

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

ARMONİ ARAMA ALGORİTMASI'NIN TAKIM KURMA
PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE KULLANIMI:
KAYSERİSPOR FUTBOL TAKIMI UYGULAMASI

Hazırlayan
Sabri GÜNGÖR

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Filiz ÇALIŞKAN

Yüksek Lisans Tezi

TEMMUZ 2015
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı: Sabri GÜNGÖR

İmza :

YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI

“Armoni Arama Algoritması’nın Takım Kurma Problemlerinin Çözümünde Kullanımı: Kayserispor Futbol Takımı Uygulaması” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan
Sabri GÜNGÖR

Danışman
Prof. Dr. Filiz ÇALIŞKAN

İşletme
ABD Başkanı
Prof. Dr. Osman UNUTULMAZ

KABUL VE ONAY

Prof. Dr. Filiz ÇALIŞKAN danışmanlığında Sabri GÜNGÖR tarafından hazırlanan “Armoni Arama Algoritması'nın Takım Kurma Problemlerinin Çözümünde Kullanımı: Kayserispor Futbol Takımı Uygulaması” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü İŞLETME Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

09/07/2015

JÜRİ:

Danışman : Prof. Dr. Filiz ÇALIŞKAN

Üye : Prof. Dr. Emine KILAVUZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yasemin YAVUZ

[Handwritten signatures of the jury members]

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 10/07/2015 tarih ve 11/ sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Lütfullah CEBECİ
Enstitü Müdürü



TEŞEKKÜRLER

Lisans ve yüksek lisans eğitim hayatım süresince başta ufuk açıcı bilgi ve tecrübelerini her zaman benimle paylaşan danışmanım Prof. Dr. Filiz ÇALIŞKAN olmak üzere, sayın hocalarım Prof. Dr. Emine KILAVUZ, Yrd. Doç. Dr. Yasemin YAVUZ, Doç. Dr. Lale ÖZBAKIR, Doç. Dr. Ferit KULA, Yrd. Doç. Dr. Talip TORUN, Öğr. Gör. Dr. D. Cüneyt GEDİKLİ ve Öğr. Gör. Gökhan GÜVEN'e, yüksek lisans tez konumun belirlenmesi sürecinde fikirlerini benimle paylaşan eski çalışma arkadaşım Arş. Gör. Ahmet TÜRKMEN'e, uygulama problemimin çözümü için hem futbolcu verilerini temin eden hem de gerekli çalışmaların yürütülmesinde zaman ayıran teknik analiz uzmanı antrenör arkadaşım Şener GENÇTÜRK ve KAYSERİSPOR futbol kulübüne, tezimin hazırlanması süresince yoğun çalışma programına rağmen yardımlarını esirgemeyip tezimi okuyan ve düzeltmeler konusunda önerilerde bulunan çalışma arkadaşlarım Arş. Gör. Selma ERDOĞAN ve Arş. Gör. M. Emin GÜL'e, tezimin uygulama aşamasında kullanılan algoritmanın hazırlanmasında çok büyük katkıları bulunan Yrd. Doç. Dr. Gülşah TÜMÜKLÜ'ye, tezimin hazırlanması sürecince zaman zaman ihtiyaç duyduğum manevi desteği daima veren arkadaşlarım Öğr. Gör. M. Uğur TÜMÜKLÜ, Erdem KOCA, Cihan AKICI, Seda AŞÇI ÖZER ve Elanur ALTINHAN'a, en önemlisi maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem Penpe GÜNGÖR, kardeşim Gönül GÜNGÖR ve rahmetli babam Hüseyin GÜNGÖR'e çok teşekkür ediyorum.

**ARMONİ ARAMA ALGORİTMASI'NIN TAKIM KURMA
PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE KULLANIMI:
KAYSERİSPOR FUTBOL TAKIMI UYGULAMASI**

Sabri GÜNGÖR

Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2015

Danışman: Prof. Dr. Filiz ÇALIŞKAN

ÖZET

Çalışmada takım kurma problemleri kapsamında futbol takımı kurma örneği ele alınıp, 2007-2008 futbol sezonunda Türkiye Süper Ligi'nde mücadele etmiş Kayserispor futbol takımı için kadro belirleme çalışması Armoni Arama Algoritması kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan yöntemin daha iyi anlaşılabilmesi için ilk bölümde algoritmanın yapısı ve genel özellikleri açıklanmış; ikinci bölümde literatür taraması yöntemi ile Armoni Arama Algoritması ve takım kurma problemleri üzerine yapılmış çalışmalar derlenmiştir. Son bölümde ise ele alınan Kayserispor problemi ile ilgili parametreler açıklandıktan sonra takım kurma problemi Armoni Arama Algoritması ile çözülmüştür.

Bu çalışmayla, takım kurma süreçlerini sadece kişisel deneyim ve tecrübeleri ile üstlenmek zorunda olan teknik direktör, menajer ya da başkan gibi spor kulübü karar vericilerine destek olmak ve takım performansını istenen seviyelere çıkartmak hedeflenmiştir. Bu sayede yanlış kararların takım üzerine getirdiği olumsuz ekonomik etkilerin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen başarılı sonuçlar, Armoni Arama Algoritması'nın takım kurma problemleri üzerindeki yeterliliğini gösterir niteliktedir.

Sonuç olarak; Armoni Arama Algoritması'nın takım kurma problemlerindeki başarısı ortaya konulmuş ve benzer amaçlı daha büyük ölçekli problemlerin çözümünde kullanılan bu yöntemin uygulanması önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: Armoni Arama Algoritması, takım kurma, futbol.

