca geliştirmeyi amaçlarlar.

Optimizasyon algoritmalarının hızlı yakınsaması ve yüksek doğruluk oranını artırmak için kaotik haritalar birçok algoritmada kullanılmıştır. LŞA'nın kaotik global yakınsama özelliğinin artırılması ve lokal çözümde takılıp kalmasının önlenmesi, ilk kez bu tez ile sunulmuştur.

Bu tez çalışmasında LŞA detaylı olarak incelenmiş ve kaotik LŞA önerilmiştir. Kalite testi fonksiyonlarındaki performansı karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Ayrıca, güncel spor problemlerinden, taşınma ve takımların toplam hareketliliğinin minimize edilmesini amaçlayan gezgin turnuva probleminin çözümü için LŞA ilk kez bu çalışmada kullanılmıştır. Bu problem yine güncel optimizasyon yöntemlerinden olan Optik İlham Optimizasyon (OİO) ile de ilk kez çözülmüş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak ilk kez bu tezde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Optimizasyon, Metasezgisel Algoritmalar, Lig Şampiyonası Algoritması, Kaotik Harita, Gezgin Turnuva Problemi

SUMMARY

Solution of Travelling Tournament Problem with League Championship Algorithm

Classical optimization algorithms are insufficient in large scale combinatorial problems and in nonlinear problems. Hence, heuristic optimization algorithms have been proposed. General purpose heuristic methods are evaluated in nine different groups: biology-based, physics-based, social-based, music-based, chemical-based, sport-based, mathematics-based and hybrid methods which are combinations of these.

Recently, a sports-based search and optimization algorithm entitled as League Championship Algorithm (LCA) has been proposed by Ali Husseinzadeh Kashan in 2009. LCA is a population-based, meta-heuristic optimization algorithm that simulates a Championship for a general optimization with artificial teams and artificial league for several weeks. In this algorithm, according to the league program, a number is given to the couple of teams that will match and the result of match is determined as loser or winner. Winning or losing the game is closely related to power of teams. Teams are intended to improve the formation of the current team throughout the season to win the game in the coming weeks.

Chaotic maps have been used in many algorithms, to improve the convergence speed of optimization algorithms with high accuracy. Increasing global convergence speed and prevention of stuck on local solutions of LCA with chaos have been proposed for the first time in this thesis.

In this thesis, LCA has been introduced and Chaotic LCAs have been proposed. Comparative performance has examined in benchmark functions. Furthermore, LCA has been firstly utilized in this thesis for travelling tournament problem which is one of the current sports problems and aids to minimize transportation and total movement of teams. Furthermore, this problem has been firstly solved by Optics Inspired Optimization (OIO) algorithm and obtained results have been firstly compared in this thesis.

Keywords: Optimization, Metaheuristic Algorithms, League Championship Algorithm, Chaotic Map, Travelling Tournament Problem

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2. 1. Sezgisel yöntemler	6
Şekil 3. 1. Lig şampiyonası algoritması akış diyagramı.....	15
Şekil 4. 1. Rastrigin fonksiyon grafiği.....	20
Şekil 4. 2. LŞA optimizasyon öncesi görünüm	21
Şekil 4. 3. LŞA optimizasyon sonrası görünüm	21
Şekil 4. 4. Sphere fonksiyon grafiği	22
Şekil 4. 5. LŞA optimizasyon öncesi görünüm	22
Şekil 4. 6. LŞA optimizasyon sonrası görünüm	23
Şekil 4. 7. Rosenbrock fonksiyon grafiği	23
Şekil 4. 8. LŞA optimizasyon öncesi görünüm	24
Şekil 4. 9. LŞA optimizasyon sonrası görünüm	24
Şekil 4. 10. Griewank fonksiyon grafiği.....	25
Şekil 4. 11. LŞA optimizasyon öncesi görünüm	25
Şekil 4. 12. LŞA optimizasyon sonrası görünüm	26
Şekil 4. 13. Ackley fonksiyon grafiği.....	26
Şekil 4. 14. LŞA optimizasyon öncesi görünüm	27
Şekil 4. 15. LŞA optimizasyon sonrası görünüm	27

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3. 1. Yapay maç analizinden elde edilen sözsel SWOT matrisi.....	13
Tablo 3. 2. LŞA'nın sözde kodu.....	14
Tablo 3. 3. Lig programı oluşumu.....	17
Tablo 3. 4. Karşılıklı deyimler.....	19
Tablo 4. 1. Rastrigin test sonuçları	21
Tablo 4. 2. Sphere test sonuçları	22
Tablo 4. 3. Rosenbrock test sonuçlar.....	23
Tablo 4. 4. Griewank test sonuçları.....	25
Tablo 4. 5. Ackley test sonuçları	26
Tablo 5. 1. Rastrigin fonksiyonu için KHLŞA yöntemleri ile elde edilen sonuçlar.....	32
Tablo 5. 2. Sphere fonksiyonu için KHLŞA yöntemleri ile elde edilen sonuçlar	34
Tablo 5. 3. Rosenbrock fonksiyonu için KHLŞA yöntemleri ile elde edilen sonuçlar	36
Tablo 5. 4. Griewank fonksiyonu için KHLŞA yöntemleri ile elde edilen sonuçlar	38
Tablo 5. 5. Ackley fonksiyonu için KHLŞA yöntemleri ile elde edilen sonuçlar.....	40
Tablo 5. 6. KHLŞA yöntemlerinde en iyi değerler toplamı (Min + Ort)	43
Tablo 5. 7. KHLŞA yöntemlerinde en iyi değer toplamı (Min).....	43

Tablo 6. 1. 6x6 lık GTP için takımların birbirlerine olan uzaklık matrisi.....	46
Tablo 6. 2. Örnek bir GTP için lig programı	46
Tablo 6. 3. Kullanılan algoritmalar ile birlikte deneysel olarak elde edilen GTP'nin çözüm karşılaştırmaları.	46
Tablo 6. 4. Statlar arası mesafe.....	47
Tablo 6. 5. Algoritmaya bağlı olan takım sayısına göre ilk karşılaşma için lig çizelgesi ...	47
Tablo 6. 6. Algoritmaya bağlı olarak ilk karşılaşma için oluşturulan, probleme dayalı 8 takımın karşılaşmasını gösteren haftalık lig çizelgeleri	48
Tablo 6. 7. Lig fikstürü.....	48
Tablo 6. 8. Takımların ilk karşılaşmaya göre bir sezonda kat ettiği toplam mesafe	49
Tablo 6. 9. Algoritmaya bağlı olan takım sayısına göre ikinci karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiği toplam mesafe	49
Tablo 6. 10. Algoritmaya bağlı olan takım sayısına göre üçüncü karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiği toplam mesafe	50
Tablo 6. 11. Algoritmaya bağlı olan takım sayısına göre dördüncü karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiği toplam mesafe	50
Tablo 6. 12. Algoritmaya bağlı olan takım sayısına göre beşinci karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiği toplam mesafe	50
Tablo 6. 13. Algoritmaya bağlı olan takım sayısına göre altıncı karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiği toplam mesafe	51
Tablo 6. 14. Algoritmaya bağlı olan takım sayısına göre yedinci karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiği toplam mesafe	51
Tablo 6. 15. Algoritmaya bağlı olan takım sayısına göre sekizinci karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiği toplam mesafe	51
Tablo 6. 16. Algoritmaya bağlı olan takım sayısına göre dokuzuncu karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiği toplam mesafe	52
Tablo 6. 17. Algoritmaya bağlı olan takım sayısına göre onuncu karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiği toplam mesafe	52
Tablo 6. 18. Algoritmaya bağlı olan takım sayısına göre on birinci karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiği toplam mesafe	52
Tablo 6. 19. Algoritmaya bağlı olan takım sayısına göre on ikinci karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiği toplam mesafe	53
Tablo 6. 20. LŞA ile OİO algoritmalarının karşılaştırması	54

Tablo 6. 21. LŞA ve OİO algoritmalarının 1 (sezon, iterasyon) çalıştırılması ile elde edilen t-Test sonuçları	55
Tablo 6. 22. LŞA ve OİO algoritmalarının 100 (sezon, iterasyon) çalıştırılması ile elde edilen t-Test sonuçları	55

SEMBOLLER LİSTESİ

x_i^t	: t 'ninci haftadaki i takımının oluşumu
L	: Lig boyutu
Ort	: Aritmetik ortalama değer
Ss	: Standart sapma
$Maks$	: En kötü değer
Min	: En iyi değer
y_{id}^t	: Rassal olarak seçilir ve 0 ve 1'lerden oluşur
S	: Sezon sayısı
N	: Problem boyutu
P_i^t	: t 'ninci haftada i takımının j takımını yenme şansı
P_c	: Kontrol parametresi
q_0	: En küçük değişiklik sayısı
Ψ_1	: Çözüme yaklaşma katsayısı
Ψ_2	: Çözümünden uzaklaşma katsayısı
r_1	: 0-1 arasında seçilen rassal sayı
r_2	: 0-1 arasında seçilen rassal sayı
B_i^t	: t haftaya kadar i takımı tarafından oluşturulan en iyi deneyim
R	: 0-1 arasında seçilen rassal sayı
$f(x_i^t)$	: i takımının t 'ninci haftadaki amaç fonksiyonu
$f(b_i^t)$	: i takımının t 'ninci haftadaki en iyi amaç fonksiyonu
f^*	: i takımı için mevcut olan en iyi amaç fonksiyonu
PS	: Oyun gücü
S	: Takımın güçlü yönleri
W	: Takımın zayıf yönleri
O	: Mevcut fırsatlar
T	: Mevcut tehditler

KISALTMALAR LİSTESİ

FOA	: Futbol Optimizasyon Algoritması
FLO	: Futbol Lig Optimizasyonu
FOO	: Futbol Oyunu Optimizasyonu
FLMA	: Futbol Lig Müsabakası Algoritması
LŞA	: Lig Şampiyonası Algoritması
OİO	: Optik İlham Optimizasyonu
GTP	: Gezgin Turnuva Problemi
KHLŞA	: Kaotik Haritalı Lig Şampiyonası Algoritması
GA	: Genetik Algoritma
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
NL	: Ulusal Lig

1. GİRİŞ

Optimizasyon algoritmalarının çoğu, sistemin modeli ve amaç fonksiyonu için matematiksel modellere ihtiyaç duymaktadır. Karmaşık sistemler için matematiksel modelin kurulması genelde zordur. Model kurulsa bile, çözüm zamanı maliyeti çok yüksek olduğundan kullanılamamaktadır. Klasik optimizasyon algoritmaları, büyük ölçekli kombinyonsal ve doğrusal olmayan problemlerde yetersizdir. Bu tür algoritmalar, verilen bir probleme bir çözüm algoritması uyarlamada etkin değildir. Bu da çoğu durumda, geçerliliğinin onaylanması zor olabilen bazı varsayımları gerektirir. Genellikle klasik algoritmaların doğal çözüm mekanizmalarından dolayı, ilgilenilen problem algoritmanın onu idare edeceği şekilde modellenir. Klasik optimizasyon algoritmalarının çözüm stratejisi genellikle amaç ve sınırlayıcıların tipine (doğrusal, doğrusal olmayan vb.) ve problemi modellemede kullanılan değişkenlerin tipine (tamsayı, reel) bağlıdır. Bunların etkinliği aynı zamanda problem modellemede çözüm uzayı (konveks, konveks olmayan vb.), karar değişken sayısı ve sınırlayıcı sayısına oldukça bağlıdır. Diğer önemli bir eksiklik ise farklı tipte karar değişkenleri, amaç ve sınırlayıcıların olması durumunda problem formülasyonlarına uygulanabilecek genel çözüm stratejileri sunmamalarıdır. Yani çoğu algoritma belirli tipteki amaç fonksiyonu ya da sınırlayıcıların olduğu modelleri çözmektedir. Ancak çoğu yönetim bilimi, bilgisayar, mühendislik gibi bir çok farklı alandaki optimizasyon problemleri eşzamanlı olarak formülasyonlarında farklı tipteki karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıları gerektirir. Bu yüzden sezgisel optimizasyon algoritmaları önerilmiştir. Bunlar son yıllarda oldukça popüler yöntemler haline gelmiştir çünkü bunların hesaplama gücü iyidir ve dönüşümleri kolaydır. Yani tek amaç fonksiyonlu bir problem için yazılmış bir sezgisel program, kolaylıkla çok amaçlı bir probleme ya da farklı bir probleme uyarlanabilmektedir (Alataş, 2007).

Genel amaçlı sezgisel yöntemler; biyolojik tabanlı, fizik tabanlı, sosyal tabanlı, müzik tabanlı, spor tabanlı ve kimya tabanlı olmak üzere çeşitli gruplara ayrılmaktadır. Ayrıca bunların birleşimi olan melez yöntemler de vardır. Genetik algoritma, diferansiyel gelişim algoritması ve karınca koloni algoritmaları biyolojik tabanlı, ısıt işlem algoritması ve elektromanyetizma algoritması fizik tabanlı, tabu arama sosyal tabanlı, yapay kimyasal reaksiyon optimizasyon algoritması kimya tabanlı, armoni arama algoritması müzik tabanlı algoritma ve modellerdir.

Lig Şampiyonası Algoritması (LŞA) da yakın zamanda Ali Husseinzadeh Kashan tarafından önerilmiş en güncel ve birkaç haftalık yapay bir ligde oynayan yapay takımlar içerisindeki bir şampiyonayı taklit eden spor tabanlı metasezgisel yöntemdir (Kashan, 2009). Bu algoritmada, lig programına göre haftalık olarak mücadele edecek takım çiftlerine numara verilir ve oyunun sonucu kazanan veya kaybeden olarak belirlenir. Bir takımın oyunu kazanıp veya kaybetmesi Oyun Gücü ile yakından ilişkilidir. Takımlar ileri haftalarda gerçekleşecek olan oyunları kazanabilmek için mevcut takım oluşumlarını tüm sezonlar boyunca geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Bu tez çalışmasında güncel olan spor problemlerinden olan taşınma sorunları ve takımların toplam hareketliliğinin minimize edilmesini amaçlayan gezgin turnuva probleminin çözümünde LŞA ilk kez kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar en güncel yapay zeka optimizasyon algoritmalarından olan optik ilham optimizasyon algoritması ile karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışmasının organizasyonu şu şekildedir. Birinci bölümde optimizasyon algoritmaları neden kullanıldığı ve klasik optimizasyon algoritmalarının özellikleri anlatılmıştır. İkinci bölümde sezgisel optimizasyon hakkında bilgi verilmiştir. Sezgisel yöntemlere neden ihtiyaç duyulduğundan bahsedilmiştir. Sezgisel yöntemler tablo halinde gösterilmiştir. Üçüncü bölümde spor tabanlı optimizasyon algoritmalarından Futbol Optimizasyon Algoritması (FOA), Futbol Lig Optimizasyonu (FLO), Futbol Oyunu Optimizasyonu (FOO), Futbol Lig Müsabakası Algoritması (FLMA) incelenmiş ve sonrasında LŞA'nın metodolojisi geniş bir şekilde açıklanarak SWOT analizi hakkında bilgi verilmiş, LŞA'nın sözde kodu yazılmış, akış diyagramı gösterilmiş, LŞA'nın terminolojisinden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde Rastrigin, Sphere, Rosenbrock, Griewank, Ackley fonksiyonları ile LŞA test edilmiştir. Algoritmanın başarımı optimizasyon öncesi ve sonrası durumlarını gösteren şekiller vasıtası ile verilmiştir. Beşinci bölümde LŞA'da 5 farklı kaotik harita kullanılarak algoritmanın başarımı test edilmiştir. Altıncı bölümde Gezgin Turnuva Probleminin spor turnuvalarındaki sebep olduğu olumsuzluklar detaylı bir şekilde örneklerle açıklanmıştır. Sekiz takımdan oluşan yapay bir lig oluşturulmuş ve lig için karşımıza çıkan Gezgin Turnuva Problemini optimize edebilmek için spor tabanlı olan LŞA kullanılmıştır. LŞA ile optimize edilmiş Gezgin Turnuva Probleminin başarımı deneysel olarak incelenmiş ve optik ilham algoritması ile performans

karşılaştırması sunulmuştur. Yedinci ve son bölümde LŞA'nın hangi tür problemlerde kullanılacağı ve sonraki çalışmalarda neler yapılabileceği hakkında görüşler sunulmaktadır.

2. SEZGİSEL OPTİMİZASYON

Gerçek yaşam problemlerinin çoğunda problemin çözüm uzayı sonsuz veya tüm çözümlerin değerlendirilemeyeceği kadar büyük olur. Bunun için kabul edilebilir bir sürede çözümlerin değerlendirilerek iyi bir çözümün bulunması gerekmektedir. Böyle problemler için kabul edilebilir bir sürede çözümlerin değerlendirilmesiyle aslında tüm çözüm uzayında “bazı çözümlerin” değerlendirilmesi aynı anlama gelmektedir. Bazı çözümlerin neye göre ve nasıl seçileceği sezgisel tekniğe göre değişmektedir. Değerlendirmeye dahil olan çözümlerin içerisinde optimal çözümün yer alması garanti edilememektedir. Bu sebeple de sezgisel tekniklerin bir optimizasyon problemine önerdiği çözüm, optimal değil iyi çözüm olarak algılanmalıdır (Cura, 2008).

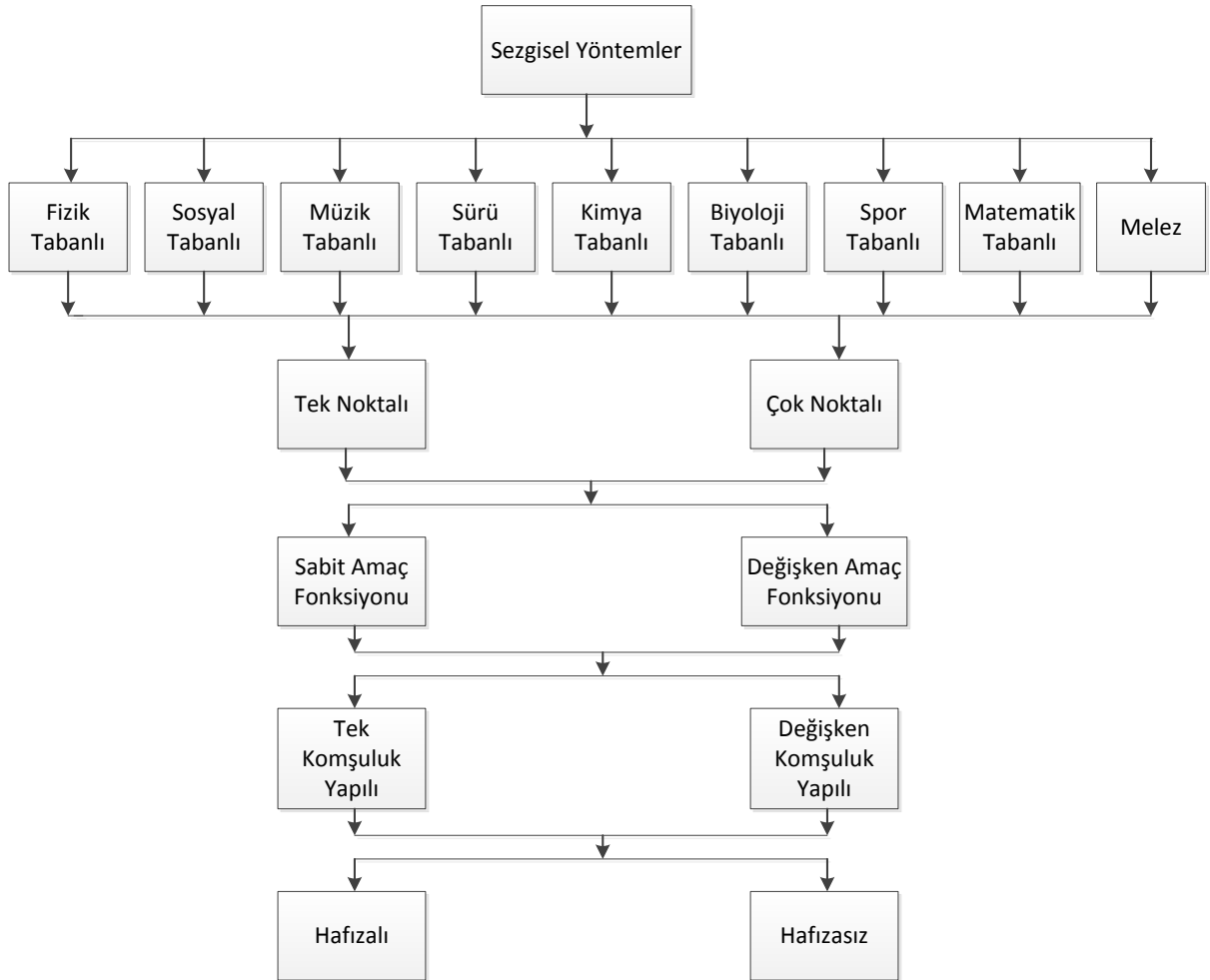
Herhangi bir amacı gerçekleştirmek veya hedefe varmak için çeşitli alternatif hareketlerden etkili olanlara karar vermek amacı ile tanımlanan kriterler veya bilgisayar metotlarıdır. Bu algoritmalar, çözüm uzayında optimum çözüme yakınsaması ispat edilemeyen algoritmalar olarak da adlandırılır. Bu tür algoritmalar yakınsama özelliğine sahiptir, ama kesin çözümü garanti edemezler ve sadece kesin çözüm yakınındaki bir çözümü garanti edebilirler.