**HARMONY SEARCH ALGORITHM
FOR TEAM FORMATION PROBLEMS:
AN APPLICATION IN KAYSERISPOR FOOTBALL TEAM**

Sabri GÜNGÖR

Erciyes University, Graduate School of Social Sciences

M.Sc. Thesis, July 2015

Supervisor: Prof. Dr. Filiz ÇALIŞKAN

ABSTRACT

In this study, football team formation problem is examined within the scope of team formation problems and a football team squad selection study is conducted using Harmony Search Algorithm for Kayserispor which competed at 2007-2008 season of Turkish Super League. For better understanding of the method used, the structure and general attributes of the algorithm is examined in the first section and studies on Harmony Search Algorithm and team formation problems are summarized in the second section. Finally, the parameters of the Kayserispor problem are explained and the related team formation problem is solved using Harmony Search Algorithm in the last section.

The aim of this work is to provide support for decision makers like head coaches, managers or presidents of football clubs who must make team formation decisions based only on their personal experiences in order to fetch the team performance up to the desired levels. By doing this, negative economic impacts of the wrong decisions on the club will be minimized. The obtained promising results indicate that Harmony Search Algorithm is efficient at solving team formation problems.

As a result, the success of Harmony Search Algorithm in solving team formation problems is shown and it is concluded that the method can be used to solve larger scale problems with similar goals.

Keywords: Harmony Search, team formation, football.

İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI.....	ii
KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
TEŞEKKÜRLER	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

ARMONİ ARAMA ALGORİTMASI

1.1. Sezgisel ve Meta Sezgisel (Sezgisel Ötesi) Yöntemler	4
1.2. Armoni Arama Algoritması'nın Yapısı	6
1.3. Armoni Arama Algoritması'nın Diğer Meta Sezgisel Yöntemlerden Farklılıkları	8
1.4. Armoni Arama Algoritması'nın Sahip Olduğu Avantajlar	8
1.5. Armoni Arama Algoritması Kullanılarak Çözülebilir Problem Türleri.....	9
1.6. Armoni Arama Algoritması'nın İşleyişi	10
1.6.1. Problemin Kurulması ve Çözüm Parametrelerinin Ayarlanması.....	11
1.6.2. Armoni Belleğinin Oluşturulması	11
1.6.3. Yeni Armoni Oluşturma.....	12
1.6.4. Armoni Belleğinin Güncellenmesi.....	15

1.6.5.	Durma Koşullarının Kontrolü	16
1.7.	Armoni Arama Algoritması'ndaki En Önemli Gelişimler	16
1.8.	Geliştirilmiş Armoni Arama Algoritması Türevleri	17
1.8.1.	Parametre Değişikliği ile Geliştirilmiş Armoni Arama Algoritması Türevleri	18
1.8.2.	Hibrit Armoni Arama Algoritması Türevleri	18
1.8.3.	Armoni Arama Algoritması'nın Başka Algoritmaların Performansını Arttırmak İçin Kullanıldığı Hibrit Yöntemler	20
1.9.	Armoni Arama Algoritması'nın Örnek Problem Üzerinde Uygulanması: Okul Servisi Rotalama Problemi	20
1.9.1.	Adım-1: Problemin Kurulması ve Çözüm Parametrelerinin Belirlenmesi ..	24
1.9.2.	Adım-2: Armoni Belleğinin Doldurulması	24
1.9.3.	Adım-3: Yeni Armoni Oluşturma (Yeniden Üretim).....	27
1.9.4.	Adım-4: Armoni Belleğinin Güncellenmesi	31
1.9.5.	Adım-5: Durma Koşullarının Kontrolü.....	32

2. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

2.1.	Armoni Arama Algoritması İle İlgili Çalışmalar	33
2.2.	Takım Kurma Problemleri İle İlgili Çalışmalar	69

3. BÖLÜM

FUTBOL TAKIMI KURMA PROBLEMİNİN ARMONİ ARAMA ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜMÜ

3.1.	Problemin Tanımlanması.....	76
3.2.	Parametre ve Değişkenlerin Belirlenmesi	78
3.2.1.	Kriterler Listesi	79
3.2.2.	Oyuncu-Puan Tablosu	81
3.2.3.	Pozisyon-Puan Tablosu	84

3.2.4. Oyuncu-Pozisyon Matrisi.....	86
3.3. Problemin Armoni Arama Algoritması İle Çözümü	87
3.3.1. Amaç Fonksiyonu ve Çözüm Parametrelerinin Belirlenmesi.....	87
3.3.2. Armoni Belleğinin Oluşturulması.....	88
3.3.3. Yeni Armoni Oluşturma.....	89
3.3.4. Armoni Belleğinin Güncellenmesi.....	92
3.3.5. Durma Koşullarının Kontrolü	93
3.3.6. Armoni Arama Algoritması'na Göre Çözüm Sonucu.....	93
3.4. Problemin Matematiksel Modelinin Çözümü.....	96
3.5. Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi	98
3.6. Önerilen Yöntemin Uygulamaya Katkıları.....	100
SONUÇ	102
KAYNAKÇA.....	104
ÖZGEÇMİŞ	

KISALTMALAR LİSTESİ

AAA:	Armoni Arama Algoritması
AD-AAA:	Adaptif Armoni Arama Algoritması
AH:	Analitik Hiyerarşi
AIS:	Yapay Bağışıklık Sistemleri
ARA:	Arı Algoritması
ATA:	Ateşböceği Algoritması
BM:	Bulanık Mantık
BT:	Benzetimli Tavlama Algoritması
bw:	Bantgenişliği
CSA:	Klonal Seleksiyon Algoritması
DA:	Dijkstra Algoritması
DDP:	Diferansiyel Dinamik Programlama
DE:	Diferansiyel Gelişim Algoritması
DİP:	Dinamik Programlama
DOP:	Doğrusal Olmayan Programlama
DP:	Doğrusal Programlama
DPSO:	Dinamik Parçacık Sürü Optimizasyonu
EA:	Evrimsel Algoritmalar
EHS:	Topluluk Armoni Arama Algoritması
ES:	Evrimsel Stratejiler
GA:	Genetik Algoritma
GHS:	Global En İyi Armoni Arama Algoritması