Sezgisel algoritmalara gerek duyulmasının sebepleri şunlardır:

- a)** Optimizasyon problemi kesin çözümü bulma işleminin tanımlanamadığı bir yapıya sahip olabilir.
- b)** Anlaşılabilirlik açısından sezgisel algoritmalar karar verici açısından çok daha basit olabilir.
- c)** Sezgisel algoritmalar, öğrenme amaçlı ve kesin çözümü bulma işleminin bir parçası olarak kullanılabilir.
- d)** Matematik formülleriyle yapılan tanımlamalarda genellikle gerçek dünya problemlerinin en zor tarafları (hangi amaçlar ve hangi sınırlamalar kullanılmalı, hangi alternatifler test edilmeli, problem verisi nasıl toplanmalı) ihmal edilir. Model parametrelerini belirleme aşamasında kullanılan verinin hatalı olması, sezgisel yaklaşımın üretebileceği alt optimal çözümden daha büyük hatalara sebep olabilir (Karaboğa, 2011).

Genel amaçlı sezgisel yöntemler; biyoloji tabanlı, fizik tabanlı, sürü tabanlı, sosyal tabanlı, müzik tabanlı, kimya tabanlı, spor tabanlı ve matematik tabanlı olmak üzere sekiz farklı grupta değerlendirilmektedir. Ayrıca bunların birleşimi olan melez yöntemler de

vardır. Bahsedilen bu yöntemler Şekil 2.1’de sunulmaktadır (Akyol ve Alataş; 2012). Genetik algoritma (GA) (Holland, 1975), diferansiyel gelişim algoritması (Storn ve Price, 1995) ve karınca koloni algoritması (Dorigo vd., 1991) biyolojik tabanlı; emperyalist yarışmacı algoritma (Atashpaz-Gargari ve Lucas, 2007) ve parlamenter optimizasyon algoritması (Borji, 2007) sosyal tabanlı; yapay kimyasal reaksiyon algoritması (Alataş, 2011) kimya tabanlı; armoni arama algoritması (Geem vd., 2001) müzik tabanlı; yerçekimsel arama algoritması (Rashedi vd., 2009) ve zeki su damlacıkları algoritması (Shah-Hosseini, 2009) fizik tabanlı, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) (Kennedy ve Eberhart, 1995), Kedi Sürüsü Optimizasyonu (Chu vd., 2006) sürü tabanlı, Lig Şampiyonluğu Algoritması (LŞA) (Kashan, 2009) spor tabanlı ve Baz Optimizasyon Algoritması (Salem, 2012) ve Matheuristics (Maniezzo vd., 2009) matematik tabanlı algoritma ve modellerdir. Kültürel algoritma da hem biyoloji hem de sosyal tabanlı algoritma olarak sınıflandırılabilir (Alataş, 2007).



Şekil 2. 1. Sezgisel yöntemler (Akyol ve Alataş, 2012).

3. SPOR TABANLI OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI

Spor tabanlı metasezgisel optimizasyon algoritmaları yakın tarihe kadar tek LŞA iken Futbol Optimizasyon Algoritması (FOA), Futbol Lig Optimizasyonu (FLO), Futbol Oyunu Optimizasyonu (FOO), Futbol Lig Müsabakası Algoritması (FLMA)'nın da tanıtılması ile bu sayı beşe yükselmiştir.

3.1. Futbol Optimizasyon Algoritması

Spor tabanlı yeni bir optimizasyon algoritması olan Futbol Optimizasyon Algoritması (FOA) futbol oyunundan esinlenilerek geliştirilmiştir. Diğer evrimsel algoritmalar gibi önerilmiş olan FOA “takım” olarak adlandırılan bir başlangıç popülasyonu ile optimizasyona başlamaktadır. Popülasyonun bireylerini iki çeşit oyuncular belirlemektedir. Bunlar “ana oyuncular” ve “yedek oyuncular”dır. Oyuncular arasındaki düzene dayanan takım çalışmasını önermekte olan evrimsel bir algoritmadır (Hatamzadeh ve Khayyambashi, 2012).

3.2. Futbol Lig Optimizasyonu

Avrupa ülkelerindeki futbol sisteminden esinlenerek geliştirilmiştir. Bu algoritma 3 farklı grubu içeren bir başlangıç popülasyonu ile başlar. Bu gruplar “zengin takımlar (güçlüler)”, “düzenli takımlar” ve “fakir takımlar (zayıflar)”dır. Genellikle en iyi oyuncular en zengin kulüplere satılırlar. Fakir kulüplerin parasal durumları sınırlıdır. Yeni oyunculara verecek paraları olmadıklarından dolayı genç oyuncuları keşfederek eğitirler. Optimizasyon, ligde bulunan güçlü takımların düzenli takımların en iyi oyuncusunu satın aldığı, düzenli takımların da zayıf takımların en iyi oyuncusunu satın aldığı, zayıf takımların ise sadece yeni yetenekleri keşfedip onları yetiştirdiği ve eğittiği bir ligi taklit eden takımlar arasındaki mücadeleler sonucunda meydana gelir (Khaji, 2014).

3.3. Futbol Oyunu Optimizasyonu

Futbol Oyunu Optimizasyonu 2012 yılında Purnomo tarafından tanıtılmıştır. Bu algoritma futbol oyunu boyunca futbolcuların sergiledikleri hareketleri taklit etmektedir. Futbol oyununda bir futbolcu topu hedefe ulaşmak için sürerken en iyi pozisyonda olmaya çalışmaktadır. Oyunda takımdaki oyuncular arasındaki işbirliği çok önemlidir.

Top, futbolcular arasında hareket eder ve bir futbolcunun hareketinin ana düşüncesini oluşturur. Ayağında top olmayan futbolcular topu alabilmek için en iyi pozisyonlara hareket ederler.

Bazı futbolcular topun pozisyonu ne olursa olsun topun yakınında hareket ederken (*move forward* olarak adlandırılır) bazıları da sahayı keşfe çıkarlar (*move off* olarak adlandırılır). Bir oyuncunun hareketi topun pozisyonunun haricinde yakınındaki kendi kadar iyi tecrübeye sahip oyunculardan da etkilenmektedir. Onun tecrübesi sayesinde bir oyuncu birkaç iyi pozisyonun farkına varabilir ve yakındaki pozisyonlara yönelebilmektedir.

Sahadaki aktif oyuncuların haricinde birkaç tanede yedek oyuncu bulunmaktadır. Yedek oyuncular devamlı aktif oyuncuların hareketlerini takip etmektedirler. Aktif oyuncunun performansı düştüğü zaman yedek oyuncu aktif oyuncunun yerini alır. Devamlı aktif oyuncuların hareketlerini gözlemleyen yedek oyuncular değiştirildikleri zaman potansiyel en iyi pozisyonu bilmektedirler. Takım stratejileri oyuncuların hareketlerini doğrudan yönlendirecektir. Örneğin bir takım saldırgan bir strateji izliyorsa oyuncuların büyük bir kısmı karşı yarı sahada yer alırken defansif bir strateji izlediğinde oyuncuların çoğu kendi yarı sahasında oynayacaktır.

Futbolcuların davranış hareketleri optimizasyon metoduyla ilgilidir. Oyuncuların sahada yeni bir pozisyon aramaya çalışması optimizasyon işlemi sırasında bir optimum çözüm araması birbirine benzemektedir. Bir oyuncu yeni bir pozisyona hareket ettiği zaman çevresini (topun pozisyonu, yakınındaki oyuncular vs.) düşünür ve bu düşünce onun sürü zekası sistemine adapte olmasını sağlar.

Futbol oyunu optimizasyonu, temel futbolcu hareketlerini basitleştirerek optimizasyon yönteminin çevresel değişkenlerine ve kurallarına dönüştürür. Bu metot popülasyonda bireysel olarak bağımsız hareket eden tipik sürü zekası sistemini göstermektedir. Bireysel harekette bilgi paylaşımının önemli bir rolü vardır. Ancak her oyuncunun top sürmeye çalışmasındaki çekişmenin temel fikrini ve düşük performanslı oyuncunun yerine yedek oyuncunun geçirilmesi fikrini birleştirir. Bireysel tecrübe sayesinde bellek hafızası konusunda avantaj sağlamaktadır (Purnomo, 2014).

3.4. Futbol Lig Müsabakası Algoritması

Lineer olmayan denklem sistemlerinin çözümü için yeni bir optimizasyon tekniği olan Futbol Lig Rekabet Algoritmasında kullanılan metot, futbol liglerinden ilham almıştır. Algoritmanın temel işleyişi takımlar ile oyuncular arasındaki mücadelelere dayanır. Diğer metasezgisel algoritmalarda olduğu gibi, önerilen bu teknik bir başlangıç popülasyonu ile başlar. Oyuncular olarak adlandırılan popülasyon bireyleri 2 tiptir: Sabit oyuncular ve yedek oyuncular. Takımlar arasındaki müsabakalar; lig tablosunda üst sıraları ele geçirmektir. Oyuncular arasındaki müsabakalar ise bireysel iyileşme sonuçları için global optimuma doğru popülasyon bireylerinin yakınsamasını sağlamaktır. Lineer olmayan denklem sistemlerinde, önerilen algoritmanın uygulama sonuçları, Futbol lig rekabet algoritmasının diğer metasezgisel yöntemler ve Newton metotları ile karşılaştırıldığında daha kesin ve hızlı cevaplar verdiği görülmektedir (Moosavian ve Roodsari, 2014).

3.5. Lig Şampiyonası Algoritması

LŞA birkaç haftalık yapay bir ligde spor takımlarının rekabetini taklit eder. Haftalık lig programına bağlı olarak çiftler halindeki takımlar arasındaki maçların sonuçları kazanan veya kaybeden olarak belirlenir. Her takım tarafından geliştirilmesi amaçlanan takım oluşturma ile oyun gücünün artırılması hedeflenmiştir (Kashan, 2009).

Şampiyona sezon sonuna kadar devam etmekte ve takımlar ilerleyen haftadaki maçı kazanabilmek için takım oluşumlarını ve oyun stillerini önceki hafta maçlarını izleyerek, ihtiyaç duydukları değişiklikleri gerçekleştirirler.

Bir sonraki haftada mücadele için yeni bir çözüm oluşturmak amacıyla ihtiyaç duyulan değişiklikleri; her takım yapay bir maç analizini kullanarak, oyun sitilinde önceki hafta maçlarını izleyerek kendi ihtiyaç duyduğu değişiklikleri gerçekleştirir. Şampiyona sezon bitinceye kadar devam eder. Oyuncuların sezon sonu transferlerinin modellenmesine dayalı eklenebilir olan transfer modülü, algoritmanın global yakınsamasını arttırmak için geliştirilmiştir. LŞA bireylerin karşılaştırılmasına odaklanıp, içeriye ve dışarıya doğru arama fikrini etkileyerek kazanacak veya kaybedecek bireyleri belirler. Böyle bir mekanizma; daha iyi çözümün (takım) kazanma oranının, zayıf çözümlerin (takım) kazanma oranından daha büyük olmasını garanti eder. Bu yüzden arama doğrultusunun kazanana doğru yaklaşması ve kaybedenden de uzaklaşması beklenir (Kashan, 2014).

LŞA tarafından kullanılan yapay maç analizinde 6 kural belirtilmiştir;

1. Oyun gücü daha iyi olan bir takım büyük ihtimalle oyunu kazanır. Oyun gücü terimi bir takımın başka bir takımı yenme yeteneği olarak ta ifade edilir.
2. Bir oyunun sonucu; takımların oyun güçleri tam olarak önceden bilinmesiyle tahmin edilemez.
3. *i* takımının; *j* takımını yenme olasılığında her iki takımın görünüşe göre eşit olacağı varsayılır.
4. Oyun sonucu yalnızca kazanma veya kaybetmedir.
5. *i* takımı; *j* takımını yendiği zaman, “*i* takımının” kazanmasına yardımcı olan her güçlü yön “*j* takımının” kaybetmesine sebep olan bir zayıflıktır. Diğer bir deyişle her zayıflık belirli olan güçlü yönlerin azalmasıdır.
6. Takımlar gelecekteki diğer maçlarla ilgilenmeksizin sadece ilerleyen maçlara maçla ilgili kendi takımınız veya karşı takımın performanslarıyla ilgili veriler üzerine oyunculara geri besleme sunarak odaklanırlar. Oluşum (formasyon) ayarları sadece bir sonraki hafta meydana gelecek olaylara dayanmaktadır.

Bir maçın yeniden inşa edilmesi maç analizi için hayati derecede önemlidir. Geri besleme ile önceki maç bilgileri kullanılarak sonraki maç veya ileriki maçların inşası gerçekleştirilebilir (Kashan, 2009).

3.5.1. SWOT Analizi

S (Güçlü Yönler), W (Zayıf Yönler), O (Fırsatlar), T (Tehditler); İngilizce olan kelimelerinin baş harflerinden oluşan bir analiz türüdür. Burada genellikle S ve W dahili, T ve O ise harici etkiye sahiptir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015). SWOT’un optimum takım oluşumunu gerçekleştirmek için tanımlanması gerekmektedir. Çünkü belirlenen amacın başarıya ulaşması için süreç planlamasında takip edilen adımlar ancak SWOT yardımıyla çıkartılabilir. SWOT analizinin güçlü olan yönü; dahili ve harici faktörleri karşılaştırmasından ortaya çıkar (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

Stratejik alternatifler için karşılaştırmanın 4 temel kategorisi dikkate alınmalıdır:

S/T Eşleştirmesi: Rakiplerden aldığı önemli tehditlerin ışığında takımın gücünü gösterir. Böyle tehditleri etkisiz hale getirmek veya önlemek için takım kendi gücünü kullanır (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

S/O Eşleştirmesi: Gücü ve Fırsatları gösterir. Takım fırsatlardan faydalanmak için bu gücü kullanmaya kalkışabilir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

W/T Eşleştirmesi: Takımın var olan tehditlere karşı zayıf yönlerini gösterir. Takım tehditlerden kaçınmak ve zayıf yönlerini minimize etmek için harekete geçmek zorundadır. Böyle stratejiler genellikle defansiftir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

W/O Eşleştirmesi: Önemli fırsatlar ile zayıf örnekler çiftleştirilir. Bu takım, fırsatların yaratmış olduğu avantajlardan yararlanılarak kendinde bulunan zayıf yönlerin üstesinden gelmelidir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

l = Lig programına göre bir sonraki hafta yani $(t+1)$. haftada “ i takımı” ile maç yapacak olan takımı ifade eder ve $(i=1,...,L)$ takımın indisini belirtir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

j = Lig programına dayanarak t . haftada “ i takımı” ile maç yapmış olan takımın indisidir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

k = Lig programına dayanarak t . haftada “ l takımı” ile maç yapmış takımın indisidir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

Bu bilgiler ışığında, yapılmış olan maçların kazanma ve kaybetme durumlarına göre “ i takımı” ve “ l takımı” arasında yapılacak olan maçta takımlar oluşturulurken Tablo 3.1 'deki SWOT durumları dikkate alınmalıdır (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

LŞA ile matematiksel olarak yapay maç analizi modellemek ve arama uzayında yeni çözüm oluşturmak amacıyla dört adet denklem kullanılır. Bu denklemler ilerletmek; kuvvetlendirme ve çeşitlilik arasındaki bir denge geliştirmekle yakından ilişkilidir. Birçok algoritmada olduğu gibi sadece çözüm uzayında daha iyi çözümlere yaklaşmak için bir çözüme izin vermenin aksine, LŞA kötü çözümlerden uzaklaşmaya da izin verir. Oyun gücü ile maç sonucu arasında doğrusal bir ilişki olduğu bilinmektedir. Şekil 3.1’de algoritmanın akış diyagramı gösterilmiştir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

Sırasıyla takım i , j ve k ’nın t . haftadaki ilişkili oldukları takım oluşumları; X_i^t , X_j^t , X_k^t olmaktadır.

$X_k^t - X_i^t$ ise i ve k takımlarının oyun stilleri arasındaki boşluğu belirtir ve “ k takımının güçlü yönleri üzerine odaklanması” olarak anlaşılır. Bu durumda k takımı l takımıyla

oynamış olduğu oyunu kazanacak ve l 'yi yenecektir. Burada uygun olan, t . haftadaki k takımının uyguladığı gibi benzer bir oyun stilini i takımı için tasarlamak olacaktır (karşı atak veya yüksek baskılı defans gibi) (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

$X_i^t - X_k^t$ ise benzer şekilde “ k takımının zayıf yönleri üzerine odaklanması” olarak anlaşılmaktadır. Burada ise k takımının uyguladığı oyun stilinden oldukça uzaklaşmak olabilir şeklinde yorumlayabiliriz. Biz burada benzer şekilde $X_i^t - X_j^t$ ve $X_j^t - X_i^t$ yorumlayabiliriz (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

Takım oyunları göz önünde tutularak şimdiki en iyi oluşumlara (zamanla uygun olan bulunarak) dayanarak maç analizi tarafından tavsiye edilen ve ihtiyaç duyulan değişiklikler için aşağıdaki denklemlerden bir tanesini $(t+1)$. hafta ve i takımı için kullanabiliriz (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

$X_i^{t+1} = (X_{i1}^{t+1}, X_{i2}^{t+1}, \dots, X_{in}^{t+1})$ ve $i (i=1, \dots, L)$ takımların t . haftada maç sonuçlarına göre bir sonraki $(t+1)$. hafta yapacakları maç için oluşturacakları takımda SWOT analizine göre hangi stratejiyi kullanacaklarına dair şartlı ifadeler aşağıda belirtildiği gibi Tablo 3.1’de de gösterilmiştir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

y_{id}^t rassal olarak seçilen ve 0 ve 1 sayılarından oluşmaktadır. X_{id}^{t+1} nin b_{id}^t den farklı olup olmadığını göstermektedir. $y_{id}^t=1$ olması sadece farklılıklar için izin verilir. $y_i^t = (y_{i1}^t, y_{i2}^t, \dots, y_{in}^t)$ ikili değişken dizisidir ve y_i^t lerdeki 1’lerin sayısı q_i^t ye denktir. (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

Bir takımda antrenörün takımın birçoğunu veya tümünü değiştirmesi alışlagelmiş bir durum değildir. Genellikle küçük değişiklikler tavsiye edilmektedir. Bu benzetmeye göre B_i^t de yapılan değişikliklerin sayısı da küçük olmalıdır (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

Değişikliklerin sayısını benzetmek için geometrik muhtemel dağılım kullanılabilir. Geometrik yuvarlama dağılımı kullanılıp değişikliklere küçük oranlar vererek daha önemli dinamik değişikliklere sahip bir dizi elde edilebilir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

$$q_i^t = \left\lceil \frac{\ln(1-(1-(1-P_c)^{n-q_0+1})r)}{\ln(1-P_c)} \right\rceil + q_0 - 1 \quad q_i^t \in \{q_0 | q_0 + 1, \dots, n\} \quad (3.1)$$

$P_c < 1$, $P_c \neq 0$ olmak kaydıyla kontrol parametreleridir.

q_o ise yapay maç analizi sırasında gerçekleştirilen en küçük değişiklik sayısıdır. Testlerimiz sırasında Denklem (3.1)'de hesaplanması gereken q_o değeri 1 olarak kabul edilmiştir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

P_c yuvarlanmış geometrik dağılımda başarının imkanı olarak bilinmektedir. P_c 'nin en büyük değeri ile değişikliklerin en küçük sayısı tavsiye edilmektedir (Kashan, 2011; Boucekara vd., 2014; Sajadi vd., 2014).

If i takımı ve l takımı maçları kazanmış ise **S/T stratejisine** dayalı yeni oluşum geliştirilir.

$$(S/T \text{ Denklemi}): X_{id}^{t+1} = b_{id}^t + y_{id}^t (\Psi_1 r_{1id}(X_{id}^t - X_{kd}^t) + \Psi_1 r_{2id}(X_{id}^t - X_{jd}^t)) \quad \forall d=1, \dots, n \quad (3.2)$$

Else If i takımı kazanmış, l takımı kaybetmiş ise **S/O stratejisine** dayalı yeni oluşum geliştirilir.

$$(S/O \text{ Denklemi}): X_{id}^{t+1} = b_{id}^t + y_{id}^t (\Psi_2 r_{1id}(X_{kd}^t - X_{id}^t) + \Psi_1 r_{2id}(X_{id}^t - X_{jd}^t)) \quad \forall d=1, \dots, n \quad (3.3)$$

Else If i takımı kaybetmiş, l takımı kazanmış ise **W/T stratejisine** dayalı yeni oluşum geliştirilir.

$$(W/T \text{ Denklemi}): X_{id}^{t+1} = b_{id}^t + y_{id}^t (\Psi_1 r_{1id}(X_{id}^t - X_{kd}^t) + \Psi_2 r_{2id}(X_{jd}^t - X_{id}^t)) \quad \forall d=1, \dots, n \quad (3.4)$$

Else If i takımı ve l takımı kaybetmiş ise **W/O stratejisine** dayalı yeni oluşum geliştirilir.

$$(W/O \text{ Denklemi}): X_{id}^{t+1} = b_{id}^t + y_{id}^t (\Psi_2 r_{1id}(X_{kd}^t - X_{id}^t) + \Psi_1 r_{2id}(X_{jd}^t - X_{id}^t)) \quad \forall d=1, \dots, n \quad (3.5)$$

End If (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

Tablo 3. 1. Yapay maç analizinden elde edilen sözsel SWOT matrisi (Kashan, 2011; Bingöl ve Alataş, 2015).

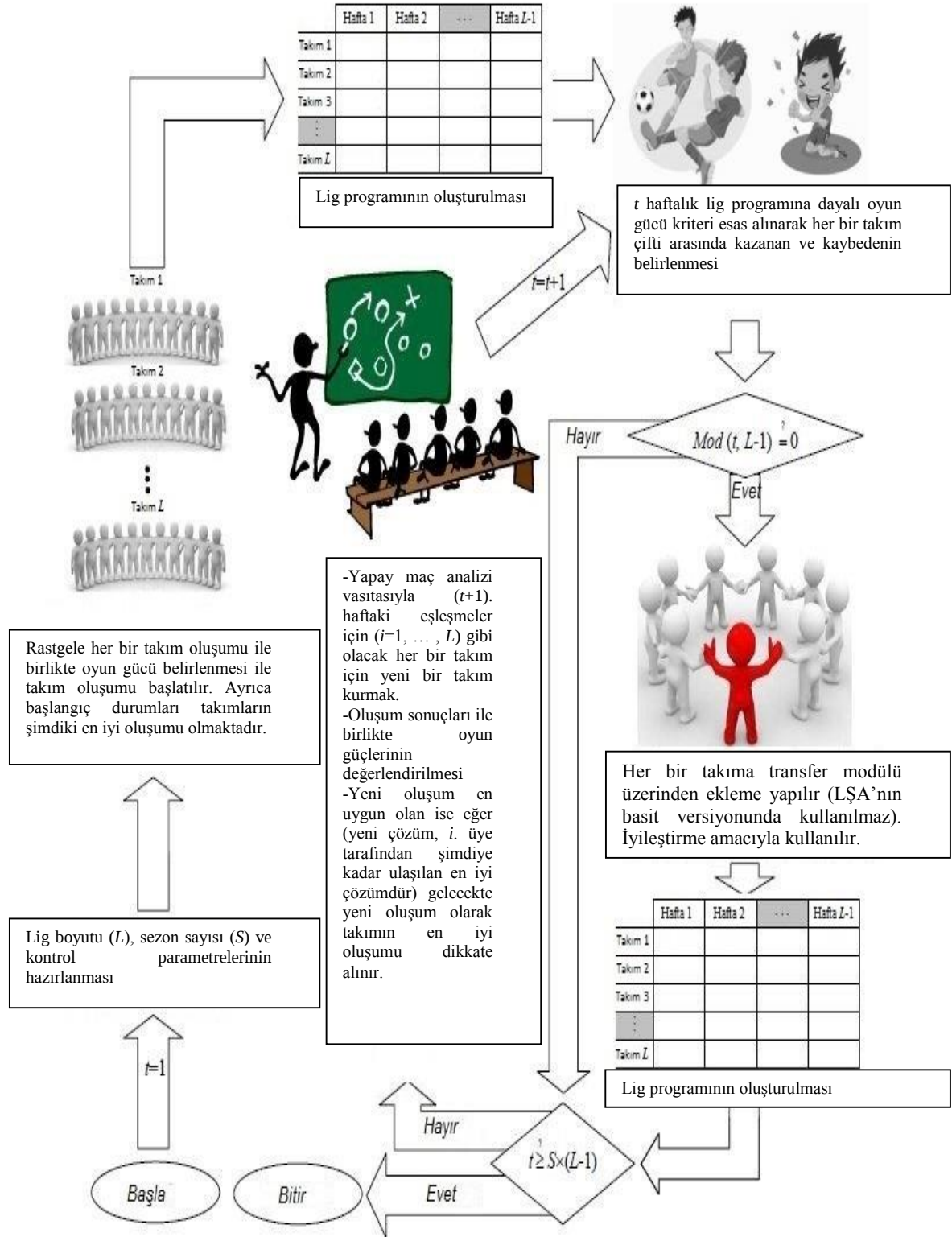
	S/T Strateji (i kazandı, l kazandı)	S/O Strateji (i kazandı, l kaybetti)	W/T Strateji (i kaybetti, l kazandı)	W/O Strateji (i kaybetti, l kaybetti)
S	i takımı kendi gücüne (veya j 'nin zayıflığına) odaklanır	i takımı kendi gücüne (veya j 'nin zayıflığına) odaklanır	---	---
W	---	---	i takımı kendi zayıflığına (veya j 'nin gücüne) odaklanır	i takımı kendi zayıflığına (veya j 'nin gücüne) odaklanır
O	---	l 'nin zayıflığına (veya k 'nin gücüne) odaklanır	---	l 'nin zayıflığına (veya k 'nin gücüne) odaklanır
T	l 'nin gücüne (veya j 'nin zayıflığına) odaklanır	---	l 'nin gücüne (veya j 'nin zayıflığına) odaklanır	---

Tablo 3. 2. LŞA'nın sözde kodu (Boucekara vd., 2014; Bingöl ve Alataş, 2015).

1.	Lig boyutu (L), sezon sayısı (S) ve kontrol parametrelerinin hazırlanması; $t=1$;
2.	Lig programının oluşturulması
3.	Rastgele her bir takım oluşumu ile birlikte oyun gücü belirlenmesi ile takım oluşumu (formasyon) başlatılır. Ayrıca başlangıç durumları takımların şimdiki en iyi oluşumu olmaktadır
4.	While $t \leq S \times (L-1)$
5.	t haftalık lig programına dayalı oyun gücü kriteri esas alınarak her bir takım çifti arasında kazanan ve kaybedenin belirlenmesi
6.	$t = t + 1$
7.	For $i=1$ to L
8.	i takımı için yeni oluşum kurulurken; takımın şimdiki mevcut olan en iyi oluşumu ile geçen haftaki maçları göz önünde bulundurulur. Oluşum sonuçlarına göre oyun güçleri değerlendirilir.
9.	If yeni oluşum en uygun olan ise (yani bu yeni çözüm, popülasyonun i . bireyinin şimdiye kadar ulaştığı en iyi çözümdür), gelecekte takımların şimdiki en iyi oluşumları olarak şimdiki oluşumları dikkate alınacaktır.
10.	End For
11.	If $\text{mod}(t, L-1)=0$
12.	Lig programının oluşturulması
13.	End If
14.	End While

Spor tabanlı LŞA'nın genel optimizasyon için sözde kodu Tablo 3.2'de tanımlanmış olup akış diyagramı ise Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

LŞA'nın Akış Diyagramı :



Şekil 3. 1. Lig şampiyonası algoritması akış diyagramı (Kashan, 2014; Bingöl ve Alataş, 2015).

Biz bir takımın oyun gücü ve oyunun sonucu arasında doğrusal bir ilişki olduğunu varsaydığımızdan ötürü takımların oyun güçleri orantılıdır ve her takımın oyunu kazanma şansı vardır (Kural 2) (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

t haftada i takımı ile j takımı arasındaki mücadele dikkate alınır;

X_i^t ve X_j^t oluşumları ve $f(X_i^t)$ ve $f(X_j^t)$ ise oyun güçleri göstermektedir.

$B_i^t = (b_{i1}^t, b_{i2}^t, \dots, b_{in}^t)$ olarak biz t haftaya kadar i takımı tarafından oluşturulan şimdiye kadar olan en iyi deneyimi göstermektedir ve bu da en verimli oyun gücü anlamına gelmektedir. B_i^t yi belirlemek için $f(X_i^t)$ ve $f(B_i^{t-1})$ in değerlerine dayanarak X_i^t ve B_i^{t-1} arasında aç gözlü seçim çalıştırılmaktadır (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

P_i^t ise i takımının j takımını t haftasında yenme şansını göstermektedir. P_i^t ' de benzer şekilde tanımlanmıştır. Ayrıca f^* ideal bir değerdir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

Kural 1'e dayanarak şu şekilde denklemi yazabiliriz.

$$\frac{P_j^t}{P_i^t} = \frac{f(X_i^t) - f^*}{f(X_j^t) - f^*} \quad (3.6)$$

Denklem (3.6)'ya göre kazananın (i veya j) değişmesini beklemek uygun bir takımda şimdiki oyun gücü ile ideal güç arasındaki farkın orantısıdır. Her takımın kazanma oranı belirlenebilir. Kendi uzaklıkları ile ortak bir referans noktasına olan uzaklığın orantısına dayalı olarak belirlenebilir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

$$P_i^t + P_j^t = 1 \quad (3.7)$$

Yukarıda verilen Denklem (3.7) yardımı ile Denklem (3.8) elde edilir.

$$P_i^t = \frac{f(X_j^t) - f^*}{f(X_j^t) + f(X_i^t) - 2f^*} \quad (3.8)$$

Kazanan ve kaybedenin belirlenmesi için rastgele 0 ile 1 arasında r sayısı oluşturulur. Eğer bu sayı P_i^t 'den küçük veya eşit ise, i takımı kazanır ve j takımı kaybeder. Eğer $f(X_i^t)$; $f(X_j^t)$ 'ye yaklaşıyorsa, P_i^t de 0.5'e yaklaşabilir. Buna ilaveten $f(X_j^t)$, $f(X_i^t)$ 'den çok büyük olursa, ($f(X_j^t) \gg f(X_i^t)$), P_i^t de 1'e yaklaşır (Kashan, 2009; Kashan, 2014; Bingöl ve Alataş, 2015).

3.5.2. LŞA'nın Terminolojisi

LŞA'da mecazi olarak kullanılan gerçek hayattaki takım oyunları için ortak olan terimler bu bölümde açıklanmaktadır (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

3.5.2.1. Spor Ligi

Spor ligi, özel bir sporda çok sayıda takımın yarışması için düzenlenmiş bir rekabete imkân sağlar. Lig bireysel sporların olmadığı takım sporlarını kapsayan mücadeleleri sunmak için genellikle kullanılmakta ve bir lig şampiyonasında birçok yolla mücadele olabilmektedir. Her takım Round-Robin turnuvasında belli sayıda zaman aralığında diğer her bir takım ile oynayabilir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015). Örneğin 4 takım için planlanan bir lig programı toplam takım sayısından bir eksik sayıda hafta içerir ve takımların hangi hafta hangi takımla maç yapacağı, ilk takım sabit tutularak diğer takımlar saat yönünde dönülerek Tablo 3.3'te gösterildiği gibi olmaktadır. 1. hafta 1. takım ile 4. takım maç yapacak ve 2. takım ile 3. takım maç yapacaktır. Aynı şekilde, 2. hafta 1. takım ile 3. takım, 4. takım ile 2. takım maç yapacaktır. Dikkat edilirse burada 1. takım sabit kalarak diğer takımlar saat yönünde dönmüş ve başlangıç durumuna gelince sezon sona ermiştir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

Tablo 3. 3. Lig programı oluşumu (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

	1.Hafta		2.Hafta		3.Hafta	
TAKIMLAR	1	2	1	4	1	3
	4	3	3	2	2	4

Temel amaç; kazanma, kaybetme veya beraberlik durumunda ödül olarak belli bir puanlamayı içeren puanlama sistemine dayanarak şampiyon olan en iyi takımı kurmaktır (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

3.5.2.2. Takım Oluşumu

Normal olarak her takım bir oyun stiline sahiptir ve bu, takım oluşumu yolu ile oyun esnasında gerçekleştirilebilmektedir. Oluşum, oyun alanında oyuncuların pozisyonlarına dayanarak dağılımı tanımlayan özel bir yapıya sahiptir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015). Örneğin, futbolda en yaygın oluşum 4-4-2, 4-3-3, 3-2-3-2, 5-3-2 ve 4-5-1 gibi görülmektedir. Farklı oluşumlar bir takımın daha atak veya defansif oynamak isteyip istemediğine bağlı olarak oluşturulabilir. Her takım en iyi oluşumun peşinden sürekli koşar ve bu oyuncular ile koçun uyumuna da bağlıdır (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

3.5.2.3. Maç Analizi

Yarışma esnasında meydana gelen olaylardaki davranışların incelenmesini içermektedir. Maç analizin amacı; takımımızın performansı için birisinin gözlemleriyle güçlü yönlerini tanımlayarak, sonraki oyunları inşa edebilmek ve zayıf yönleri tanımlayarak da kendini geliştirmek için bu alanda öneriler sunmaktır (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015). Aynı şekilde bir antrenör karşı takımın performansını analiz ederek elde ettiği bu verileri kullanarak güçlü yönlerini rakip takım için bir tehdit ve zayıf yönlerini ise kapatmaya çalışarak karşı takım için fırsatların önüne geçmeye amaçlar. Bir maçla ilgili kendi takımınız veya karşı takımın performanslarıyla ilgili veriler üzerine oyunculara geri besleme sunarak maçın yeniden inşa edilmesi, maç analizi için hayati derecede önemlidir. (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

Geri besleme; önceki maç, sonraki maç veya ileriki maçların inşası için önemlidir (Kashan, 2009; Kashan, 2014; Bingöl ve Alataş, 2015).

3.5.2.4. Transfer

Her sezon sonunda takımlar önceki sezon göstermiş oldukları performansları gözden geçirir ve çeşitli bir takım değişiklikleri gerçekleştirirler. Bu değişiklikler antrenörlük biçimi, oyuncuların değişimi ve hatta yönetim heyetindekileri kapsar. Bir transfer kulüpler arası bir oyuncunun taşınması hareketine denilmektedir. Bu bir takımdan başka bir takıma bir oyuncunun transferini gösterir (Kashan, 2014; Bingöl ve Alataş, 2015). Tablo 3.4.'te, evrimsel terminoloji ile spor terminolojisinin karşılıklı olarak aynı anlama gelen terimleri gösterilmiştir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

Tablo 3. 4. Karşılıklı deyimler (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

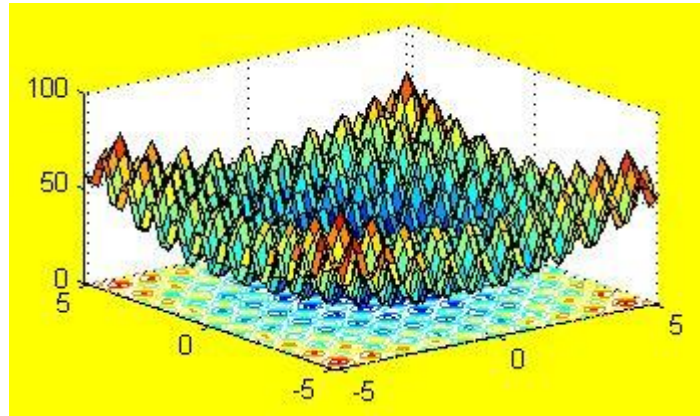
	SPOR TERMİNOLOJİSİ	EVİRİMSEL TERMİNOLOJİ
1	Lig	Popölasyon
2	Week (Hafta)	İterasyon
3	Team <i>i</i> (<i>i</i> takımı)	Popölasyonun <i>i</i> . Üyesi
4	Formation (Oluşum)	Çözüm
5	Playing Strength (Oyun Gücü)	Uygunluk Değeri
6	Number of Seasons (Sezon Sayısı)	Maksimum İterasyon

4. LŞA’NIN KALİTE TESTİ FONKSİYONLARINA UYGULANMASI

Bu bölümde problem boyutu 2 olan, çözüme yaklaşma ve çözümden uzaklaşma katsayıları 1 olan, lig boyutu 10, sezon sayısı 50 olan ve en son uygunluk değeri üzerinden global minimuma yaklaşmayı deneyen bir LŞA modeli üzerinde aşağıda belirtilen test fonksiyonları denenip sonuçları belirtilmiştir (Bingöl ve Alataş, 2015).

4.1. Rastrigin Fonksiyonu

Rastrigin fonksiyonu içerisinde birden fazla lokal minimumu içeren ve bu yüzden de optimizasyon tekniklerinin performansını ölçmek için kullanılabilecek ideal bir test fonksiyonu ve problemdir. Fonksiyonun global minimumu iki boyutlu uzay için $[0, 0]$ noktasıdır ve bu noktada $f(x)=0$ ’dır. Üç boyutlu uzay için ise $[0, 0, 0]$ noktasıdır. Diğer bir deyişle boyut ne olursa olsun merkez nokta, global minimumdur. Formülü ise Denklem (4.1)’de verilmiştir. Şekil 4.1’de fonksiyonun grafiği belirtilmiştir. Tablo 4.1’de Rastrigin fonksiyonuna ait olan optimum sonuç ile LŞA uygulandıktan sonra elde edilen sonuçlar verilmektedir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

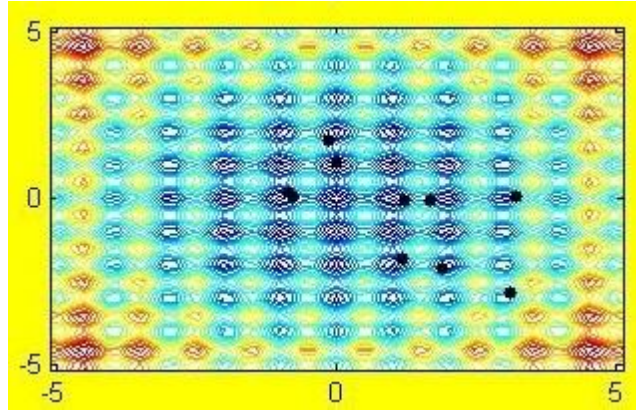


Şekil 4. 1. Rastrigin fonksiyon grafiği (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

$$f(x) = An + \sum_{i=1}^n [(x_i^2 - A \cos(2\pi x_i))] \quad x_i \in [-5.12, 5.12] \quad (4.1)$$

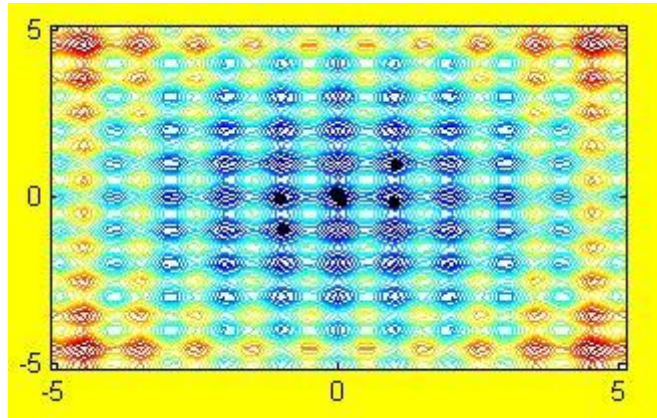
Tablo 4. 1. Rastrigin test sonuçları (Bingöl ve Alataş, 2015).

Elde edilen çözüm	Optimum çözüm
$X_1=-6.976124e-02$	$X_1=0$
$X_2=-1.319233e-02$	$X_2=0$
$f(x)=9.847269e-01$	$f^*(x)=0$



Şekil 4. 2. LŞA optimizasyon öncesi görünüm (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

Başlangıç formasyonu Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

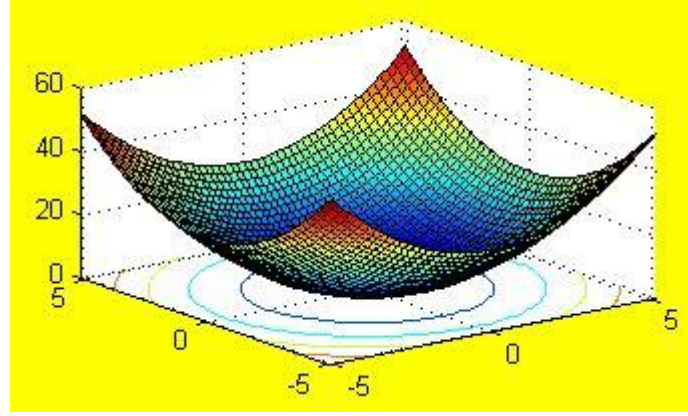


Şekil 4. 3. LŞA optimizasyon sonrası görünüm (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

500 iterasyon sonucunda elde edilen formasyon sonucu Şekil 4.3’te gösterilmiştir.