GP:	Genetik Programlama
HF:	Armoni Filtresi
HMCR:	Armoni Belleğini Dikkate Alma Oranı
HMS:	Armoni Belleği Boyutu
IHS:	Geliştirilmiş Armoni Arama Algoritması
ITHS:	Akıllı Ayarlanmış Armoni Arama Algoritması
KK:	Karınca Koloni Algoritması
LEM:	Öğrenilebilir Gelişim Modeli
MHS:	Modifiye Edilmiş Armoni Arama Algoritması
NEH:	Nawaz-Enscore-Ham
PAR:	Ton Ayarlama Oranı
PF:	Parçacık Filtresi
PSO:	Parçacık Sürü Optimizasyonu
SFL:	Karmaşık Kurbağa Sıçraması
SQP:	Sıralı Kuadratik Programlama
TA:	Tabu Arama Algoritması
TCTP:	Zaman-Maliyet Takas Problemleri
TP:	Tamsayılı Programlama
TT:	Tepe Tırmanma Algoritması
UKF:	Kokusuz Kalman Filtresi
3PL:	3. Parti Lojistik
4PL:	4. Parti Lojistik

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Tesadüfi Doldurulmuş Armoni Belleği.....	24
Tablo 2. Amaç Fonksiyonu Değerleri Hesaplanmış Armoni Belleği.....	26
Tablo 3. Amaç Fonksiyonu Değerlerine Göre Sıralanmış Armoni Belleği	26
Tablo 4. Yeni Armoni Geliştirme Öncesi Armoni Belleği	31
Tablo 5. Yeni Armoni Geliştirme Sonrası Armoni Belleği.....	32
Tablo 6. Kayserispor Kriterler Listesi	80
Tablo 7. Kayserispor Futbol Takımı 2007-2008 Sezonu Kadrosu.....	82
Tablo 8. Kayserispor Oyuncu-Puan Tablosu	83
Tablo 9. Kayserispor Pozisyon-Puan Tablosu	85
Tablo 10. Kayserispor Oyuncu-Pozisyon Matrisi	86
Tablo 11. Tesadüfi Doldurulmuş Armoni Belleği - Kayserispor	88
Tablo 12. Amaç Fonksiyonu Değerine Göre Sıralanmış Armoni Belleği - Kayserispor	88
Tablo 13. Yeni Armoni Geliştirme Öncesi Armoni Belleği - Kayserispor.....	92
Tablo 14. Yeni Armoni Geliştirme Sonrası Armoni Belleği - Kayserispor.....	92
Tablo 15. Armoni Arama Algoritması'na Göre Kayserispor Kadrosu	93
Tablo 16. Armoni Arama Algoritması – Parametre Hassasiyet Analizi	96
Tablo 17. Matematiksel Model Sonucuna Göre Optimum Takım Kadrosu	97

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Armoni Araştırma Süreciyle Optimizasyon Problemi Arasındaki İlişki.....	6
Şekil 2. Armoni Arama Algoritmasının İşleyiş Adımları.....	10
Şekil 3. Armoni Belleği	12
Şekil 4. Yeni Armoni Geliştirme Kapsamı	14
Şekil 5. Okul Servisi Rotalama Problemi	21
Şekil 6. Armoni Arama Algoritması Çalışma Alanları.....	45
Şekil 7. Kayserispor Oyun Sistemi - Pozisyon Numaraları.....	84
Şekil 8. Armoni Arama Algoritması'na Göre Kayserispor Kadrosu.....	94
Şekil 9. Armoni Arama Algoritması Sonuçlar Grafiği	95
Şekil 10. Matematiksel Model Sonucuna Göre Optimum Takım Kadrosu.....	98
Şekil 11. Kayserispor Kadro Karşılaştırması.....	99

GİRİŞ

Bir firma açısından tamamlanması gereken belirli bir faaliyetin hangi elemanlarca yerine getirileceği kararını vermek karar verici konumdaki kişilere yüklenmiş bir sorumluluktur. Bu kararların alınmasında yapılacak hatalar firma açısından hayati önem taşıyan faaliyetin amaçlanan çerçevede tamamlanamamasıyla sonuçlanır.

Takım kurma ya da çalışma grubu oluşturma diye ifade edilen bu problemin benzeri takım sporları için de geçerlidir. Firmalar açısından takım oluşturma çalışması bir defa yapıp görevlendirilen ekip tarafından sonuçlandırılana kadar yeniden belirleme işlemine ihtiyaç duyulmazken futbol, basketbol ya da voleybol gibi popüler takım sporları açısından sezon boyu her mücadele öncesi bu faaliyetin sürekli olarak tekrarlanması gerekmektedir. Takım sporları açısından bu kararın en uygun şekilde verilememesi, yapılacak mücadelede takımın düşük performans sergilemesine ve dolayısıyla mağlubiyet olasılığının artmasına neden olacaktır. Spor kulüplerinin temel var oluş nedenlerinden birinin yaptıkları mücadelelerden galip ayrılmak olduğunu göz önüne aldığımızda bu kararların ne derecede önem arz ettiği anlaşılabilir.

Dünya genelinde insanlar tarafından çok yoğun ilgi gören takım sporları birer büyük endüstri haline gelmiştir. Alınan olumsuz sonuçlar takımlar açısından sadece mutsuzluk kaynağı olmaktan çıkıp çok büyük ekonomik kayıplar anlamına da gelmektedir. Bu nedenle takımdaki karar vericilerin her mücadele öncesi vermesi gereken bu kararların mümkün olduğunca doğru alınması kulübün ekonomik yapısını da derinden etkilemektedir. Hiçbir destek almadan bu kararların karar vericilerin kişisel görüş ve deneyimlerine göre sürekli olarak doğru verilmesini beklemek gerçekçi olmadığı için, karar vericilere objektif kararlar alma adına destek vermek ihtiyacı doğmuştur.