4.2. Sphere Fonksiyonu

Diğer bir test fonksiyonu olan Sphere kareler toplamını maksimize etmeye çalışmakta ve aşağıda belirtildiği gibidir. Formülü ise Denklem (4.2)’de verilmiştir. Şekil 4.4’te fonksiyonun grafiği belirtilmiştir. Tablo 4.2’de Sphere fonksiyonuna ait olan optimum sonuç ile LŞA uygulandıktan sonra elde edilen sonuçlar verilmektedir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

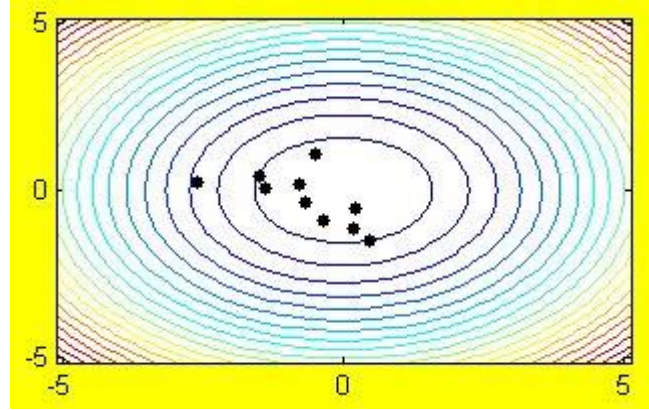


Şekil 4. 4. Sphere fonksiyon grafiği (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

$$f(x) = \sum_{i=1}^n (x_i^2) \quad x_i \in [-5.12, 5.12] \quad (4.2)$$

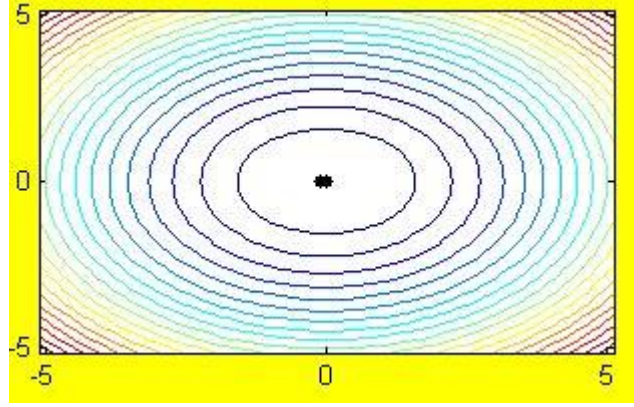
Tablo 4. 2. Sphere test sonuçları (Bingöl ve Alataş, 2015).

Elde edilen çözüm	Optimum çözüm
$X_1 = -4.808068e-04$	$X_1 = 0$
$X_2 = 1.689861e-03$	$X_2 = 0$
$f(x) = 3.086805e-06$	$f^*(x) = 0$



Şekil 4. 5. LŞA optimizasyon öncesi görünüm (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

Başlangıç formasyonu Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

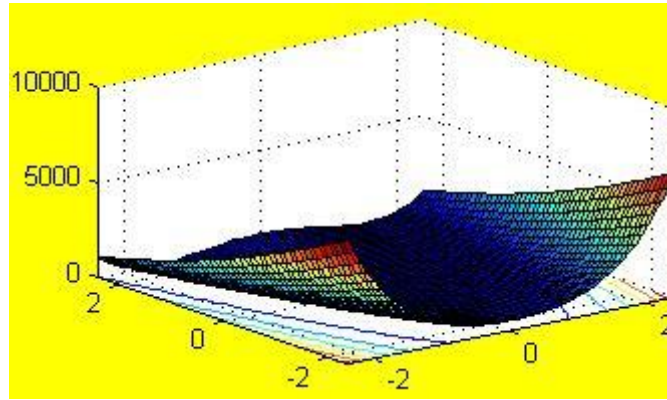


Şekil 4. 6. LŞA optimizasyon sonrası görünüm (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

500 iterasyon sonucunda elde edilen formasyon sonucu Şekil 4.6’da gösterilmiştir.

4.3. Rosenbrock Fonksiyonu

Yakınsaması zor bir global minimumu olan rosenbrock foksionu Denklem (4.3)’te verilmiş ve bu fonksiyona ait grafik ise Şekil 4.7’de verilmektedir. Tablo 4.3’te Rosenbrock fonksiyonuna ait olan optimum sonuç ile LŞA uygulandıktan sonra elde edilen sonuçlar verilmektedir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

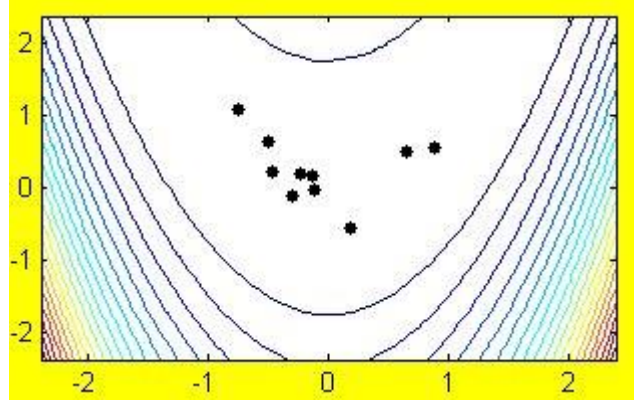


Şekil 4. 7. Rosenbrock fonksiyon grafiği (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

$$f(x) = \sum_{i=1}^{n/2} [100(x_{2i-1}^2 - x_{2i})^2 + (x_{2i-1} - 1)^2] \quad x_i \in [-2.39, 2.39] \quad (4.3)$$

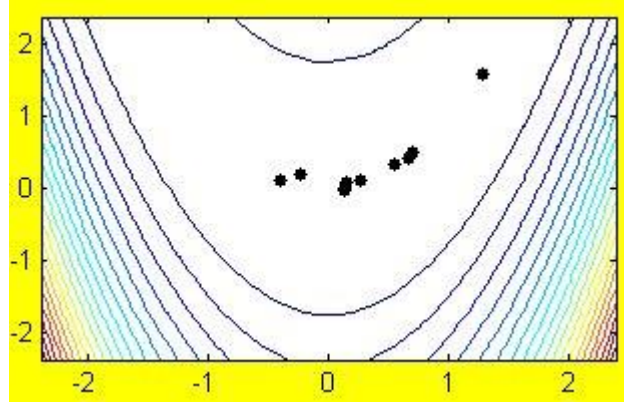
Tablo 4. 3. Rosenbrock test sonuçlar (Bingöl ve Alataş, 2015).

Elde edilen çözüm	Optimum çözüm
$X_1=6.583605e-01$	$X_1=1$
$X_2=4.307335e-01$	$X_2=1$
$f(x)=1.174493e-01$	$f^*(x)=0$



Şekil 4. 8. LŞA optimizasyon öncesi görünüm (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

Başlangıç formasyonu Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

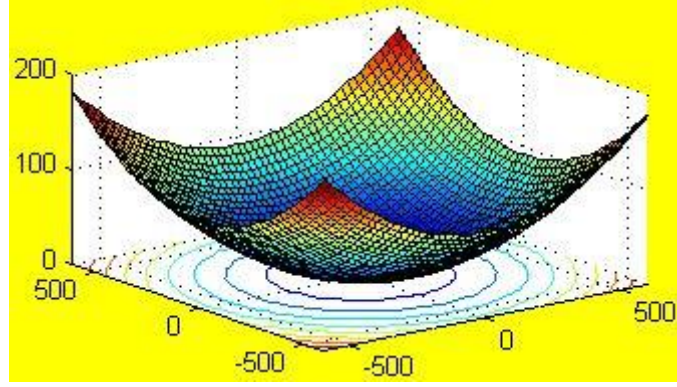


Şekil 4. 9. LŞA optimizasyon sonrası görünüm (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

500 iterasyon sonucunda elde edilen formasyon sonucu Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

4.4. Griewank Fonksiyonu

Griewank fonksiyonu, optimizasyon fonksiyonlarının yakınsamasını test etmek için yaygın şekilde kullanılan bir fonksiyondur. Formülü Denklem (4.4)’te verilmiştir. Şekil 4.10’da fonksiyonun grafiği belirtilmiştir. Tablo 4.4’te Griewank fonksiyonuna ait olan optimum sonuç ile LŞA uygulandıktan sonra elde edilen sonuçlar verilmektedir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

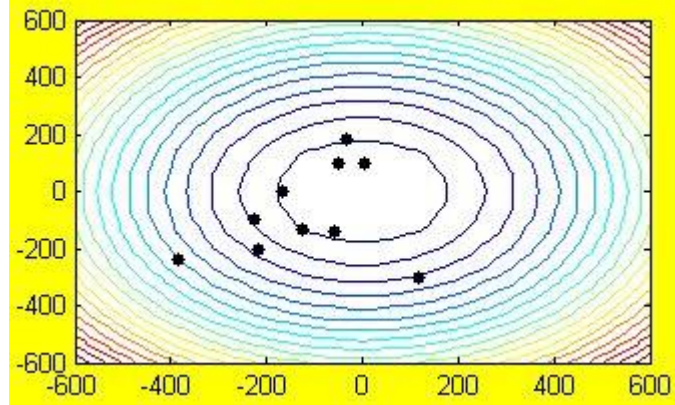


Şekil 4. 10. Griewank fonksiyon grafiği (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

$$f(x) = 1 + \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \prod_{i=1}^n \cos \frac{x_i}{\sqrt{i}} \quad x_i \in [-600, 600] \quad (4.4)$$

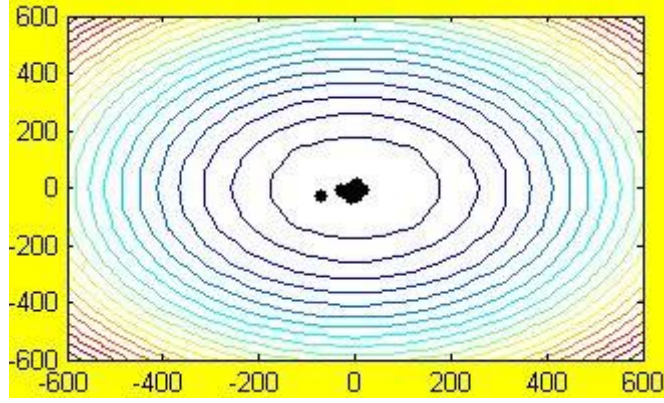
Tablo 4. 4. Griewank test sonuçları (Bingöl ve Alataş, 2015).

Elde edilen çözüm	Optimum çözüm
$X_1 = -6.311999e+00$	$X_1 = 0$
$X_2 = 7.411996e-01$	$X_2 = 0$
$f(x) = 1.446860e-01$	$f^*(x) = 0$



Şekil 4. 11. LŞA optimizasyon öncesi görünüm (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

Başlangıç formasyonu Şekil 4.11’de gösterilmiştir.

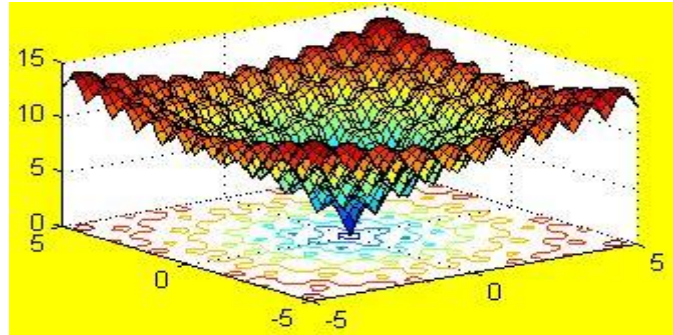


Şekil 4. 12. LŞA optimizasyon sonrası görünüm (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

500 iterasyon sonucunda elde edilen formasyon sonucu Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

4.5. Ackley Fonksiyonu

Yaygın şekilde kullanılan test fonksiyonlarından olup formülü Denklem (4.5)’te verilmiştir. Şekil 4.13’te fonksiyonun grafiği belirtilmiştir. Tablo 4.5’te Ackley fonksiyonuna ait olan optimum sonuç ile LŞA uygulandıktan sonra elde edilen sonuçlar verilmektedir (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

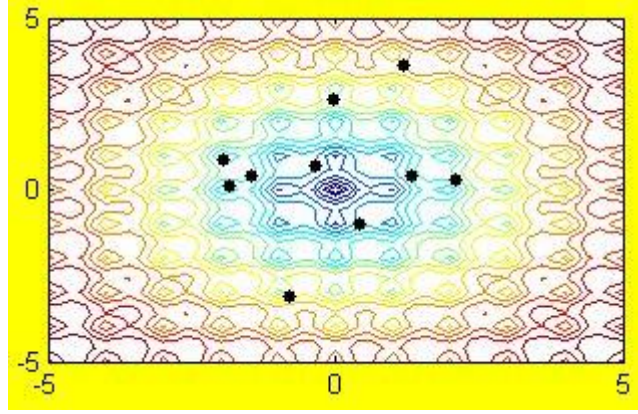


Şekil 4. 13. Ackley fonksiyon grafiği (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

$$f(x) = -20 \exp \left(-0.2 \sqrt{0.5 \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right)} \right) - \exp \left(0.5 \left(\sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i) \right) \right) + e + 20 \quad x_i \in [-5, 5] \quad (4.5)$$

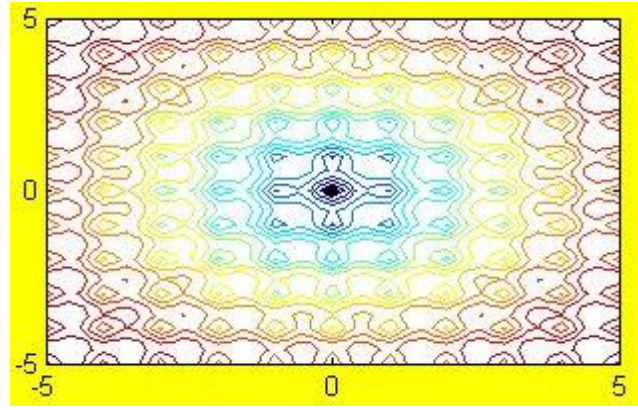
Tablo 4. 5. Ackley test sonuçları (Bingöl ve Alataş, 2015).

Elde edilen çözüm	Optimum çözüm
$X_1 = -2.453112e-03$	$X_1 = 0$
$X_2 = 8.830690e-04$	$X_2 = 0$
$f(x) = 7.555316e-03$	$f^*(x) = 0$



Şekil 4. 14. LŞA optimizasyon öncesi görünüm (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

Başlangıç formasyonu Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4. 15. LŞA optimizasyon sonrası görünüm (Kashan, 2009; Bingöl ve Alataş, 2015).

500 iterasyon sonucunda elde edilen formasyon sonucu Şekil 4.15'te gösterilmiştir.

5. KAOTİK HARİTALI LİG ŞAMPIYONASI ALGORİTMALARI

LŞA'nın yakınsama özelliği, çalıştırma sırasında parametreler için rasgele sayı dizisi kullanan rassallığın doğasına oldukça bağlıdır. LŞA özellikle, farklı rasgele sayı dizileri kullanıldığında elde edilen son sonuçlar birbirine çok yakın olabilir ancak eşit olmayabilir. Aynı optimum değerlere ulaşabilmek için farklı iterasyon sayılarına ihtiyaç duyulabilir. Fakat diğer evrimsel hesaplama temelli algoritmalarda da olduğu gibi, LŞA'nın performansını arttırmayı garanti eden özel bir sayı üreticine bağlı analitik sonuçlar yoktur (Alataş, 2007; Caponetto vd., 2003).

Son zamanlarda kaotik sayı dizileri rasgele sayı dizilerinin yerini almış ve bazen güzel sonuçlar da verebilmiştir. Bunlara örnek olarak güvenli iletişim, doğal fenomen modelleme (Brannström, 2004), doğrusal olmayan devreler (Arena vd., 2000), imge işleme (Belkhouche vd., 2004) verilebilir. Ayrıca evrimsel algoritmalarının performanslarını arttırmak için de kullanılmıştır (Caponetto vd., 2003). Kaotik sayı dizilerinin kullanılması teorik olarak bunların tahmin edilemezliği, yayılmış spektrumlu karakteristiği ve ergodik özelliklerinden dolayı artmıştır (Alataş, 2007).

Tezin bu bölümünde LŞA'nın parametrelerinin belirlenmesinde rasgele tabanlı bir seçim söz konusu olduğunda farklı kaotik sistemler rasgele sayı dizilerinin yerine kullanılmış ve altı farklı LŞA önerilmiştir. Bu şekilde LŞA'nın global yakınsama özelliğinin artırılması ve lokal çözümde takılıp kalması önlenmeye çalışılmıştır. Örneğin g_1 , r_1 ve r_2 değerleri yakınsamayı etkileyen faktörlerdir. Ancak bu parametreler faz uzayında algoritmanın ergodik özelliğini garanti edemezler çünkü bunlar LŞA'da rasgeledir.

Aşağıdaki alt bölümlerde sırayla kaotik haritalı LŞA yöntemleri için kullanılan kaotik haritalar tanımlanmış sonrasında da önerilen yöntemler açıklanmıştır. Daha sonra kalite testi fonksiyonları tanımlanarak önerilen yöntemlerin diğer LŞA yöntemleriyle karşılaştırılması yapılmıştır.

5.1. Kaotik Haritalar

Kompleks fenomenleri modellemede, örneklemede, sayısal analizde, karar vermede ve özellikle bu tez konusunu da içeren sezgisel optimizasyon yöntemlerinde uzun periyotlu

rasgele sayı dizileri çok önemli bir yer tutmaktadır. Üretilen sayılar için fazla depolama alanı kullanılmamalı ve istenen bir doğruluğa ulaşmak için fazla zamana gereksinim duyulmamalıdır. Bu şekilde üretilen sayılar bir uygulama için yeterince “rasgele” olurken başka bir uygulama için yeterince rasgele olmayabilir (Alataş, 2007).

Kaos periyodik olmayan, yakınsamayan ve sınırlı olan, doğrusal olmayan dinamik sistemlerde bulunan deterministik, rasgele benzeri bir süreçtir. Ayrıca başlangıç şartları ve parametrelerine oldukça bağlıdır (Schuster, 1988). Kaosun doğası görünürde rasgele ve tahmin edilemezdir. Ayrıca kendi içerisinde bir düzene sahiptir. Hatta çoğu kez düzen içinde düzensizlik ya da düzensizlik içinde düzen olarak da tanımlanmaktadır. Matematiksel olarak, basit deterministik dinamik bir sistemin rasgeleliğidir ve kaotik sistem rasgelelik kaynağı olarak düşünülebilir (Alataş, 2007).

Kaotik bir harita ayrık zamanlı dinamik bir sistemdir ve kaotik durumda ilerleyen

$$x_{k+1} = f(x_k), 0 < x_k < 1, k = 0, 1, 2, \dots \quad (5.1)$$

genel Denklem (5.1)'de temsil edilebilir. Kaotik sayı dizisi

$$\{x_k : k = 0, 1, 2, \dots\}$$

yayılmış spektrumlu rasgele sayı dizisi olarak kullanılabilir (Alataş, 2007).

Kaotik sayı dizilerinin üretilmelerinin ve depolanmalarının kolay ve hızlı olduğu ispatlanmıştır. Sadece birkaç fonksiyon (kaotik harita) ve birkaç parametre (başlangıç şartı) çok uzun diziler için bile yeterlidir. Ayrıca, çok fazla sayıda farklı sayı dizisi basitçe başlangıç şartı değiştirilerek çok kolay bir şekilde üretilebilir. Bu sayı dizilerinin bir özelliği de deterministik olmaları ve tekrar üretilebilmeleridir (Alataş, 2007).

Kaotik Haritalı Lig Şampiyonası Algoritması (KHLŞA)'da ergodik, düzensiz ve rassallık özelliklerine sahip kaotik haritalar kullanılarak diğer LŞA yöntemlerine oranla daha kolayca lokal çözümden kaçabilmeyi sağlamak amaçlanmıştır. Bu şekilde global yakınsamanın artırılması hedeflenmiştir. Rasgele sayılar özel bir kaotik harita bir adım ilerletilerek üretilmektedir. Yani, LŞA'da ilk iterasyondan itibaren rasgele sayı üretimine ihtiyaç duyulduğunda seçilen kaotik harita seçilen bir başlangıç noktasından başlanarak birer adım ilerletilir (Alataş, 2007).

LŞA parametreleri için kaotik sayı üreten haritalar olarak Gaus, Çember, Lojistik, Sinüzoidal, Çadır haritaları kullanılmıştır.