Bu çalışmada dünya genelinde hem ekonomik büyüklüğü hem de insanlar tarafından en fazla ilgi gösterilen takım sporu olması nedeniyle futbol için karar verici

pozisyonundaki profesyonellere takım kurma çalışmalarında destek vermek amaçlanmıştır. Oluşturulan karar destek sistemi farklı amaçlarla kullanıma uygun olsa da öncelikli olarak karar vericilerin cevabını aradığı “Takım sahaya hangi kadroyla çıkmalıdır?” sorusu cevaplandırılmaya çalışılmıştır. Bu soru sadece bir oyuncu listesinin oluşturulmasından ibaret olarak ele alınmayıp, belirlenen oyuncuların hangi pozisyonlarda kullanılması gerektiğini de belirtebilecek nitelikte cevaplandırılmıştır.

2007-2008 futbol sezonunda Türkiye Süper Ligi’nde mücadele eden Kayserispor futbol takımı bu çalışmada futbol takımı kurma problemi için örnek olarak seçilmiştir. Kayserispor takımının seçilme nedeni 2007-2008 sezonunda göreve gelen teknik ekibin karar destek sistemlerine olan ilgisidir. Nitekim sezon boyunca yapılan müsabakalar teknik analiz uzmanı tarafından her hafta incelenmiştir. Oyuncu istatistiklerini tutarak takımın genel durumu hakkında fikir edinmek amaçlandığı için sporcuların performansları ile ilgili sağlıklı bilgiler elde edilmiştir. Tutulan bu verileri kullanarak oyuncuları yönlendirmeyi planlayan teknik ekip kulüp tarihinin en başarılı sezonunu geçirip Türkiye Kupası’nın kazanılmasında önemli rol oynamıştır. Teknik ekibin sadece oyuncu istatistiklerine bakarak aldığı bu yardımın yetersiz olduğu düşünülerek takım kurma kararının verilmesine destek olma hedeflenmiştir. Bu amaçla 2007-2008 sezonu boyunca teknik analiz uzmanının elde ettiği oyuncu istatistikleri bu çalışmada önerilen yöntemin girdileri olarak kullanılmış ve objektif kararlar alma konusunda teknik ekibe yardımcı olmak hedeflenmiştir.

Futbol takımı kurma çalışması için Armoni Arama Algoritması tercih edilmiştir. 2001 yılında Geem, Kim ve Loganathan tarafından jazz müzikten esinlenerek geliştirilen bu meta sezgisel algoritmanın seçilmesinin nedeni, benzer nitelikteki algoritmalara göre sahip olduğu yapısal üstünlükleridir. Bu yöntem, iyi bir başlangıç çözümüne ihtiyaç duymama, popülasyon bazlı çalışma, yoğunlaşma ve farklılaşma stratejilerini iyi bir biçimde harmanlama, kolay kodlanabilme ve çok farklı örnek türlerinde başarıyla çalışabilme gibi özelliklere sahiptir.

Futbol takımı kurmayla ilgili 2003 yılında Boon ve Sierksma tarafından yapılan çalışmada oyuncuların değerlendirilmesi aşamasında istatistiki veriler kullanılmayıp yine bütün yük teknik ekibe yüklenmiştir. Ele alınan Kayserispor örneğinde ise teknik ekipten alınan oyuncu istatistikleri sisteme dahil edilerek daha objektif bir bakış getirilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmayla sadece futbol takımı kurma problemini çözmek amaçlanmamış, buna paralel olarak 2001 yılında geliştirilip geniş alanlarda uygulanan Armoni Arama Algoritması'nın bu tip problemlerin çözümündeki başarısı da sınanmıştır. Kayserispor gibi küçük sayılabilecek bir örnek problem üzerinde gösterdiği performans milli takımlar gibi büyük boyutlu örnekler açısından Armoni Arama Algoritması'nın kullanımını hakkında olumlu fikirler vermiştir.

İlk bölümde, problemin çözümü için kullanılan Armoni Arama Algoritması'nın çalışma mantığı ele alınıp benzer algoritmalarından farklılıkları, üstünlükleri, çözüm getirebildiği problem türleri ve orijinal Armoni Arama Algoritması'nın gelişim süreci detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bunlara ek olarak Geem tarafından 2005 yılında Armoni Arama Algoritması ile çözülen "Okul Servisi Rotalama" problemi algoritmanın adımlarının daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla hayali bir iterasyon boyunca detaylı olarak ele alınmıştır.

İkinci bölümde, Armoni Arama Algoritması ve futbol örneği özelinde takım kurma problemleri ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar kronolojik olarak incelenmiş, önemli çalışmalar daha detaylı olarak aktarılmıştır.

Çalışmanın son bölümünde ise ele alınan Kayserispor futbol takımı için takım kurma problemi Armoni Arama Algoritması kullanılarak çözülmüştür. Çözüm sonucu ulaşılan armoni, Kayserispor teknik ekibinin belirlediği taktik anlayışa göre takımın gelecek karşılaşmaya hangi oyuncular ve dizilişle çıkması gerektiğini gösterir niteliktedir.

1. BÖLÜM: ARMONİ ARAMA ALGORİTMASI

Günlük hayatta karşımıza çıkan ve çok fazla alternatif çözümü bulunan problemlerle çalışılırken doğrusal ya da doğrusal olmayan programlama gibi matematiksel modeller kullanılmaktadır. Bu modeller en iyi çözümü vermeyi garanti eden yöntemlerdir. Buna rağmen araştırmacılar tarafından farklı çözüm yolları aranmış ve sezgisel ya da sezgisel olmayan yöntemler gibi farklı bakış açıları kullanılmıştır. Bunun nedenleri arasında örnek uzay, diğer bir deyişle çözüm alternatifi sayısının çok fazla olması, problemin yapısı gereği çok fazla lokal optimum sonucun bulunması ve örnek boyutunun büyümesi ile hem kodlama hem de hesaplama süresi bakımından kesin sonuç veren yöntemlerin yetersiz kalması sıralanabilir. İşte bu noktada farklı yöntemler kullanarak bize her zaman en iyi sonucu vermeyi garanti etmese bile en iyiye yakın sonucu kabul edilebilir bir zamanda vermeyi vadeden yöntemler kullanılmaya başlamıştır. Fakat bu yöntemler bütün örnekler için aynı performansta çalışma kabiliyetinde olmadığı için araştırmacılar tarafından her örnek problem türü için kullanılacak yöntemlerin belirlenmesi adına çalışmalar yapılmaktadır.

1.1. Sezgisel ve Meta Sezgisel (Sezgisel Ötesi) Yöntemler

Kabul edilebilir bir hesaplama süresi içinde deneme yanımlarla optimuma yakın iyi bir sonuca ulaşmaya çalışmak sezgisel yöntemlerin tipik özelliğidir. Sezgisel kavramı ile ifade edilmek istenen deneme yanılmayla arama, araştırma yapmaktır. En iyi ya da optimum sonucu bulmanın garantisi yoktur; ancak şimdiye kadar bulunmuş en iyi sonucu geliştirme, daha iyi bir sonucu keşfetme yapılabilir. Genel bir yaklaşımla bakarsak sezgisel yöntemler yerel arama temeline dayanır. Ulaşılmış sonuçların lokal varyasyonlarını deneyerek daha iyisini keşfe çalışır. Zamanın ana kısıt olduğu durumlarda arama uzayından seçilmiş lokal bölgedeki yüksek kaliteli uygun bir sonuç birçok optimizasyon probleminde iyi bir sonuç olarak kabul edilir (Yang, 2009, 1-14).

Meta sezgisel yöntemler ise sezgisel yöntemlerin gelişmiş türüdür ve meta ifadesiyle sezgisellerin ötesinde, üst düzey anlamları ifade edilir. Arama işinin üst düzey tekniklerle yapıldığı yöntemlerdir; ancak halen deneme yanılgılarıyla da arama yapılmaya devam edilir. Kısaca hem üst düzey teknikler hem de deneme yanılgı kombine edilmiştir. Bunu yapmanın amacı, arama uzayının tamamını denemelerle test etmeye çalışarak lokal optimuma yakalanmamaktır. Son yıllarda bu tip teknikler yaygınlaşmaya başlamıştır. Evrimsel Algoritmalar (EA), Genetik Algoritma (GA), Benzetimli Tavlama (BT), Tabu Arama (TA), Karınca Koloni Algoritması (KK), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Arı Algoritması (ARA), Ateşböceği Algoritması (ATA) ve Armoni Arama Algoritması (AAA) bunlara örnek gösterilebilir (Yang, 2009, 1-14).

Modern meta sezgisel yöntemlerin yoğunlaşma ve çeşitlendirme olmak üzere iki temel bileşeni vardır. Verimli ve etkin bir algoritma geliştirebilmek için olası örnek uzayın bir yeri çeşitlendirme ile ziyaret edilmeli, bulunan iyi sonuçlara yoğunlaşma ile odaklanarak yakın çevresindeki daha iyi sonuçlara ulaşmaya çalışılmalıdır. İyi bir algoritmanın şartı, görece olarak birbirine zıt bu iki kavramın iyi bir dengesini sağlayabilmektir. Yoğunlaşma daha güçlü olursa lokal optimuma yakalanma riski artar, çeşitlendirme daha güçlü olursa arama hızı düşer ve örnek uzayda oradan oraya savrulmalar yaşanır (Yang, 2009, 1-14) (Yadav; Kumar; Panda vd. 2012, 47-72).

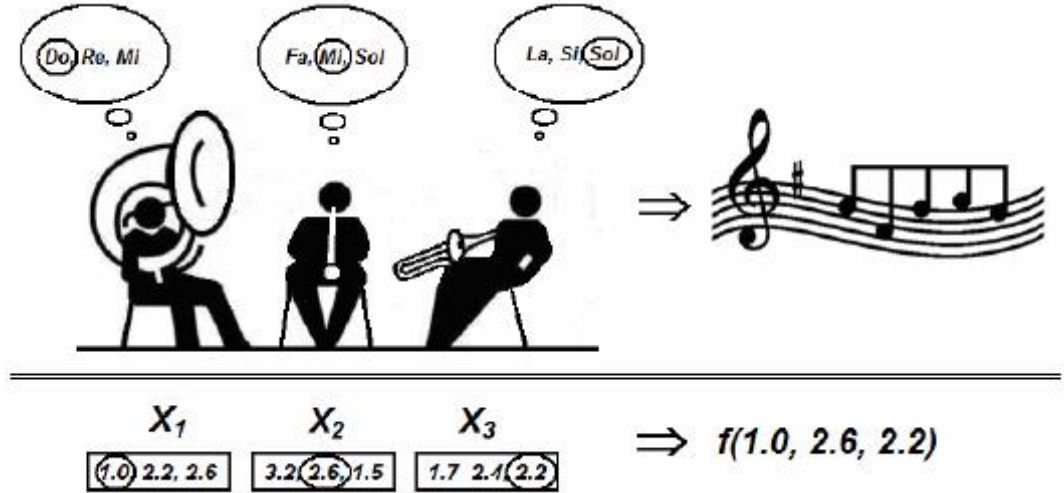
Meta sezgisel yöntemler, aramanın popülasyon veya bireysel tabanlı olup olmadığına göre iki gruba ayrılabilir. Örneğin, BT her seferinde sadece bir arama yapan bireysel arama tekniği kullanır. GA, aynı anda çok arama yapan popülasyon tabanlı bir meta sezgisel yöntemdir. Her iki arama yaklaşımı da çeşitli problemlerde iyi sonuçlar verdiği için hangisinin daha iyi olduğu tartışmalıdır. Literatürdeki çalışmalarda daha karmaşık yapıları problemler için popülasyon tabanlı algoritmaların daha iyi sonuçlara ulaşabildikleri görülmektedir (Yang, 2009, 1-14).