5.1.1. Gaus Harita

Literatürde test amaçlı kullanılan Gauss haritası (Peitgen vd., 1992) Denklem (5.2) ve (5.3)'teki gibi temsil edilmektedir.

$$X_{n+1} = \begin{cases} 0 & , X_n = 0 \\ 1/X_n \bmod(1) & , X_n \in (0,1) \end{cases} \quad (5.2)$$

$$1/X_n \bmod(1) = \frac{1}{X_n} - \left\lfloor \frac{1}{X_n} \right\rfloor \quad (5.3)$$

5.1.2. Çember Harita

Çember harita (Zheng, 1994) Denklem (5.4)'te gösterildiği şekilde temsil edilmektedir.

$$X_{n+1} = X_n + b - (a/2\pi)\sin(2\pi X_n) \bmod(1) \quad (5.4)$$

5.1.3. Lojistik Harita

En basit ve en çok kullanılan haritalardan birisidir (May, 1976). Bu kaotik davranış gösteren biyolojik popülasyonların doğrusal olmayan dinamiklerinde ortaya çıkmıştır. Lojistik harita Denklem (5.5)'te verilmiştir (Alataş, 2007).

$$X_{n+1} = aX_n(1 - X_n) \quad (5.5)$$

5.1.4. Sinüzoidal Harita

Kullanılan üçüncü üreteç sinüzoidal yineleyici (Peitgen vd., 1992) olarak adlandırılmaktadır ve Denklem (5.6)'daki gibi temsil edilmektedir (Alataş, 2007).

$$X_{n+1} = ax_n^2 \sin(\pi x_n) \quad (5.6)$$

$a=2.3$ ve $X_0=0.7$ seçildiğinde denklem (5.7)'deki gibi basitleştirilebilir.

$$X_{n+1} = \sin(\pi x_n) \quad (5.7)$$

5.1.5. Çadır Harita

Çadır harita lojistik haritaya benzemektedir. (0, 1) aralığında sayılar üretmektedir ve formülü Denklem (5.8)'de gösterilmiştir (Alataş, 2007).

$$X_{n+1} = \begin{cases} X_n / 0.7 & , X_n < 0.7 \\ 10/3X_n(1 - X_n) & , \text{değilse} \end{cases} \quad (5.8)$$

5.2. Lig Şampiyonası Algoritmasında Kaotik Harita Kullanımı

Bu bölümde problem boyutu 2 olan, çözüme yaklaşma ve çözümden uzaklaşma katsayıları 0,5 olan, lig boyutu 10, sezon sayısı 50 olan ve 5 adet kaotik harita kullanılarak en son uygunluk değeri üzerinden global minimuma yaklaşmayı deneyen 6 adet yeni LŞA modeli üzerinde test fonksiyonları 10'ar defa çalıştırılarak elde edilen sonuçları belirtilmiştir.

Yeni KHLŞA'ları basitçe aşağıda sınıflandırılmış ve açıklanmıştır.

Kaotik Haritalı Lig Şampiyonası Algoritması 1 (KHLŞA1): Denklem (3.2), (3.3), (3.4) ve (3.5)'in r_2 parametresi seçilen kaotik haritayla değiştirilir ve bu parametre değeri (0, 1) arasındadır.

Kaotik Haritalı Lig Şampiyonası Algoritması 2 (KHLŞA2): Denklem (3.2), (3.3), (3.4) ve (3.5)'in r_1 parametresi seçilen kaotik haritayla değiştirilir ve bu parametre değeri (0, 1) arasındadır.

Kaotik Haritalı Lig Şampiyonası Algoritması 3 (KHLŞA3): Denklem (3.2), (3.3), (3.4) ve (3.5)'in r_1 ve r_2 parametreleri seçilen kaotik haritayla değiştirilir ve bu parametrelerin değeri (0, 1) arasındadır.

Kaotik Haritalı Lig Şampiyonası Algoritması 4 (KHLŞA4): Denklem (3.1)'in r parametresi seçilen kaotik haritayla değiştirilir ve bu parametre değeri (0, 1) arasındadır.

Kaotik Haritalı Lig Şampiyonası Algoritması 5 (KHLŞA5): Denklem (3.1)'in r parametresi ve (3.2), (3.3), (3.4) ve (3.5)'in r_1 parametresi seçilen kaotik haritayla değiştirilir ve bu parametrelerin değeri (0, 1) arasındadır.

Kaotik Haritalı Lig Şampiyonası Algoritması 6 (KHLŞA6): Denklem (3.1)'in r parametresi ve (3.2), (3.3), (3.4) ve (3.5)'in r_2 parametresi seçilen kaotik haritayla değiştirilir ve bu parametrelerin değeri (0, 1) arasındadır.

Tüm algoritmalar 10 kez çalıştırıp x_1 , x_2 ve $f(x)$ sonuçları kaydedilmiştir. Kaydedilen sonuçlardan istatistiksel analizler gerçekleştirilmiş; Rastrigin, Sphere, Rosenbrock, Griewank ve Ackley fonksiyonları için sırayla Tablo 5.1, Tablo 5.2, Tablo 5.3, Tablo 5.4 ve Tablo 5.5'te sunulmuştur. Her yöntem için Ortalama (Ort), En İyi (Min), En Kötü (Maks) ve Standart Sapma (SS) hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tablo 5. 1. Rastrigin fonksiyonu için KHLŞA yöntemleri ile elde edilen sonuçlar

Gauss Harita x_1						
F1	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-0,095743892	-0,095480359	-0,104461937	0,001920318	-0,003086846	0,094030599
Maks	0,0542474	0,9939053	0,02036509	0,06545037	0,02512303	1,004411
Min	-1,000739	-0,9969766	-1,018474	-0,0375543	-0,02996414	-0,06178185
Ss	0,318572943	0,566081685	0,322484477	0,030172245	0,014689239	0,3205417
Gauss Harita x_2						
F1	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-0,003361452	-0,01509639	-0,308663749	-0,008831508	0,110293775	0,102407346
Maks	0,0547341	0,01764173	0,009732717	0,00655926	1,006996	0,9939478
Min	-0,03328466	-0,0608363	-1,985525	-0,03452939	-0,01753582	-0,04502811
Ss	0,02442339	0,02335053	0,669047224	0,013986398	0,315498501	0,31393213
Gauss Harita $f(x)$						
F1	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,278833031	0,464828566	0,848193573	0,212092837	0,211099522	0,362543876
Maks	1,002007	1,056661	4,037436	0,8515766	1,027966	1,74301
Min	0,000148258	-0,1561514	0,000769639	0,002820699	0,000139408	0,005672997
Ss	0,380177312	0,458195915	1,4055803	0,265946826	0,320604312	0,578892388
Çember Harita x_1						
F1	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,108524802	-0,114431798	0,006400904	0,003447908	-0,016265195	-0,09856786
Maks	1,01317	0,05176658	0,03044436	0,06545037	0,02464724	0,04974553
Min	-0,02932755	-1,010065	-0,0443731	-0,03345856	-0,08223387	-1,003825
Ss	0,3187388	0,316632695	0,021349604	0,026486111	0,029042071	0,319100656
Çember Harita x_2						
F1	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-0,10851656	-0,099648373	0,101483276	0,08738806	-0,0987129	-0,09404793
Maks	0,0506938	0,03667377	0,9931303	0,9891337	0,04594068	0,0467548
Min	-0,9695675	-0,9882931	-1,016785	-0,03452939	-0,9937039	-0,9954309
Ss	0,304257285	0,313134858	0,72305517	0,317142318	0,31508354	0,317774107
Çember Harita $f(x)$						

F1	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,542128647	0,560039917	0,744565538	0,289690594	0,368460148	0,443428123
Maks	1,289429	1,069402	1,667893	1,004382	1,312451	1,13089
Min	0,003342475	0,01196657	0,01954748	0,002820699	0,008834729	0,05515953
Ss	0,535016329	0,38085885	0,636613739	0,363253034	0,463174834	0,434352704
Lojistik Harita x_1						
F1	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,005870455	-0,002878129	-0,112179588	0,004280835	0,099814843	-0,19788154
Maks	0,02844653	0,9936458	0,03788098	0,02851466	0,999602	0,02404822
Min	-0,0201722	-0,9787818	-1,020047	-0,02252943	-1,011624	-0,9966075
Ss	0,014666889	0,465290661	0,320510992	0,016776488	0,568107785	0,419978692
Lojistik Harita x_2						
F1	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-0,00525461	0,092474582	-0,087545449	-0,006506004	0,002378712	-0,00143671
Maks	1,017543	0,9985224	0,9953707	0,03702805	0,0351018	0,0239958
Min	-0,995257	-0,9980126	-1,010288	-0,0228892	-0,04079263	-0,02552843
Ss	0,475110592	0,553614606	0,734477568	0,017423728	0,019016666	0,014984773
Lojistik Harita $f(x)$						
F1	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,370382452	0,837283459	0,960566027	0,116236673	0,42389964	0,34004466
Maks	1,099088	2,204574	1,632858	0,2714943	1,061638	1,016122
Min	0,000608098	0,06573189	0,009571771	0,000374072	0,002218454	0,002606635
Ss	0,452373442	0,628437577	0,49188679	0,088334976	0,44387303	0,396756231
Sinuzoidal Harita x_1						
F1	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-0,103435241	0,002219467	-0,201694275	0,006451739	-0,000303231	0,021363485
Maks	0,04776885	0,04764745	0,06421376	0,06007571	1,017203	1,035161
Min	-0,9649395	-0,02639067	-0,9981444	-0,03049573	-1,002117	-0,9622311
Ss	0,304490626	0,022027592	0,417949835	0,034587338	0,656262285	0,472243629
Sinuzoidal Harita x_2						
F1	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-0,003453758	0,10231804	0,015056491	0,100415122	0,015805123	-0,00943238
Maks	0,07493878	0,9861349	0,04739358	1,013814	1,100413	0,03820951
Min	-0,08153415	-0,03029322	-0,01541283	-1,000421	-1,006054	-0,06404178
Ss	0,043245568	0,311581277	0,020170655	0,724579174	0,497782863	0,032909179
Sinuzoidal Harita $f(x)$						
F1	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,651028988	0,305730834	0,558950577	1,04391385	1,110155953	0,740289477
Maks	1,863618	1,039431	1,022373	1,64939	4,229064	1,334296
Min	0,01368633	0,009352529	0,000536465	0,5029375	0,02576256	0,03403627
Ss	0,647895325	0,382582984	0,386658698	0,37984945	1,245926036	0,414555052
Çadır Harita x_1						
F1	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,003018542	-0,00096816	0,09386906	0,102982572	-0,006432085	0,010481935
Maks	0,05656267	0,9607445	1,031069	1,008985	0,9653329	0,9916374

Min	-0,04760292	-0,9937908	-1,011001	-0,03732613	-0,9453376	-1,011898
Ss	0,028131299	0,461066123	0,86696627	0,318820405	0,451268864	0,47333044
Çadır Harita x_2						
F1	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-0,007804591	0,085652325	0,002390597	-0,007624886	0,19930851	0,105249654
Maks	0,02048979	1,000732	0,9870952	0,0088345	0,9887464	0,9962277
Min	-0,05043438	-0,9657734	-0,9765232	-0,03301503	-0,04712863	-0,00448336
Ss	0,021609509	0,564427814	0,463539782	0,013753731	0,408232193	0,313361088
Çadır Harita $f(x)$						
F1	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,240277187	0,814224957	1,20422434	0,204416629	0,807507184	0,544159615
Maks	0,7518195	1,289246	2,315231	1,049463	1,57763	1,820413
Min	0,00165408	0,04708477	0,0645561	0,000739422	0,0146841	0,000946447
Ss	0,296522381	0,436222607	0,576592696	0,310621426	0,572884419	0,648498558

Tablo 5. 2. Sphere fonksiyonu için KHLŞA yöntemleri ile elde edilen sonuçlar

Gauss Harita x_1						
F2	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,000580037	-6,19775E-05	-0,008434777	5,57013E-05	0,000211859	0,0008209
Maks	0,002172599	0,000541587	0,005223012	0,000553588	0,002271658	0,005080579
Min	-0,000695262	-0,002284185	-0,03857743	-0,000270235	-0,001999275	-0,002041388
Ss	0,000973429	0,000810921	0,01350009	0,000289936	0,001138909	0,001936309
Gauss Harita x_2						
F2	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-0,000156255	3,89417E-05	-0,022150332	-1,06347E-05	5,39956E-05	0,001347407
Maks	0,000310667	0,000459601	0,014558	0,000473963	0,002646203	0,007996771
Min	-0,001247957	-0,000459471	-0,2191758	-0,000424398	-0,003594489	-0,002853725
Ss	0,000484234	0,000261782	0,069759868	0,000332151	0,00168678	0,003175334
Gauss Harita $f(x)$						
F2	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	1,4247E-06	6,64389E-07	0,005103877	1,78164E-07	3,77589E-06	1,4936E-05
Maks	6,17094E-06	5,42862E-06	0,04952624	4,05774E-07	1,2937E-05	6,81156E-05
Min	-0,001247957	4,74321E-09	2,70941E-06	5,14752E-09	8,06809E-09	3,79947E-08
Ss	2,20245E-06	1,68139E-06	0,015610133	1,45844E-07	4,30963E-06	2,31131E-05
Çember Harita x_1						
F2	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	3,58315E-05	-3,174E-05	-0,000338813	-7,51523E-05	-0,000198163	8,7042E-05
Maks	0,000575837	0,000347636	0,000252847	0,001044872	0,001671799	0,003030466
Min	-0,000451845	-0,000356125	-0,00174989	-0,001164496	-0,001977397	-0,001528346
Ss	0,000282754	0,000227399	0,000651326	0,00063562	0,001141701	0,001209085
Çember Harita x_2						
F2	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-4,15649E-05	-0,000147806	-0,000146554	1,19651E-05	-4,36317E-05	1,11941E-05
Maks	0,000116128	5,69065E-05	0,00154132	0,000447699	0,001059163	0,000729213

Min	-0,00387822	-0,000722124	-0,001604029	-0,000730931	-0,00084647	-0,0001014358
Ss	0,000145376	0,000237621	0,000908757	0,000315452	0,000501342	0,000557896
Çember Harita $f(x)$						
F2	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	9,3987E-08	1,2021E-07	1,25893E-06	4,58959E-07	1,44052E-06	1,60352E-06
Maks	4,81994E-07	6,42313E-07	3,81862E-06	1,38915E-06	4,23662E-06	9,71548E-06
Min	3,88545E-11	4,81169E-10	1,15755E-08	1,31979E-09	6,8506E-08	1,87082E-08
Ss	1,5126E-07	1,97885E-07	1,53482E-06	5,0774E-07	1,50301E-06	3,01148E-06
Lojistik Harita x_1						
F2	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	9,80769E-05	-1,25159E-05	3,86305E-06	0,000136076	-0,000258922	-0,000453367
Maks	0,00032516	9,09419E-05	0,000295193	0,00070379	0,000688816	0,00134152
Min	-6,20956E-05	-0,000191265	-0,000287307	-0,00011852	-0,001556546	-0,004488753
Ss	0,000119649	9,12454E-05	0,000199732	0,000238777	0,000750701	0,001689736
Lojistik Harita x_2						
F2	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	5,64556E-05	-1,64404E-05	9,26508E-06	-8,11707E-05	-0,000327694	0,000424522
Maks	0,000375003	0,000236509	0,000459576	0,000308668	0,00377891	0,002866853
Min	-0,00010172	-0,000149635	-0,000294226	-0,000737299	-0,005106759	-0,000461477
Ss	0,000141974	0,000119383	0,000228248	0,00033226	0,002133689	0,001025984
Lojistik Harita $f(x)$						
F2	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	4,38316E-08	2,11519E-08	1,46676E-07	1,75756E-07	4,77943E-06	3,90259E-06
Maks	2,46356E-07	6,22983E-08	7,08716E-07	5,43653E-07	2,68908E-05	2,02669E-05
Min	1,75618E-09	6,82365E-10	1,10395E-09	3,6808E-09	1,2333E-07	2,31917E-08
Ss	7,3306E-08	2,26394E-08	2,1464E-07	2,04451E-07	8,95412E-06	6,68746E-06
Sinuzoidal Harita x_1						
F2	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	2,15007E-06	-4,63729E-05	3,31E-05	2,16888E-06	-2,10699E-05	-7,91653E-07
Maks	0,000158302	0,000131183	0,000234465	2,62926E-05	2,18007E-05	1,99205E-05
Min	-5,99992E-05	-0,000303437	-0,000130672	-3,33338E-05	-0,000167597	-1,79375E-05
Ss	6,01014E-05	0,000116999	0,000103734	2,2715E-05	5,3228E-05	1,0996E-05
Sinuzoidal Harita x_2						
F2	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-3,49714E-06	1,35883E-05	5,68264E-05	-5,68147E-06	9,89541E-06	-1,40877E-05
Maks	8,03542E-05	0,000443632	0,000225412	5,08207E-05	8,72704E-05	1,88893E-05
Min	-0,000105314	-0,000163728	-0,00027218	-6,83634E-05	-1,11488E-05	-9,59808E-05
Ss	5,61291E-05	0,000166529	0,000146206	3,07452E-05	2,89745E-05	4,11683E-05
Sinuzoidal Harita $f(x)$						
F2	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	6,10313E-09	4,4051E-05	3,3248E-08	1,35206E-09	4,52859E-09	1,83385E-09
Maks	3,15164E-08	0,000440157	1,29056E-07	5,75179E-09	3,57049E-08	9,31987E-09
Min	4,688E-10	1,41319E-10	3,99262E-11	1,27443E-13	2,92884E-11	4,09761E-11
Ss	9,64088E-09	0,000139178	3,87911E-08	1,79206E-09	1,11951E-08	3,4112E-09

Çadır Harita x_1						
F2	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,000238131	1,11822E-05	-0,000527561	-9,57532E-07	2,66922E-05	1,39493E-05
Maks	0,000979147	0,00065489	0,002055851	0,000870207	0,000214051	0,002273769
Min	-0,000139565	-0,000617782	-0,006196222	-0,000884473	-3,96457E-05	-0,002215243
Ss	0,000347141	0,000334853	0,002311418	0,000440505	7,38742E-05	0,001153782
Çadır Harita x_2						
F2	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	5,78423E-07	6,78715E-06	0,000818878	-0,000237826	2,26175E-06	-0,000229601
Maks	0,000334421	0,0004842	0,01166707	0,00012432	0,000105876	0,001329709
Min	-0,000400553	-0,000788703	-0,006360281	-0,001249618	-0,000168482	-0,002777121
Ss	0,00021021	0,000336761	0,004436925	0,000436493	7,20944E-05	0,001259419
Çadır Harita $f(x)$						
F2	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	2,04952E-07	2,03152E-07	2,34749E-05	3,29823E-07	1,03071E-08	2,67848E-06
maks.	9,62542E-07	6,23477E-07	0,000174514	1,6048E-06	7,42042E-08	8,28982E-06
Min	2,14825E-08	2,98714E-09	1,77511E-07	1,15188E-10	2,14021E-11	9,43564E-08
Ss	2,93015E-07	2,59287E-07	5,4451E-05	5,2438E-07	2,27993E-08	3,24688E-06

Tablo 5. 3. Rosenbrock fonksiyonu için KHLŞA yöntemleri ile elde edilen sonuçlar

Gauss Harita x_1						
F3	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-2,6411064	0,3977813	5,9656843	-5,4473089	6,70928657	-2,86930406
Maks	17,71875	17,9695	34,13681	18,16423	24,95062	44,24644
Min	-32,69045	-24,66492	-24,51613	-39,89869	-16,53763	-39,59537
Ss	14,43117607	10,99229048	20,17173107	19,52839991	12,70288917	24,76297426
Gauss Harita x_2						
F3	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	83,8741939	108,5732076	381,3559693	372,029489	189,7879395	560,8860263
Maks	315,1605	606,2054	1161,958	1590,823	623,229	1958,081
Min	-40,14344	2,598589	-2,692159	21,54082	-2,025015	2,921742
Ss	116,793214	200,1842903	427,5325923	486,7676046	240,0881014	692,2142261
Gauss Harita $f(x)$						
F3	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	449,284408	170,381104	1170,707348	590,022307	425,3869523	1016,097206
Maks	3474,846	1122,169	3735,998	1789,891	1269,237	3016,599
Min	3,864043	5,260759	4,876083	13,44135	5,152583	11,15266
Ss	1070,895376	345,2755515	1184,503783	678,2675387	379,0654063	1017,243674
Çember Harita x_1						
F3	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-0,4026535	2,85684583	6,5998613	0,1361041	-18,8647813	7,7681741
Maks	28,93169	31,27425	40,14819	41,88046	23,06919	44,80887
Min	-34,28634	-21,80255	-18,01814	-38,65093	-43,23333	-40,23804