Bu çalışmada ele alınan futbol takımı kurma problemi 2001 yılında Geem, Kim ve Loganathan tarafından geliştirilmiş bir meta sezgisel yöntem olan Armoni Arama Algoritması ile çözülecektir.

1.2. Armoni Arama Algoritması'nın Yapısı

Armoni Arama Algoritması ilk olarak Geem, Kim ve Loganathan tarafından 2001 yılında jazz müziğinden esinlenerek geliştirilmiştir. Jazz müzikteki en iyi armoniye ulaşma sürecini taklit etmeye çalışan evrimsel bir meta sezgisel optimizasyon tekniğidir. Yönteme göre orkestra elemanları birlikte daha fazla çalarak en iyi armoniyi elde edebilir; optimizasyon problemleri ise daha fazla deneme yani iterasyonla en iyi sonuca ulaşabilir (Geem; Kim; Loganathan, 2001, 60-68).

Bir orkestranın estetik açıdan en iyi armoniye ulaşabilmesi, orkestra elemanlarının armonik açıdan birbirleriyle uyumlu çalmaları sonucunda elde edilir. Optimizasyon problemlerinin çözümü açısından bakıldığında ise amaç fonksiyonu sonucunun global optimuma yaklaşması ise sağlanacaktır. Orkestranın en iyi armoniye ulaşma süreci ile optimizasyon problemlerinin global optimuma ulaşmaya çalışması arasındaki ilişki Şekil 1'deki gibi gösterilebilir (Ayvaz; Karahan; Gürarlan, 2007, 188-202).



Şekil 1. Armoni Araştırma Süreciyle Optimizasyon Problemi Arasındaki İlişki

Kaynak: (Ayvaz; Karahan; Gürarlan, 2007, 188-202).

Şekil 1’de görüldüğü gibi, üç farklı müzisyenin olduğu bir orkestrada birinci müzisyenin hafızasında (Do, Re, Mi), ikinci müzisyenin hafızasında (Fa, Mi, Sol), üçüncü müzisyenin hafızasında ise (La, Si, Sol) notaları bulunmaktadır. Her bir müzisyen hafızalarındaki bir notayı çalarak bir armoni oluşturmaktadır. Burada birinci müzisyenin Do, ikincinin Mi ve üçüncünün Sol notasını kullandığını varsayarsak oluşacak yeni armoni (Do, Mi, Sol) olacaktır. Oluşturulan bu armoni estetik açıdan müzisyenlerin belleğindeki en kötü armoniden daha iyiye belleğe girecek; en kötü armoni bellekten çıkartılacaktır. Bu işlem X_1 , X_2 , X_3 gibi üç farklı karar değişkenine uyarlanacak olursa süreç şu şekilde gelişecektir (Ayvaz; Karahan; Gürarlan, 2007, 188-202).

Karar değişkenlerinin hafızalarındaki değerler:

$$X_1 = "1.0 - 2.2 - 2.6" \quad X_2 = "3.2 - 2.6 - 1.5" \quad X_3 = "1.7 - 2.4 - 2.2"$$

Hafızadan seçilen karar değişkeni değerleri:

$$X_1 = "1.0" \quad X_2 = "2.6" \quad X_3 = "2.2"$$

Oluşturulan yeni çözüm vektörü ise şu şekilde olacaktır:

$$x' = (1.0 - 2.6 - 2.2) \quad f(1.0, 2.6, 2.2)$$

Bu çözüm vektörünün amaç fonksiyonu bakımından değeri bellekteki en kötü çözümden daha iyi ise belleğe alınıp en kötü çözüm bellekten çıkartılacaktır.

BT, Tepe Tırmanma (TT), GA ya da AAA gibi evrimsel algoritmalar tek bir çözümle ilgilenen diğer algoritmaların tersine, potansiyel çözümlerin popülasyonlarının devamlılığı esasına göre çalışır. Aynı anda birden çok çözümle ilgilenmesi sebebiyle de lokal optimumlara yakalanma olasılığı, tek çözümle ilgilenen algoritmalara göre daha azdır (Omran ve Mahdavi, 2008, 643-656).

1.3. Armoni Arama Algoritması'nın Diğer Meta Sezgisel Yöntemlerden Farklılıkları

AAA'nın diğer meta sezgisel algoritmalarından farklılaştığı noktaları şöyle sıralayabiliriz (Geem; Kim; Loganathan, 2001, 60-68) (Ayvaz; Karahan; Gürarlan, 2007, 188-202) (Osama ve Mandava, 2011, 49-68):