Ss	21,94986998	15,5847545	18,76904028	26,09546688	20,10647829	25,75563789
Çember Harita x_2						
F3	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	434,013266	206,2776599	360,4177187	613,5366342	723,3076978	658,6588914
maks.	1176,312	981,1012	1605,708	1755,335	1896,681	2007,233
Min	2,952607	0,9907026	3,856647	2,374315	3,019878	7,865494
Ss	465,3029537	321,0522437	504,9905668	671,5903034	614,7641215	819,0614928
Çember Harita $f(x)$						
F3	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	509,673065	345,4184436	1104,468761	1207,410545	1267,538331	2107,554164
Maks	1593,71	1829,945	5339,306	2970,152	5083,487	11625,28
Min	12,02498	4,410423	1,509836	8,133329	5,711206	82,72424
Ss	576,1622364	558,2850298	1652,145458	1045,362936	1478,683708	3412,194341
Lojistik Harita x_1						
F3	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	4,033204486	8,3028086	-0,8934321	-11,4518051	15,0238123	-0,4266616
Maks	29,14998	33,09081	10,7185	23,71704	44,19435	35,42451
Min	-15,94978	-7,724615	-8,095397	-41,39694	-34,33438	-29,45739
Ss	12,80755313	12,56630774	5,625782377	25,12315399	22,50707303	21,54537314
Lojistik Harita x_2						
F3	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	164,3491897	210,7535395	29,9377745	699,661542	682,43313	417,343143
Maks	848,5977	1091,963	118,6523	1711,754	1950,606	1253,507
Min	0,1529545	0,1412903	1,021656	17,52562	15,27281	12,59902
Ss	256,2716236	350,622748	37,49479816	701,2194486	692,1314145	438,3636537
Lojistik Harita $f(x)$						
F3	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	382,3126815	400,5233655	223,8972102	1040,27994	1445,76451	771,33941
Maks	1375,956	1953,484	1512,828	2178,821	2508,09	1975,632
Min	3,359999	1,096013	0,05592526	254,7564	107,2361	130,4765
Ss	447,7719347	623,1635894	458,5082378	726,1882935	877,9651107	650,8163137
Sinuzoidal Harita x_1						
F3	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	6,11776939	5,61382494	9,47587713	-3,7360104	-3,80097165	6,14906624
Maks	27,69046	43,48205	38,05779	8,872967	5,053743	35,526
Min	-4,612184	-44,69685	-6,656499	-15,81722	-22,71242	-9,731879
Ss	9,420469367	22,99238927	14,37476516	8,294565507	8,918524671	12,49182876
Sinuzoidal Harita x_2						
F3	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	117,1661358	509,2846245	276,0363172	75,9133813	86,73136113	178,2994725
Maks	764,6496	2001,045	1447,124	247,5384	514,6198	1259,528
Min	0,814165	0,3435093	0,6711856	1,100433	0,9121593	-0,7908149
Ss	235,412786	791,5816299	500,6387299	81,8308084	160,6311758	385,2681607

Sinuzoidal Harita $f(x)$						
F3	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	285,9312818	694,7965683	350,915273	188,2742771	299,001092	524,1447011
Maks	1158,441	3135,724	1534,947	982,9575	1535,949	2597,909
Min	2,334595	4,525215	5,65042	9,588921	12,07717	6,261611
Ss	430,2300012	1071,507843	597,1338794	292,0150979	484,3211981	915,1560068
Çadır Harita x_1						
F3	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	3,17489	0,8505941	-2,882192	0,7079783	0,1613921	4,8812414
Maks	28,41492	33,54996	26,98184	44,69199	5,935644	43,75606
Min	-21,06433	-21,78539	-33,06094	-33,09989	-7,728013	-26,65928
Ss	14,23269172	16,26889795	17,89373178	20,5397662	5,456681799	21,84484937
Çadır Harita x_2						
F3	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	192,2212992	238,9443789	296,5346447	379,258071	26,7885252	453,6031413
maks.	807,8603	1126,916	1093,016	2001,525	59,09177	1913,345
Min	-3,016492	2,314491	0,2542573	12,72095	3,093608	6,568713
Ss	261,6164006	357,6845039	373,8248801	658,3558896	19,02063819	590,7208152
Çadır Harita $f(x)$						
F3	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	634,770193	432,3068668	452,1017089	1163,20334	95,7447458	745,485156
Maks	2202,674	1232,533	1160,158	3631,757	355,977	1983,73
Min	7,90014	0,7085192	4,411889	138,3889	1,242208	21,29096
Ss	624,9721976	470,2033268	404,6604889	1038,117554	113,1209924	632,6472379

Tablo 5. 4. Griewank fonksiyonu için KHLŞA yöntemleri ile elde edilen sonuçlar

Gauss Harita x_1						
F4	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	2,459047764	0,35892606	-1,1463584	0,074968367	-2,60468474	-1,433034254
Maks	15,48896	12,5521	24,90119	12,49657	12,3972	6,789462
Min	-9,146057	-9,602887	-47,36252	-12,48347	-18,87562	-9,233644
Ss	7,75819561	6,731354288	21,04012082	8,632912885	9,247969093	4,927536985
Gauss Harita x_2						
F4	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	2,6231679	3,147213	0,8853856	1,79748116	-6,225599635	-4,047989457
Maks	17,77604	17,82899	22,38846	13,31721	4,569814	8,802224
Min	-13,64256	-18,0587	-26,85498	-8,964523	-17,45199	-26,47009
Ss	10,10354693	11,59314451	14,33520507	7,002488131	7,879440689	11,04679825
Gauss Harita $f(x)$						
F4	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,096310387	0,073407213	0,232199707	0,04522955	0,084684106	0,078548718
Maks	0,1808957	0,1712895	0,6070814	0,07316367	0,1522234	0,1840172
Min	0,02389149	0,02303886	0,09125277	0,000211022	0,01360193	0,01184458

Ss	0,05397029	0,044470791	0,165662875	0,023342853	0,046024674	0,06670863
Çember Harita x_1						
F4	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-2,162467528	-0,071778676	7,1486562	-1,18891892	-1,4932673	-0,5842483
Maks	9,431348	15,46517	25,35054	12,57641	15,67391	9,306516
Min	-15,7374	-12,78422	-6,111658	-9,351558	-18,55398	-9,338569
Ss	7,73541317	8,027016165	9,520686523	8,125427863	9,546910933	7,151586672
Çember Harita x_2						
F4	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-1,960171488	0,9504931	-1,318765935	-3,60747183	-5,78330214	0,9397637
Maks	9,431348	9,383101	17,89922	13,31581	0,394198	12,99596
Min	-13,48062	-17,3929	-17,73006	-13,60483	-13,58172	-9,338569
Ss	7,221735817	8,557428232	11,22432939	7,862802348	4,715369776	7,151586672
Çember Harita $f(x)$						
F4	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,061752883	1,804349248	0,107260654	0,059397908	0,071544961	0,051298654
Maks	0,1795931	14,39863	0,2632951	0,1366544	0,1452679	0,1265004
Min	0,004835416	0,03377883	0,02527697	0,01349256	0,02597132	0,01935349
Ss	0,05155406	4,521208132	0,071739535	0,039779641	0,037598061	0,036444547
Lojistik Harita x_1						
F4	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-2,74874583	0,0353343	0,9679132	1,15822553	0,2881503	-0,893627494
Maks	3,27607	16,02359	6,710913	12,72098	12,5342	12,59869
Min	-9,747091	-15,83484	-12,61876	-9,712606	-12,63413	-12,63569
Ss	4,295640841	11,30738584	6,79820951	7,916780679	7,951958235	7,273588996
Lojistik Harita x_2						
F4	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-1,41974311	-5,2839136	-2,276862656	-2,5936075	-2,279254263	-2,207860191
Maks	8,844592	4,463493	8,846646	9,742252	8,704364	9,041028
Min	-21,85074	-13,22496	-17,73109	-17,90122	-8,917415	-13,59053
Ss	11,72225757	6,44352959	8,37432379	9,306340137	4,720953543	8,22953676
Lojistik Harita $f(x)$						
F4	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,072963988	0,069279927	0,05576112	0,076730284	0,042522999	0,060231816
Maks	0,1636612	0,1210316	0,1803184	0,2518451	0,1126023	0,1157311
Min	0,0167764	0,008006726	0,01021584	0,01060488	0,008912344	0,00633096
Ss	0,047199024	0,034558524	0,051704939	0,071555939	0,02966006	0,033457147
Sinuzoidal Harita x_1						
F4	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	2,45938309	4,69392925	-0,974062877	0,02060188	0,641170009	0,623678395
Maks	12,4146	12,74058	9,065467	9,748982	9,435429	12,4381
Min	-9,395931	-3,25276	-9,508183	-6,382906	-9,343703	-9,205374
Ss	5,804087811	5,615573328	6,873614411	5,681700645	5,451258715	6,35683

Sinuzoidal Harita x_2						
F4	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-1,895492844	-2,279317585	1,30665469	2,7220414	1,03974894	-3,47580019
Maks	8,841761	4,700029	8,610288	18,19247	13,5493	8,937793
Min	-9,079823	-13,66785	-13,56877	-8,916699	-4,56513	-8,865326
Ss	6,664250227	6,106907848	6,663497407	9,472208827	6,472801478	6,46137441
Sinuzoidal Harita $f(x)$						
F4	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,04178971	0,039528104	0,047546222	0,060939958	0,045171567	0,047447777
Maks	0,07173326	0,08634247	0,09278628	0,1416481	0,1025615	0,09208745
Min	0,009879718	0,007746862	0,004864176	0,02665667	0,003441731	0,008991208
Ss	0,018835374	0,023143518	0,027259405	0,037284033	0,030670806	0,026719617
Çadır Harita x_1						
F4	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-0,24317908	5,0066511	1,53517022	-0,33230775	-3,4796823	-0,67875061
Maks	12,4265	15,60599	24,74267	9,429383	6,399205	12,61895
Min	-11,600851	-3,519701	-9,535868	-6,498538	-12,63991	-18,67099
Ss	7,973334024	7,455109429	12,15478465	5,23927966	6,216976263	9,533792705
Çadır Harita x_2						
F4	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	2,6901383	0,89469419	-5,0561635	-0,415993386	-2,31050964	-1,768311905
Maks	8,817161	13,47537	21,20229	17,75569	13,29642	13,27669
Min	-8,580497	-4,594351	-22,78872	-13,12339	-26,45236	-18,29965
Ss	6,103313754	5,766759897	14,18189084	8,509786857	11,45472877	8,693974871
Çadır Harita $f(x)$						
F4	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,056575955	0,068035039	0,159465042	0,045137204	0,064398795	0,073683066
Maks	0,1337485	0,1568131	0,3603029	0,09010451	0,2023032	0,1937358
Min	-0,102313	0,01707002	0,03576725	0,01870045	0,01376785	0,00948852
Ss	0,069631613	0,042920078	0,099360127	0,025824579	0,057213377	0,064691938

Tablo 5. 5. Ackley fonksiyonu için KHLŞA yöntemleri ile elde edilen sonuçlar

Gauss Harita x_1						
F5	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-0,002885531	0,00028512	-0,038697405	0,001012788	-5,39762E-05	-0,000669255
Maks	0,006614385	0,004454763	0,03037112	0,0102581	0,004864786	0,022164163
Min	-0,02864254	-0,003422675	-0,3609559	-0,001148895	-0,001080241	-0,02412529
Ss	0,010242791	0,002513323	0,114790966	0,003300319	0,002846539	0,011149605
Gauss Harita x_2						
F5	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-0,001003387	0,00108515	-0,102327161	-2,94475E-05	0,001384004	-0,003336625
Maks	0,01423152	0,005112085	0,04269461	0,001052072	0,01594786	0,01117139
Min	-0,0156839	-0,004374134	-0,9248211	-0,000885064	-0,01280889	-0,02463675

Ss	0,00823576	0,002661055	0,291456795	0,000573766	0,008265459	0,009710107
Gauss Harita $f(x)$						
F5	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,03243464	0,008836272	0,630133227	0,005780346	0,022220029	0,035392361
Maks	0,1043254	0,01840829	2,600288	0,03194257	0,0545461	0,0857905
Min	0,004166646	0,001255486	0,03681836	0,000247157	0,000677048	0,001195599
Ss	0,030868232	0,006565894	1,03404137	0,009817337	0,015191849	0,036052162
Çember Harita x_1						
F5	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,001579323	7,12644E-06	0,004570906	0,000322925	-0,000970387	0,001085869
Maks	0,007200692	0,003502523	0,02063971	0,003927964	0,007713712	0,0046138
Min	-0,00044852	-0,002716359	-0,002304666	-0,001349224	-0,007064472	-0,001157705
Ss	0,00250554	0,002148361	0,006597046	0,001556363	0,004672709	0,001925965
Çember Harita x_2						
F5	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,000373789	0,000625066	0,00158618	0,002066517	-0,002424937	0,000906695
Maks	0,002252479	0,002212911	0,03294505	0,01446701	0,005582708	0,01164566
Min	-0,000909568	-0,001761531	-0,04083357	-0,001098167	-0,009454812	-0,009378004
Ss	0,001031132	0,001191153	0,018862185	0,004555373	0,00442493	0,00582957
Çember Harita $f(x)$						
F5	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,00574371	0,006242807	0,0519905	0,008937087	0,017642675	0,013221591
Maks	0,02193058	0,01146953	0,159346	0,04648465	0,03247433	0,03844618
Min	0,000141951	0,000292325	0,006771785	0,000658751	0,003166457	0,002275372
Ss	0,007422793	0,003372195	0,053081297	0,01386933	0,010535594	0,013779187
Lojistik Harita x_1						
F5	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,002407242	-0,00027845	0,000472703	0,00220867	-0,003087957	0,00451838
Maks	0,02277712	0,000150299	0,004931139	0,02122228	0,001917022	0,03718848
Min	-0,001412956	-0,001798657	-0,001941997	-0,003929713	-0,01520216	-0,004847791
Ss	0,007425616	0,00058552	0,001828842	0,007067238	0,006322102	0,011803912
Lojistik Harita x_2						
F5	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-0,000526225	1,81227E-05	0,000734126	5,7017E-05	-0,001557861	-9,37856E-05
Maks	0,002301103	0,001714324	0,005850416	0,007623058	0,001579646	0,01002905
Min	-0,008186422	-0,001547844	-0,000841157	-0,004976747	-0,006359083	-0,008907898
Ss	0,002886198	0,000795762	0,002042089	0,003862772	0,002339541	0,005252394
Lojistik Harita $f(x)$						
F5	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,013875199	0,001715276	0,005696006	0,015720151	0,01493974	0,027191082
Maks	0,07834993	0,007192385	0,01802302	0,074259	0,05103146	0,1479912
Min	0,000642137	0,000112402	0,000416554	0,00168242	0,00142855	0,007400969
Ss	0,024094373	0,002361179	0,006100031	0,022307876	0,018945475	0,042826883
Sinuzoidal Harita x_1						

F5	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	7,20492E-05	0,000308995	0,000186113	0,001023735	-0,000191626	-6,53082E-05
Maks	0,000302503	0,002634834	0,000789727	0,0157768	0,000222285	6,08939E-05
Min	-0,000155596	-0,000259232	-0,000562987	-0,003707262	-0,00158851	-0,000499001
Ss	0,000143581	0,000875474	0,000424856	0,005327293	0,000517903	0,000175417
Sinuzoidal Harita x_2						
F5	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	4,97978E-05	0,000478163	0,000489163	-0,000283555	0,001028184	-4,09798E-05
Maks	0,000352191	0,004013936	0,004568438	0,00292892	0,009540402	0,000136991
Min	-0,00015423	-0,000500683	-0,000563469	-0,006030903	-3,21726E-05	-0,000597025
Ss	0,000158749	0,001277791	0,001505159	0,00238223	0,002993244	0,000201915
Sinuzoidal Harita $f(x)$						
F5	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,000590585	0,00230967	0,002709102	0,008495765	0,003383116	0,000377716
Maks	0,000999448	0,01419438	0,01348652	0,05535296	0,02984483	0,002216923
Min	0,000307157	0,000171165	0,000249781	4,3363E-05	3,08729E-05	1,29144E-05
Ss	0,000222055	0,004249975	0,003942648	0,017002998	0,009308605	0,000689637
Çadır Harita x_1						
F5	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-0,00152606	-0,00097149	0,00037082	-0,000431455	-0,001437538	-0,000219421
Maks	0,004067188	0,008542718	0,003372047	0,001780103	0,01053546	0,01172893
Min	-0,01234999	-0,01656204	-0,002322208	-0,003055145	-0,03095322	-0,009790577
Ss	0,005703991	0,006310603	0,001894143	0,001350043	0,010918271	0,006038035
Çadır Harita x_2						
F5	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	-0,003647163	0,003806722	-0,000580999	8,02505E-05	0,001958473	0,000136739
Maks	0,004765597	0,02737755	0,005672331	0,004101071	0,01321825	0,007884326
Min	-0,01694576	-0,001815795	-0,01451349	-0,002535965	-2,76467E-05	-0,01003364
Ss	0,007519	0,009040553	0,005621645	0,001849727	0,006257713	0,004793655
Çadır Harita $f(x)$						
F5	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Ort	0,022180144	0,021016948	0,012991756	0,005303406	0,021717898	0,018593491
Maks	0,06937118	0,102881	0,04748197	0,01204753	0,1243104	0,04999096
Min	0,004178157	0,001385961	0,004100492	0,001693426	0,000198551	0,004761398
Ss	0,025020087	0,03470524	0,01277202	0,003896759	0,040031441	0,014059073

Tezin bu bölümünde LŞA'nın parametreleri ayarlamak için farklı kaotik haritalar kullanılmıştır. Bu işlem, klasik LŞA'da rasgele sayıya her ihtiyaç duyulduğunda kaotik sayı üretici kullanılarak yapılmıştır. Altı kaotik haritalı LŞA yöntemi önerilmiştir ve kalite testi fonksiyonlarında beş harita analiz edilmiştir. LŞA ve kompleks dinamik gibi farklı alanlarda gelişen sonuçların birleştirilmesi bazı optimizasyon problemlerinde kaliteyi arttırabilmektedir ve kaos istenen bir süreç olabilmektedir. Testlerimizde genellikle

KHLŞA4 yönteminin çözüm kalitesini arttırdığı, yani çoğu durumlarda lokal çözümlerden kaçarak global arama kabiliyetini arttırdığı Tablo 5.1, Tablo 5.2, Tablo 5.3, Tablo 5.4 ve Tablo 5.5'te görülmüştür. En iyi değerler tablolar üzerinde koyulaştırılarak belirtilmiştir. KHLŞA4 yöntemi r rassal değişkenleri yerine kaotik harita kullanılarak elde edilen bir kaotik haritalı algoritma olduğundan ötürü Tablo 5.6'da belirtildiği gibi toplam 38 defa en iyi yakınsama ve ortalama en iyi değerlerini yakaladığından ötürü kaotik haritalama yönteminin algoritmanın hızlı yakınsama özelliğini artırıp, hata oranını azalttığı ve lokal çözümlerde takılmadığı ispatlanmıştır.

Tablo 5. 6. KHLŞA yöntemlerinde en iyi değerler toplamı (Min + Ort)

	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Min+Ort	25	29	16	38	26	16

KHLŞA5'te r ve r_1 rassal değişkenleri yerine kaotik harita kullanılarak elde edilen bir kaotik haritalı algoritma olduğundan ötürü Tablo 5.7'de belirtildiği gibi toplam 17 defa en iyi yakınsama değerlerini yakaladığından ötürü kaotik haritalama yönteminin algoritmanın hızlı yakınsama özelliğini artırıp, hata oranını azalttığı ve lokal çözümlerde takılmadığı gösterilmiştir.

Tablo 5. 7. KHLŞA yöntemlerinde en iyi değer toplamı (Min)

	KHLŞA1	KHLŞA2	KHLŞA3	KHLŞA4	KHLŞA5	KHLŞA6
Min	15	13	9	14	17	7

6. GEZGİN TURNUVA PROBLEMİNİN LİG ŞAMPİYONASI ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜMÜ

Gezgin Turnuva Problemi (GTP) herhangi bir spor dalındaki çizelgeleme problemidir. Seyahat çizelgesi oluşturulurken takımın nereye seyahat edeceği önemli bir konudur. Gezgin satıcı probleminin taklit edilmesiyle ortaya çıkmış bir problemdir (Tamgave vd, 2014; Gupta vd, 2014; Pérez-Cáceres ve Riff, 2014).

Profesyonel ligler tüm dünyada vardır. Popüler maçların yayın hakları ve bilet satışlarından elde edilen muazzam gelirlerden dolayı büyük bir ekonomik öneme sahiptir. Bu yüzden bu liglerin planlanması büyük önem taşımaktadır. Bir diğer önemli yön turnuva için zaman tablosunun oluşturulmasıdır. Sezon sırasında takımların hangi diğer takım ile maç yapacağını sırasını ve maçların mekânlarını belirlemektir. Takım sayıları ve mekânlar arası uzaklık göz önüne alındığında GTP’de sezon sırasında, takımlar tarafından seyahat mesafelerinin toplamını en aza indirmek için Çift Round Robin Turnuvası’nın zaman tablosu kullanılır (Kim, 2014; Nitin, 2010; Ryckbosch vd, 2008).

GTP güçlü bir optimizasyon problemi ile turnuva zamanlama sorunudur. Çift Round Robin turnuvası “ n ” adet takım ile “ n ” adet olayın olduğu her bir takımın diğer her bir takım ile ilk olarak kendi evinde sonra diğerinin evinde oynadığı bir oyun dizisidir. Oyun rakiplerin sıralı çiftleri olarak belirlenmiştir. $2(n-1)$ adet yuva veya zaman periyodu Çift Round Robin Turnuvası oynamak için gereklidir. Takım yerleri arasındaki uzaklık $n \times n$ uzaklık matrisi olarak verilmektedir. Her takım kendi evinde başlar ve seçilen yerlerde oynamak için seyahate gider. Her takım programın sonunda eğer gerekli ise evine geri döner. Bu yüzden problem, optimal planlamaya karar vererek ortalama seyahat ücretini en aza indirmeyi amaçlar.

Girdi: N (takımların sayısı), D ($n \times n$ uzaklık matrisi)

Çıktı: Tüm kısıtlamalara uyarak ve en az toplam uzaklığa sahip olan final turnuva programında takımlar seyahat ederler.

Problemi Formül Haline Getirme:

1) Turnuvaya N adet takımın katılması

- 2) Her takımın evinde kendine ait stadyumunun olması
- 3) Stadyumlar arasındaki uzaklığın bilinmesi

Kısıtlamalar:

- 1) Her takım (bunlara A ve B diyebiliriz) 2'şer maç yapar. Bunların birisi A 'nın diğeri de B 'nin evinde olur. Böylece $2(n-1)$ tane tur (hafta) olur ve her turda $n/2$ tane maç yapılır (n takım sayısıdır) (Çift Round Robin kısıtlaması).
- 2) Hiç bir takım kendi evinde ya da deplasmanda 4 defa üst üste maç yapamaz (Arka arkaya kısıtlaması).
- 3) Hiç bir takımın, örneğin A ve B için, A 'nın B 'nin evinde oynadığı maç ile B 'nin A 'nın evinde oynadığı maç ardışık turlarda (haftalarda) olamaz (Tekrarlama yok kısıtlaması). Yani maç bu hafta A 'nın evinde yapılmışsa haftaya B 'nin evinde yapılamaz; araya başka takımlarla yapılacak olan maçlar girmelidir (Tamgave vd, 2014).

ATL takımı Tablo 6.2'deki programa dayanarak FLA ile (evinde), NYM (evinde), PIT (evinde), PHI (deplasmanda), MON (deplasmanda), PIT (deplasmanda), PHI (evinde), MON (evinde), NYM (deplasmanda) ve FLA (deplasmanda) ile oynayacaktır (Chen vd, 2007).

Tablo 6.1'deki takımların bulunduğu şehirler arasındaki uzaklıklara bakıldığında, ATL takımının lig boyunca ne kadar hareket edeceği bulunacaktır (Chen vd, 2007).

$$d_{ATL,PHI} + d_{PHI,MON} + d_{MON,PIT} + d_{PIT,ATL} + d_{ATL,NYM} + d_{NYM,FLA} + d_{FLA,ATL}$$

$$= 665+380+408+521+745+1090+605 = 4414$$

Her bir takım için lig programına göre uzaklıkların toplamı alınarak ligdeki toplam uzaklık elde edilecektir. Bulunan bu uzaklık, amaç fonksiyonu değerini bize vermektedir. Bu uzaklık ne kadar az olursa problemin çözümü de o ölçüde başarılı olmuş sayılacaktır. Yani GTP tam da bu ligdeki toplam uzaklığı minimum hale getirmekle ilgilenen bir problemdir. Tablo 6.3'te gösterilen NL (National League) yani ulusal lig anlamına gelmekte ve n parametresi ise ligi oluşturan takım sayısını göstermektedir. NL8'de lig 8 takımdan oluştuğu anlamına gelmektedir. Bir çok algoritma ile GTP'ye çözüm aranmış ve Tablo 6.3'te elde edilen test sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 6. 1. 6x6'lık GTP için takımların birbirlerine olan uzaklık matrisi (Chen vd, 2007).

	ATL	NYM	PHI	MON	FLA	PIT
ATL	0	745	665	929	605	521
NYM	745	0	80	337	1090	315
PHI	665	80	0	380	1020	257
MON	929	337	380	0	1380	408
FLA	605	1090	1020	1380	0	1010
PIT	521	315	257	408	1010	0

Tablo 6. 2. Örnek bir GTP için lig programı (@ işareti maçın deplasman olduğunu göstermektedir) (Chen vd, 2007).

Slot	ATL	NYM	PHI	MON	FLA	PIT
0	FLA	@PIT	@MON	PHI	@ATL	NYM
1	NYM	@ATL	FLA	@PIT	@PHI	MON
2	PIT	@FLA	MON	@PHI	NYM	@ATL
3	@PHI	MON	ATL	@NYM	PIT	@FLA
4	@MON	FLA	@PIT	ATL	@NYM	PHI
5	@PIT	@PHI	NYM	FLA	@MON	ATL
6	PHI	@MON	@ATL	NYM	@PIT	FLA
7	MON	PIT	@FLA	@ATL	PHI	@NYM
8	@NYM	ATL	PIT	@FLA	MON	@PHI
9	@FLA	PHI	@NYM	PIT	ATL	@MON

Tablo 6. 3. Kullanılan algoritmalar ile birlikte deneysel olarak elde edilen GTP'nin çözüm karşılaştırmaları.

Yazar	Yöntem	NL4	NL6	NL8	NL10	NL12	NL14	NL16
(Easton vd, 2001; Russel ve Leung, 1994; Nemhauser ve Trick, 1998; Easton vd, 2002)	Linear Programming	8276	23916	41113				312623
(Benoist vd, 2001)	A combination of constraint programming and lanrange relaxation	8276	23916	42517	68691	143655	301113	437273
(Cardemil, 2002)	Tabu Search	8276	23916	40416	66037	125803	205894	308413
(Langford, 2004)	Unknown (data from TTP Website)	8276	24073	39947	61608	119012	207075	293175
(Shen ve Zhang, 2004)	"Greedy big step" Meta-Heuristic			39776	61679	117888	206274	281660
(Lim vd, 2006)	Simulated Annealing and Hill-Climbing	8276	23916	39721	59821	115089	196363	274673
(Langford, 2004)	Unknown (data from TTP Website)				59436	112298	190056	272902
(Crauwels ve Oudheusden, 2003)	Ant Colony Optimization with Local Improvement	8276	23916	40797	67640	128909	238507	346530
(Anagnostopoulos vd, 2006)	Simulated Annealing	8276	23916	39721	59583	111248	188728	263772
(Gaspero ve Schaerf, 2006)	Composite-Neighbourhood Tabu Search Approach				59583	111483	190174	270063
(Chen vd, 2007)	Ant Algorithm Hyper-Heuristic	8276	23916	40361	65168	123752	225169	321037

Problemin Tanımı: Algoritmaya bağlı takım sayısı 4 ve probleme bağlı takım sayısı 8 olan gezgin turnuva problemindeki tanımlı olan kısıtlara uyularak, Tablo 6.4’te belirtilen illere ait mesafe tablosu baz alınarak, takımların lig boyunca toplam hareketliliğinin minimize edilmesi probleminin LŞA ile gerçekleştirilmesidir.

Tablo 6. 4. Statlar arası mesafe

Takımlar	Takımlar								
		1	2	3	4	5	6	7	8
	1	0	50	60	80	120	182	160	220
	2	50	0	75	92	90	137	170	196
	3	60	75	0	100	110	89	150	77
	4	80	92	100	0	25	94	152	86
	5	120	90	110	25	0	75	215	69
	6	182	137	89	94	75	0	50	60
	7	160	170	150	152	215	50	0	40
	8	220	196	77	86	69	60	40	0

Spor tabanlı bir optimizasyon algoritması ile bir spor probleminin çözümünde iki tane takım tanımı karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan ilkinde algoritmaya bağlı olan takım sayısı 4 olduğu için, her takım toplam bir sezonda 3 maç yapacaktır. Bundan dolayı bir sezonda toplam yapılacak olan maç sayısı 12 olacaktır. Bu durum Tablo 6.5, 6.9, 6.10, 6.11, 6.12, 6.13, 6.14, 6.15, 6.16, 6.17, 6.18, 6.19’da gösterilmektedir. İkincisi ise algoritmaya bağlı olarak her karşılaşmadan elde edilen sonuçlara göre, probleme dayalı takımların gerçekleştireceği karşılaşmaları ifade etmektedir.

Tablo 6. 5. Algoritmaya bağlı olan takım sayısına göre ilk karşılaşma için lig çizelgesi

1. Hafta							
5	6	8	1	3	4	7	2

Tablo 6. 6. Algoritmaya bağılı olarak ilk karşılaşma için oluşturulan, probleme dayalı 8 takımın karşılaşmasını gösteren haftalık lig çizelgeleri

1.hafta				2.hafta				3.hafta				4.hafta			
5	2	7	4	5	6	2	7	5	8	6	2	5	1	8	6
6	8	1	3	8	1	3	4	1	3	4	7	3	4	7	2
5.hafta				6.hafta				7.hafta							
5	3	1	8	5	4	3	1	5	7	4	3				
4	7	2	6	7	2	6	8	2	6	8	1				

Tablo 6.6’da gösterilen haftalık maç programına göre oluşturulan lig fikstürü Tablo 6.7’de gösterilmektedir.

Tablo 6. 7. Lig fikstürü

Haftalar		Sahasında							Deplasmanda						
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Takımlar	1	7	6	5	4	2	8	3	7	6	5	4	2	8	3
	2	8	3	7	6	1	4	5	8	3	7	6	1	4	5
	3	4	2	8	5	7	6	1	4	2	8	5	7	6	1
	4	3	7	6	1	5	2	8	3	7	6	1	5	2	8
	5	6	8	1	3	4	7	2	6	8	1	3	4	7	2
	6	5	1	4	2	8	3	7	5	1	4	2	8	3	7
	7	1	4	2	8	3	5	6	1	4	2	8	3	5	6
	8	2	5	3	7	6	1	4	2	5	3	7	6	1	4

1. takım için hareket yolu: 1. takım Tablo 6.7’de gösterilen lig fikstürüne göre 7 ile (evinde), 6 (evinde), 5 (evinde), 7 (deplasmanda), 6 (deplasmanda), 5 (deplasmanda), 8 (evinde), 3 (evinde), 4 (deplasmanda), 2 (deplasmanda), 4 (evinde), 2 (evinde), 8 (deplasmanda), 3 (deplasmanda) oynayacaktır.

Tablo 6.4’te gösterilen takımların şehirler arasındaki uzaklıklara bakıldığında 1. takımın lig boyunca ne kadar hareket edeceği bulunacaktır.

$$d_{1,7} + d_{7,6} + d_{6,5} + d_{5,1} + d_{1,4} + d_{4,2} + d_{2,1} + d_{1,8} + d_{8,3} + d_{3,1}$$

$$= 160+50+75+120+80+92+50+220+77+60 = 984$$

Aynı şekilde diğer tüm takımlar için sezon boyunca toplam hareketlilik Tablo 6.8’de gösterilmektedir.

Tablo 6. 8. Takımların ilk karşılaşmaya göre bir sezonda kat ettiği toplam mesafe

1. takımın toplam yolu: 984 Total: 984	2. takımın toplam yolu: 1169 Total: 2153
3. takımın toplam yolu: 1271 Total: 3424	4. takımın toplam yolu: 993 Total: 4417
5. takımın toplam yolu: 1185 Total: 5602	6. takımın toplam yolu: 1051 Total: 6653
7. takımın toplam yolu: 1109 Total: 7762	8. takımın toplam yolu: 1009 Total: 8771

Tablo 6.5’te gösterilen ilk karşılaşmaya göre oluşturulan lig programı ve takımların kat ettiği toplam mesafeler, Tablo 6.9, 6.10, 6.11, 6.12, 6.13, 6.14, 6.15, 6.16, 6.17, 6.18, 6.19’da gösterilen karşılaşmalar için de benzer şekilde hesaplanmıştır.

Tablo 6. 9. Algoritmaya bağlı olan takım sayısına göre ikinci karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiği toplam mesafe

2. Hafta							
4	1	7	6	2	3	5	8
1. takımın toplam yolu: 1003 Total: 1003				2. takımın toplam yolu: 938 Total: 1941			
3. takımın toplam yolu: 895 Total: 2836				4. takımın toplam yolu: 831 Total: 3667			
5. takımın toplam yolu: 1010 Total: 4677				6. takımın toplam yolu: 952 Total: 5629			
7. takımın toplam yolu: 1172 Total: 6801				8. takımın toplam yolu: 1094 Total: 7895			

Tablo 6. 10. Algoritmaya bağı olan takım sayısına göre üçüncü karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiği toplam mesafe

3. Hafta							
3	4	5	1	8	6	7	2
1. takımın toplam yolu: 1250 Total: 1250				2. takımın toplam yolu: 892 Total: 2142			
3. takımın toplam yolu: 926 Total: 3068				4. takımın toplam yolu: 921 Total: 3989			
5. takımın toplam yolu: 1080 Total: 5069				6. takımın toplam yolu: 979 Total: 6048			
7. takımın toplam yolu: 1375 Total: 7423				8. takımın toplam yolu: 1009 Total: 8432			

Tablo 6. 11. Algoritmaya bağı olan takım sayısına göre dördüncü karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiği toplam mesafe

4. Hafta							
4	3	6	1	8	7	5	2
1. takımın toplam yolu: 1252 Total: 1252				2. takımın toplam yolu: 955 Total: 2207			
3. takımın toplam yolu: 1047 Total: 3254				4. takımın toplam yolu: 936 Total: 4190			
5. takımın toplam yolu: 979 Total: 5169				6. takımın toplam yolu: 1041 Total: 6210			
7. takımın toplam yolu: 1118 Total: 7328				8. takımın toplam yolu: 944 Total: 8272			

Tablo 6. 12. Algoritmaya bağı olan takım sayısına göre beşinci karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiği toplam mesafe

5. Hafta							
5	6	8	1	3	4	7	2
1. takımın toplam yolu: 984 Total: 984				2. takımın toplam yolu: 1169 Total: 2153			
3. takımın toplam yolu: 1271 Total: 3424				4. takımın toplam yolu: 993 Total: 4417			
5. takımın toplam yolu: 1185 Total: 5602				6. takımın toplam yolu: 1051 Total: 6653			
7. takımın toplam yolu: 1109 Total: 7762				8. takımın toplam yolu: 1009 Total: 8771			

Tablo 6. 13. Algoritmaya bağı olan takım sayısına göre altıncı karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiğı toplam mesafe

6. Hafta							
4	1	7	5	2	3	6	8
1. takımın toplam yolu: 1064 Total: 1064				2. takımın toplam yolu: 945 Total: 2009			
3. takımın toplam yolu: 956 Total: 2965				4. takımın toplam yolu: 987 Total: 3952			
5. takımın toplam yolu: 1093 Total: 5045				6. takımın toplam yolu: 1035 Total: 6080			
7. takımın toplam yolu: 1255 Total: 7335				8. takımın toplam yolu: 1079 Total: 8414			

Tablo 6. 14. Algoritmaya bağı olan takım sayısına göre yedinci karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiğı toplam mesafe

7. Hafta							
3	4	6	1	8	5	7	2
1. takımın toplam yolu: 1194 Total: 1194				2. takımın toplam yolu: 904 Total: 2098			
3. takımın toplam yolu: 1087 Total: 3185				4. takımın toplam yolu: 906 Total: 4091			
5. takımın toplam yolu: 878 Total: 4969				6. takımın toplam yolu: 1022 Total: 5991			
7. takımın toplam yolu: 1092 Total: 7083				8. takımın toplam yolu: 1009 Total: 8092			

Tablo 6. 15. Algoritmaya bağı olan takım sayısına göre sekizinci karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiğı toplam mesafe

8. Hafta							
4	3	6	1	8	7	5	2
1. takımın toplam yolu: 1252 Total: 1252				2. takımın toplam yolu: 955 Total: 2207			
3. takımın toplam yolu: 1047 Total: 3254				4. takımın toplam yolu: 936 Total: 4190			
5. takımın toplam yolu: 979 Total: 5169				6. takımın toplam yolu: 1041 Total: 6210			
7. takımın toplam yolu: 1118 Total: 7328				8. takımın toplam yolu: 944 Total: 8272			

Tablo 6. 16. Algoritmaya bağı olan takım sayısına göre dokuzuncu karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiğı toplam mesafe

9. Hafta							
4	6	8	1	3	5	7	2
1. takımın toplam yolu: 1001 Total: 1001				2. takımın toplam yolu: 1169 Total: 2170			
3. takımın toplam yolu: 1206 Total: 3376				4. takımın toplam yolu: 1103 Total: 4479			
5. takımın toplam yolu: 965 Total: 5444				6. takımın toplam yolu: 1051 Total: 6495			
7. takımın toplam yolu: 1103 Total: 7598				8. takımın toplam yolu: 1024 Total: 8622			

Tablo 6. 17. Algoritmaya bağı olan takım sayısına göre onuncu karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiğı toplam mesafe

10. Hafta							
5	1	4	7	2	3	6	8
1. takımın toplam yolu: 1300 Total: 1300				2. takımın toplam yolu: 1012 Total: 2312			
3. takımın toplam yolu: 1192 Total: 3504				4. takımın toplam yolu: 1095 Total: 4599			
5. takımın toplam yolu: 1046 Total: 5645				6. takımın toplam yolu: 1037 Total: 6682			
7. takımın toplam yolu: 1248 Total: 7930				8. takımın toplam yolu: 1051 Total: 8981			

Tablo 6. 18. Algoritmaya bağı olan takım sayısına göre on birinci karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiğı toplam mesafe

11. Hafta							
3	6	5	1	8	4	7	2
1. takımın toplam yolu: 990 Total: 990				2. takımın toplam yolu: 1005 Total: 1995			
3. takımın toplam yolu: 1002 Total: 2997				4. takımın toplam yolu: 717 Total: 3714			
5. takımın toplam yolu: 876 Total: 4590				6. takımın toplam yolu: 775 Total: 5365			
7. takımın toplam yolu: 1115 Total: 6480				8. takımın toplam yolu: 1066 Total: 7546			

Tablo 6. 19. Algoritmaya bağlı olan takım sayısına göre on ikinci karşılaşma için lig çizelgesi ve takımların bir sezonda kat ettiği toplam mesafe

12. Hafta							
4	3	5	1	8	7	6	2
1. takımın toplam yolu: 1240 Total: 1240				2. takımın toplam yolu: 955 Total: 2195			
3. takımın toplam yolu: 991 Total: 3186				4. takımın toplam yolu: 1011 Total: 4197			
5. takımın toplam yolu: 1106 Total: 5303				6. takımın toplam yolu: 1136 Total: 6439			
7. takımın toplam yolu: 1206 Total: 7645				8. takımın toplam yolu: 966 Total: 8611			

Algoritmanın 1 sezon boyunca 12 hafta içerisinde elde edilen sonuçlarına bakıldığında, 11. haftada takımların toplam kat ettiği mesafe (global minimum) 8417 km olarak hesaplanmıştır. Algoritma 100 sezon boyunca çalıştırıldığında minimum 7362 km olarak bulunmuştur.

En genel itibari ile metasezgisel algoritmaların bir problem üzerinde ne derece sağlıklı optimizasyon yaptığı yada global minimuma ne kadar yakınsadığı noktasında sağlıklı yorum yapabilmek adına aynı problemi aynı iterasyon sayısına sahip, aynı katsayılarla sahip başka bir veya daha fazla optimizasyon algoritması ile test etmek gerekmektedir. Metasezgisel optimizasyon algoritmaları rassal çalıştırlarından ötürü ne derece başarılı olduğunun ölçülebilmesi adına en az 10 kez çalıştırıldıktan sonra elde edilen sonuçlar yorumlanarak bir kanaate varılabilir. Bu tez çalışmasında Optik İlham Optimizasyon (OİO) ile LŞA hem 1 (sezon, iterasyon) hem de 100 (sezon, iterasyon) için 30 defa çalıştırılarak sonuçlar alınmıştır. Analiz yorumlama için ise t-Test yöntemi kullanılmıştır.