- i. GA'da yeni bir jenerasyon oluşturulurken popülasyon içerisinde seçilen iki birey baz alınarak işlem gerçekleştirildiği için sadece seçilen bireylerin özellikleri yeni jenerasyona aktarılabilir; AAA'da ise yeni armoni oluşturulması sürecinde hafızadaki bütün armonilerden yararlanılmaktadır. Yani, yeni armoninin oluşumunda bütün bireylerin etkisi bulunmaktadır. Ayrıca, AAA'da yeni bir armoni oluşturulurken sadece hafızadaki armonilerden değil, armoni belleğini dikkate alma oranı (HMCR) ve ton ayarlama oranı (PAR) gibi algoritma parametreleri sayesinde hafızada olmayan bütün alternatiflerden de yararlanma imkânı bulunmaktadır.
- ii. AAA'nın bir iterasyonunun tamamlanma süresi GA'ya göre daha kısadır.
- iii. Vektördeki her karar değişkeni birbirinden bağımsız ele alınarak belirlenir.
- iv. Hassasiyet kaybı olmadan sürekli karar değişkenlerini de dikkate alabilir.
- v. Sabit sayı ya da basamağa ihtiyaç duymaz.
- vi. Karar değişkenleri için başlangıç çözümüne ihtiyaç duymaz.
- vii. Üretim işlevi için karmaşık üretim bilgisine ihtiyaç duymaz.
- viii. HMCR, PAR ve tesadüfî seçim gibi çeşitli geliştirme operatörleri sayesinde yoğunlaştırma ve farklılaştırma arasındaki zıtlıkta dengeyi kurar.

1.4. Armoni Arama Algoritması'nın Sahip Olduğu Avantajlar

AAA'nın sahip olduğu avantajları şöyle listeleyebiliriz (Ayvaz, 2007, 2326-2338) (Li; Li; Kim vd. 2008, 57-64) (Fesanghary; Damangir; Soleimani, 2009, 1026-1031):

- i. Karar değişkenleri için özel bir başlangıç çözümü tanımlamaya gerek yoktur.

- ii. Birden çok çözümle optimizasyon işlemi devam ettiği için birden çok yönde global optimum çözüm aranmakta ve bu sayede lokal optimum çözümlerden kurtulmaktadır.
- iii. Hem sürekli hem de kesikli değişkenlerde kullanılabilir.
- iv. Basit matematiksel ifade imkânı ve kolay kodlanabilme imkânı bulunmaktadır.
- v. Stokastik tesadüfi arama yaptığı için türetme bilgisine ihtiyaç yoktur.
- vi. Örnek uzaydaki hiç girilmemiş uygun alanları da arama kabiliyetine sahiptir.

1.5. Armoni Arama Algoritması Kullanılarak Çözülebilir Problem Türleri

AAA hem test problemlerinin çözümünde hem de gerçek hayat problemlerinin çözümünde başarıyla uygulanabilmektedir. AAA kullanılarak çözüm bulunabilen problem türleri şöyle sıralanabilir (Geem; Fesanghary; Choi vd. 2008, s.468) (Ingram ve Zhang, 2009, 15-38);

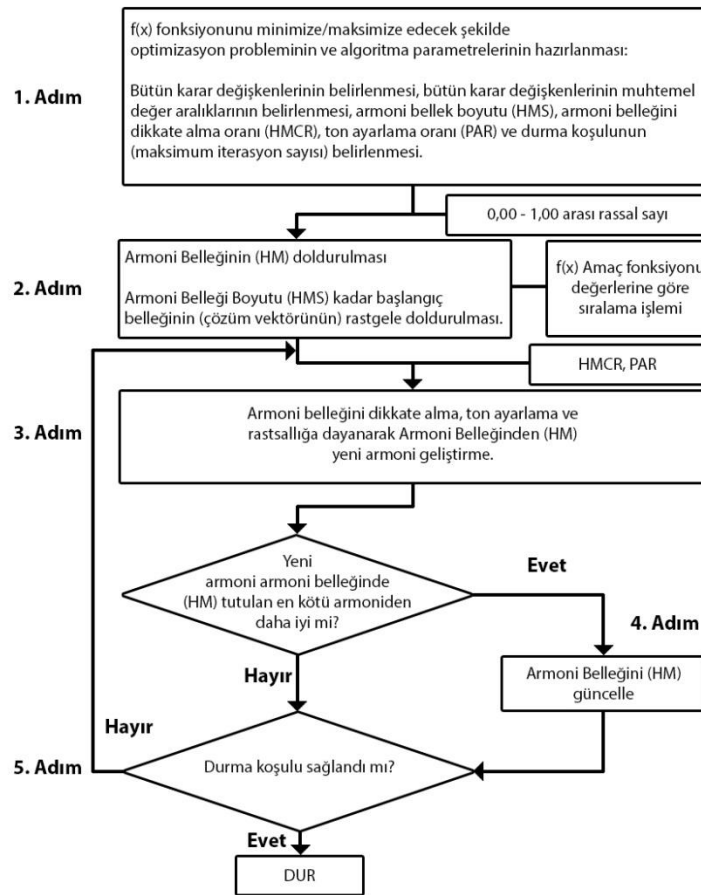
- i. Analizler.
- ii. Çizelgeleme problemleri.
- iii. Ders programı oluşturma.
- iv. Ekolojik koruma.
- v. Enerji problemleri.
- vi. Kalibrasyon ve parametre belirleme problemleri.
- vii. Medikal görüntüleme.
- viii. Müzik besteleme.
- ix. Rota belirleme problemleri.
- x. Sudoku bulmacalarının çözümü.
- xi. Tasarım problemleri.
- xii. Test problemleri.
- xiii. Toprak kayması tespiti.

1.6. Armoni Arama Algoritması'nın İşleyişi

Beş temel adımdan meydana gelen AAA'nın işleyişi aşağıda listelenen prosedürleri takip etmektedir (Zarei; Fesanghary; Farshi vd. 2009, 2386-2389):

- Problemin kurulması ve çözüm parametrelerinin ayarlanması.
- Armoni belleğinin oluşturulması.
- Yeni armoni oluşturulması.
- Armoni belleğinin güncellenmesi.
- Durma koşullarının kontrolü.