Optik İlham Optimizasyon: Yansıma kurallarına göre, yansıtıcı içbükey yüzey veya ayna ışık ışınının yakınsamasına neden olmaktadır ve dışbükey yüzey veya ayna ışık ışınını dışarı yansıtacak özelliktedir ve böylece hepsi ıraksamaktadır. Bu yakınsama ve ıraksama davranışları, nesne ve ayna arasındaki uzaklığa bağlı olarak eğik aynaların görüntüleri farklı şekillerde göstermesine neden olur. Böyle bir optik fenomen, nümerik optimizasyonun arama işlemine OİO adlı yeni bir algoritma aracılığıyla metaforik olarak modellenir. OİO algoritmasında nümerik fonksiyonun yüzeyi, her pikin dışbükey ayna gibi yansıtma ve her bir inmenin içbükey ayna gibi yansıtma özelliğinin olduğunun varsayıldığı yansıtıcı bir yüzey gibi davranmaktadır. Her birey, yüzeyin içbükey veya dışbükey olduğu göz önüne

alındığında yapay ışın parıltısının fonksiyon yüzeyi tarafından geri yansıtıldığı yapay bir obje veya ışık noktası olarak kabul edilir ve yapay görüntü optik fiziği temelli ayna eşitliklerine uygun şekilde oluşturulur (Kashan, 2015).

OİO algoritmasının LŞA ile başarımını kıyaslamak amacıyla problem parametreleri ve optimizasyon için LŞA’ da kullanılan benzer iterasyon parametreleri kullanılmıştır.

Tablo 6. 20. LŞA ile OİO algoritmalarının karşılaştırması

Çalıştırma Sayısı	OİO (1 iterasyon)	LŞA (1 sezon)	OİO (100 iterasyon)	LŞA (100 sezon)
1	7955	8417	7372	7362
2	7897	8074	7409	7625
3	7886	8393	7415	7546
4	8024	8115	7480	7511
5	8288	8123	7406	7362
6	7682	8038	7429	7569
7	7597	8078	7394	7415
8	7704	8062	7459	7519
9	7730	7902	7362	7405
10	8169	7744	7385	7530
11	7985	7575	7516	7495
12	8042	8024	7478	7453
13	7716	7777	7505	7362
14	7937	7980	7338	7512
15	7966	8496	7295	7511
16	7581	8237	7449	7400
17	8040	8274	7530	7563
18	7858	8130	7496	7554
19	8177	8649	7394	7575
20	7973	8310	7540	7600
21	7849	7845	7453	7347
22	7516	7861	7386	7295
23	7850	7793	7400	7340
24	7933	7945	7340	7338
25	7878	8019	7482	7347
26	7507	7809	7358	7470
27	7842	7876	7491	7539
28	8036	8152	7360	7372
29	7794	8373	7603	7629
30	7899	7693	7347	7519

OİO algoritmasında *LightPoint* değeri 12 seçilmiştir. LŞA’da ise *Team* değeri 4 alınmıştır. 4 takımlı bir ligde bir sezon 3 hafta sürdüğünden ötürü toplam 12 karşılaşmaya

denk geldiği için *LightPoint* bu şekilde belirlenmiştir. N değeri problem boyutunu ifade etmektedir ve o da her iki algortmada 8 olarak seçilmiştir. LŞA’da 100 olan sezon sayısına karşılık OİO algoritmasında maksimum iterasyon değeri 100 olarak belirlenmiştir.

Gezgin turnuva problemindeki toplam mesafe (km) optimizasyonunda kullanılan LŞA ve OİO’nun 1 (sezon, iterasyon) ve 100 (sezon, iterasyon) çalıştırılarak her iki optimizasyon algoritmasının bu problem üzerindeki başarımı ölçülmüş ve Tablo 6.20’de toplam kat edilen minimum mesafe gösterilmiştir. LŞA ile OİO algoritmalarının 1 (sezon, iterasyon) çalıştırılarak elde edilen t-Test sonuçları Tablo 6.21’de ve 100 (sezon, iterasyon) çalıştırılarak elde edilen t-Test sonuçları ise Tablo 6.22’de verilmektedir.

Tablo 6. 21. LŞA ve OİO algoritmalarının 1 (sezon, iterasyon) çalıştırılması ile elde edilen t-Test sonuçları

	<i>LŞA</i>	<i>OİO</i>
Ortalama	8058,8	7877,033333
Varyans	65023,06207	36074,65402
Gözlem	30	30
Pearson Korelasyonu	0,253848436	
Öngörülen Ortalama Farkı	0	
df	29	
t Stat	3,59930922	
P(T<=t) tek-uçlu	0,000586497	
t Kritik tek-uçlu	1,699127027	
P(T<=t) iki-uçlu	0,001172994	
t Kritik iki-uçlu	2,045229642	

Tablo 6. 22. LŞA ve OİO algoritmalarının 100 (sezon, iterasyon) çalıştırılması ile elde edilen t-Test sonuçları

	<i>LŞA</i>	<i>OİO</i>
Ortalama	7482,233333	7429,066667
Varyans	16078,25402	5199,512644
Gözlem	30	30
Pearson Korelasyonu	0,179395635	
Öngörülen Ortalama Farkı	0	
df	29	
t Stat	2,170686074	
P(T<=t) tek-uçlu	0,019141499	
t Kritik tek-uçlu	1,699127027	
P(T<=t) iki-uçlu	0,038282999	
t Kritik iki-uçlu	2,045229642	

t-Test'te;

H_0 : Ortalamalar arasında fark olmadığını savunur.

H_a : Ortalamalar arasında anlamlı bir farkın mevcut olduğu savunulmaktadır.

P : Olasılık değeri

Gözlem: Deney sayısı

t Stat: t istatistik değeri

Pearson Korelasyonu: LŞA ile OİO örnekleri arasındaki ilişki katsayısı.

t Kritik tek-uçlu: Tek taraflı t kritik değeri

t Kritik iki-uçlu: Çift taraflı t kritik değeri

α : Anlamlı düzey (genellikle bu değer 0,05 alınmaktadır)

Ortalama: Deneylerin toplamının deney sayısına bölümünü belirtir.

t -Test'te H_0 , H_a gibi iki adet hipotez mevcuttur ve P değeri 0,05'den küçük olduğu zaman H_0 hipotezi reddedilir ve H_a kabul edilir. P değeri 0,05'den büyük veya büyük eşit olduğu zaman H_0 hipotezi kabul edilir ve H_a reddedilir.

t -Test'te kuracağımız; H_0 hipotezimiz “aynı probleme farklı optimizasyon algoritmaları uygulandığı zaman OİO'nun global minimuma yakınsama değeri yani toplam minimum yol değeri LŞA'nın global minimuma yakınsama değeri yani toplam minimum yol değerinden daha düşük değildir, ortalamalar arasında fark yoktur” olacaktır.

H_a hipotezimiz “aynı probleme farklı optimizasyon algoritmaları uygulandığı zaman OİO'nun global minimuma yakınsama değeri yani toplam minimum yol değeri LŞA'nın global minimuma yakınsama değeri yani toplam minimum yol değerinden daha düşüktür, ortalamalar arasında anlamlı bir fark vardır” olacaktır.

Tablo 6.21'de P değerlerine bakıldığında zaman tek uçlu 0,0005 çift uçlu 0,001 olup her iki değer de 0,05 den küçük olduğu görülmektedir. H_0 hipotezi reddedilir ve H_a kabul edilir. OİO algoritmasının LŞA'dan daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. T-Test sonuçlarına göre

de OİO'nun başarımı 30 deney üzerinde istatistiksel olarak LŞA'dan daha iyi oranda gerçekleştiği belirlenmiştir.

Tablo 6.22'de P değerlerine bakıldığı zaman tek uçlu 0,01 çift uçlu 0,03 olup her iki değer de 0,05 den küçük olduğu görülmektedir. H_0 hipotezi reddedilir ve H_a kabul edilir. OİO algoritmasının LŞA'dan daha iyi sonuç verdiği görülmüştür ve t-Test sonuçlarına göre de OİO'nun başarımı 30 deney üzerinde istatistiksel olarak LŞA'dan daha iyi oranda gerçekleştiği belirlenmiştir.

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında LŞA'nın test fonksiyonlarının başarımları ölçülmüş ve spor tabanlı metasezgisel optimizasyon algoritması ile başarımları ortaya konulmuştur. Spor turnuvalarında çözümü zor olan gezgin turnuva problemi, hakem atama sorunu, turnuva planlama, yeterlilik ve eleme sorunları, taşınma sorunlarını minimize etme gibi sorunlar günümüzde karşımıza çıkmakta ve bazı metasezgisel algoritmalar ile bu sorunlara çözüm aramaktadır.

Algoritmalarının hızlı yakınsaması ve yüksek doğruluk oranını artırmak için rasgele sayı dizileri kullanmak yerine kaotik haritalama kullanımı ilk kez bu çalışma ile LŞA için önerilmektedir, uygulamanın deneysel sonuçları gözlemlenmiş ve özellikle KHLŞA4 ve KHLŞA5'de olumlu sonuçlar almıştır. Kaotik LŞA'nın global yakınsama özelliğinin artırdığı ve lokal çözümde takılıp kalmadığı ilk kez bu çalışma ile gösterilmiştir. Algoritmanın diğer parametrelerinden olan Ψ_1 ve Ψ_2 çözüme yaklaşma ve uzaklaşma katsayılarında da kaotik harita kullanılarak yeni KHLŞA versiyonları geliştirilebilir.

Bu tez çalışmasında güncel olan spor problemlerinden olan taşınma sorunları ve takımların toplam hareketliliğinin minimize edilmesini amaçlayan gezgin turnuva probleminin çözümünde LŞA ilk kez kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar en güncel yapay zeka optimizasyon algoritmalarından olan optik ilham optimizasyon algoritması ile karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmasının yedinci bölümünde gezgin turnuva probleminin LŞA ile çözümü gerçekleştirilmiş olup oluşturulan yapay bir ligde, 1 sezondaki tüm takımların toplam hareketliliği 8417 km olarak bulunmuştur. Algoritmanın sezon sayısı 100 yapıldığı zaman toplam hareketlilik 7362 km'ye inmiştir.

Önerilen bu yöntemler henüz yenidirler. Matematiksel modeli çıkarılamayan, ya da çıkarılsa bile çözüm zamanı çok uzun zaman alan kompleks mühendislik problemi için alternatif bir yöntem olarak görülmektedir. Bunların dağıtık ve paralel versiyonlarıyla optimize edilmiş parametreler kullanılarak ayrıntılı deneyler yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Akyol, S., Alataş, B.,** 2012, Güncel Sürü Zekası Optimizasyon Algoritmaları, Nevşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitü Dergisi, 1, 36-50.
- Alatas, B.,** 2011, Photosynthetic Algorithm Approaches for Bioinformatics, Expert Systems with Applications, 38, August, 10541-10546.
- Alataş, B.,** 2007, Kaotik Haritalı Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmaları Geliştirme, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Anagnostopoulos, A., Michel, L., Hentenryck, P., Vergados, Y.,** 2006, A Simulated Annealing Approach to the Travelling Tournament, Journal of Scheduling, 9, 2, 177-193.
- Arena, P., Caponetto, R., Fortuna, L., Rizzo, A., La Rosa, M.,** 2000, Self Organization in Non-recurrent Complex System, Int. J. Bifurcation and Chaos, vol. 10, no. 5, 1115–1125.
- Atashpaz-Gargari, E. and Lucas, C.,** 2007, Imperialist Competitive Algorithm: An Algorithm for Optimization Inspired by Imperialistic Competition, IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2007, 4661-4667.
- Belkhouche, F., Qidwai, U., Gokcen, I., Joachim, D.,** 2004, Binary Image Transformation Using Two-dimensional Chaotic Maps, Pattern Recognition, ICPR 2004, Proc. of the 17th International Conference on Volume 4, Issue , 23-26, 2004, 823 - 826 Vol. 4.
- Benoist, T., Laburthe, F. and Rottembourg, B.,** 2001, Lagrange Relaxation and Constraint Programming Collaborative Schemes for Travelling Tournament Problems, In CP-AI-OR'2001, Wye College (Imperial College), Ashford, Kent UK.
- Bingöl, H., Alataş, B.,** 2015, Metasezgisel Optimizasyon Tekniklerine Spor Tabanlı Yeni Bir Yaklaşım: Lig Şampiyonası Algoritması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 27(1), 1-11, Elazığ.
- Brannstrom, A.,** 2004, Modelling Animal Populations, Umea University, PhD Thesis.
- Borji, A.,** 2007, A New Global Optimization Algorithm Inspired by Parliamentart Political Competitions, Lecture Notes in Computer Science, 4827/2007, 61-71.
- Boucekara H., Dupré L., Kherrab H., Mehasni R.** 2014, Design Optimization of Electromagnetic Devices Using The League Championship Algorithm, Optimization & Inverse problems in Electromagnetism, OIPE 2014.

- Caponetto, R., Fortuna, L., Fazzino, S., Xibilia, M.G.,** 2003, Chaotic Sequences to Improve the Performance of Evolutionary Algorithms, *IEEE Trans Evol. Comput.*,7(3):289–304.
- Cardemil, A.,** 2002, Optimizacion de fixtures deportivos: Estado del arte y un algoritmo tabu search para el travelling tournament problem. tesis de Licenciatura, Departamento de Computación Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires.
- Chen, P., Kendall, G., Berghe, G.V.,** 2007, An Ant Based Hyper-heuristic for the Travelling Tournament Problem, In *Proceedings of IEEE Symposium of Computational Intelligence in Scheduling (CIShed'07)*, 19-26.
- Chu, S. C., P. W. Tsai, J. S. Pan,** 2006, Cat Swarm Optimization, 9th Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence, LNAI, 4099, 854-858.
- Crauwels, H., Oudheusden, D.V.,** 2003, Ant Colony Optimization and Local Improvement, *The Third Workshop on Real-Life Applications of Metaheuristics*, Antwerp, Belgium.
- Cura, T.,** 2008, Modern Sezgisel Teknikler ve Uygulamaları, Papatya Yayıncılık Eğitim.
- Dorigo M., Maniezzo, V. and Colorni, A.,** 1991, The Ant System: An Autocatalytic Optimizing Process. Tech. Rep. No. 91- 016, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Italy.
- Easton, K., Nemhauser, G.L. and Trick, M.A.,** 2001, The Travelling Tournament Problem: Description and Benchmarks, Principles and Practice of Constraint Programming (CP'01), Springer, LNCS 2239, 580-585.
- Easton, K., Nemhauser, G.L. and Trick, M.A.,** 2002, Solving the Travelling Tournament Problem: A Combined Integer Programming and Constraint Programming Approach, 4th international conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling, Gent, Belgium, 319-330.
- Gaspero, L. D. and Schaerf, A.,** 2006, A Composite-Neighborhood Tabu Search Approach to the Travelling Tournament Problem, *Journal of Heuristics*, 13, 2, 189-207.
- Geem, Z. W., Kim, J. H., Loganathan, G. V.,** 2001, A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search, *Simulation*, 76, 60-68.
- Gupta D., Goel, L., Chopra, A.,** 2014, Enhanced Heuristic Approach for Travelling Tournament Problem based on Extended Species Abundance Models of Biogeography, *International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics* , 1118 - 1124.
- Hatamzadeh, P., Khayyambashi, M.R.,** 2012, Neural Network Learning based on Football Optimization Algorithm, *The Third International Conference on Contemporary Issues in Computer and Information Sciences, CICI2012*.

- Holland, J. H.**, 1975, Adaption in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Pres, Ann Arbor, MI.
- Karaboğa, D.**, 2011, Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları, Nobel Yayın Dağıtım.
- Kashan, A. H.**, 2009, League Championship Algorithm: A New Algorithm For Numerical Function Optimization, IEEE International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPAR), 43–48.
- Kashan, A. H.**, 2011, An Efficient Algorithm for Constrained Global Optimization and Application to Mechanical Engineering Design: League Championship Algorithm (LCA), Computer- Aided Design, 43, 1769-1792.
- Kashan, A. H.**, 2014, League Championship Algorithm (LCA): A new algorithm for global optimization inspired by sport championships, Applied Soft Computing, 16, 171-200.
- Kashan, A. H.**, 2015, A New Algorithm Metaheuristic for Optimization: Optics Inspired Optimization (OIO), Computers and Operations Research, 55, 99-125.
- Kennedy, J., Eberhart, R. C.**, 1995, Particle Swarm Optimization, IEEE International Conference on Neural Networks, Piscataway, NJ, 1942-1948.
- Khaji, E.**, 2014, Soccer League Optimization: A heuristic Algorithm Inspired by the Football System in European Countries, arXiv:1406.4462.
- Kim, B. M.**, 2012, Iterated Local Search for the Traveling Tournament Problem, Yüksek Lisans Tezi, Viyana, Avusturya.
- Langford,** 2004, Challenging Travelling Tournament Instances. <http://mat.gsia.cmu.edu/tourn/>, 10 Ekim 2015.
- Lim A., Rodrigues B. and Zhang X.**, 2006, A Simulated Annealing and Hill-Climbing Algorithm for the Traveling Tournament Problem, European Journal of Operational Research (EJOR'06), 174, 3, 1459-1478.
- Maniezzo, V., Stützle, T., VOß, S.**, 2009, Matheuristics: Hybridizing Metaheuristics and Mathematical Programming, 10, Springer, New York.
- May, R.M.**, 1976, Simple Mathematical Models with Very Complicated Dynamics, Nature 261: 459.
- Moosavian, N., Roodsari, B. K.**, 2014, Soccer League Competition Algorithm, a New Method for Solving Systems of Nonlinear Equations, International Journal of Intelligence Science, 4, 7-16.
- Nemhauser, G. and Trick, M. A.**, 1998, Scheduling a Major College Basketball, Conference George Operations Research, 46, 1, 1-8.

- Nitin S. Choubey**, 2010, A Novel Encoding Scheme for Traveling Tournament Problem using Genetic Algorithm, IJCA Special Issue on “Evolutionary Computation for Optimization Techniques, 79-82.
- Peitgen, H., Jurgens, H., Saupe, D.**, 1992, Chaos and Fractals. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Pérez-Cáceres, L., Riff, M. C.**, 2014, Solving Scheduling Tournament Problems Using a New Version of CLONALG, Connection Science, 27, 1, 5-21.
- Purnomo, H. D.**, 2014, Soccer Game Optimization: Fundamental Concept, Jurnal Sistem Komputer, 4, 1, 25-36.
- Rashedi, E., Nezamabadi-pour, H., Saryazdi, S.**, 2009, GSA: A Gravitational Search Algorithm, IEEE Congress on Information Sciences, **179**, 2232-2248.
- Russell, R.A. and Leung, J. M.**, 1994, Devising a Cost Effective Schedule for a Baseball League, Operations Research, 42, 4, 614-625.
- Ryckbosch, F., Berghe, G.V., Kendall, G.**, 2008, A Heuristic Approach for the Travelling Tournament Problem using Optimal Travelling Salesman Tours, Proceedings of the 7th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling.
- Sajadi S.M., Kashan A.H., Kahledan S.**, 2014, A New Approach For Permutation Flow-Shop Scheduling Problem Using League Championship Algorithm, Joint International Symposium on CIE44 and IMSS’14
- Salem, S. A.**, 2012, BOA: A Novel Optimization Algorithm, IEEE 2012 International Conference on Engineering and Technology (ICET), **1**(5).
- Schuster, H. G.**, 1988, Deterministic Chaos: An Introduction. Second Revised Edition, Physick - Verlag GmnH, D-6940 Weinheim, Federal Republic of Germany.
- Shah-Hosseini, H.**, 2009, The Intelligent Water Drops Algorithm: A Nature-Inspired Swarm-Based Optimization Algorithm, International Journal of Bio-Inspired Computation, **1**, 71-79.
- Shen, H., Zhang, H.**, 2004, Greedy Big Steps as a Meta-Heuristic for Combinatorial Search. The University of Iowa AR Reading Group, Spring 2004 Readings.
- Storn, R., Price, K.**, 1995, Differential Evolution: A Simple and Efficient Adaptive Scheme for Global Optimization over Continuous Spaces, Technical Report TR-95-012, International Computer Science Institute, Berkeley.
- Tamgave, P., Jain, S., Waghmode, G., Udagire, S., Umale, J.**, 2014, Optimization of Travelling Tournament Problem Using Nature Based Algorithms, 3, 2, 2014.

Zheng, W. M., 1994, Kneading Plane of the Circle Map, Chaos, Solitons and Fractals 4, 1221.

ÖZGEÇMİŞ

Harun BİNGÖL, 1982 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Elazığ'da tamamladı. 2007 yılında Fırat Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliğinden mezun oldu. Mezun olduktan sonra EDSYB'de Bilgi işlem sorumlusu olarak 2 yıl çalıştı. 2010 yılında Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulunda Öğretim Görevlisi olarak 6 yıl çalıştı. 2016 yılı Mart ayında Elazığ Belediyesine naklen geçiş yaptı. Bu tarihten itibaren Elazığ Belediyesinde Bilgisayar Mühendisliği görevini devam ettirmektedir.