AAA'nın işleyiş adımları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Armoni Arama Algoritmasının İşleyiş Adımları

Kaynak: (Lee ve Geem, 2004, s.782)

1.6.1. Problemin Kurulması ve Çözüm Parametrelerinin Ayarlanması

Bu aşamada optimizasyon problemi aşağıdaki gibi tanımlanır (Ayvaz, 2009, s.917):

$$z = \min \{f(x)\} \quad x_i \in X_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, N$$

$f(x)$ Minimize edilecek amaç fonksiyonu,

x_i i 'nci karar değişkeni,

X_i i 'nci karar değişkeni için kullanılan çözüm uzayı,

N Toplam karar değişkeni sayısı.

AAA'nın kullandığı çözüm parametreleri ise aşağıda tanımlanmıştır (Ayvaz, 2009, s.918):

HMS Armoni belleği boyutu.

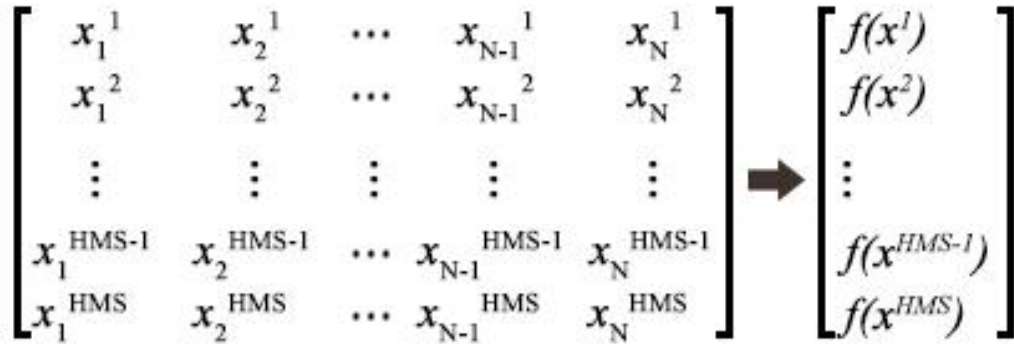
HMCR Armoni belleğini dikkate alma oranı.

PAR Ton ayarlama oranı.

Armoni belleği boyutu, (HMS: Harmony Memory Size) iterasyonlar boyunca hafızada tutulacak en iyi sonuca sahip çözüm sayısını gösteren parametredir. Armoni belleğini dikkate alma oranı (HMCR: Harmony Memory Considering Rate), yeni armoni oluşturma sürecinde armoni belleğinin ne oranda dikkate alınacağını ve ton ayarlama oranı (PAR: Pitch Adjusting Rate) ise hafızadan seçilen değerlere ne oranda ton ayarlama işlemi yapılacağını ifade eden parametrelerdir.

1.6.2. Armoni Belleğinin Oluşturulması

Bu aşamada, belirlenen HMS kadar armoni tesadüfi olarak belirlenip armoni belleği doldurulur. Karar değişkenleri doldurulduktan sonra her bir armoninin değeri amaç fonksiyonuna göre hesaplanır. Amaç fonksiyonu değerlerine göre bellekteki armoniler, minimizasyon problemlerinde küçükten büyüğe, maksimizasyon problemlerinde ise büyükten küçüğe sıralanmaktadır.



Şekil 3. Armoni Belleği

Kaynak : (Ayvaz; Karahan ve Gürarlan, 2007, s.4)

x_i^j = j'nci armoni vektöründe yer alan i'nci karar değişkeni

$i = 1,2,3,\dots,N$ ve $j = 1,2,3,\dots, HMS$

1.6.3. Yeni Armoni Oluşturma

Bu aşamada yeni bir armoni vektörü, diğer bir deyişle yeni bir çözüm alternatifi üretilmektedir.

$$x' = (x'_1, x'_2, x'_3, \dots, x'_N)$$

1. Adımda belirlenen çözüm parametrelerinden HMCR yeni oluşturulacak vektör elemanlarının hafızadaki değerlerden mi, yoksa bütün olası değerlerden mi seçileceğini gösterecektir. Her bir değişken için (x'_i) ayrı ayrı gerçekleştirilecek işlemde oluşturulacak tesadüfi sayının HMCR'den küçük ya da eşit olması durumunda seçim işlemi armoni belleğinden, büyük olması durumunda ise bütün olası değerlerden tesadüfi olarak belirlenecektir. HMCR'nin 0 ila 1 arasındaki bir değer olması nedeniyle seçilecek yeni değer % HMCR oranında armoni belleğinden % 1-HMCR oranında ise bütün olası değerlerden seçilecektir. HMCR bir problemin çözümünde 0,85 olarak belirlenecek olursa yeni eleman % 85 oranında armoni belleğinden % 15 oranında çözüm uzayından (X_i) seçilecektir.

$$x'_i = \begin{cases} x'_i \in \{x_i^1, x_i^2, x_i^3, \dots, x_i^{HMS}\} & U(0,1) \leq HMCR \text{ ise} \\ x'_i \in X_i & U(0,1) > HMCR \text{ ise} \end{cases}$$

$U(0,1)$ ifadesi 0 ile 1 arasında tesadüfi olarak belirlenen sayıyı temsil etmektedir. Yukarıdaki olasılık işlemi sonucunda yeni karar değişkeni mevcut armoni belleği içerisinde seçilmiş ise ton ayarlama işlemine ihtiyaç olup olmadığı belirlenmelidir. Bunun için de yine 1. adımda belirlenen PAR çözüm parametresi kullanılacaktır. Yine bu işlemde de tesadüfi belirlenecek 0 ile 1 arasındaki sayının PAR parametresinden küçük ya da eşit olması durumunda ton ayarlama işlemi yapılacaktır; aksi takdirde hiçbir işlem yapılmayacaktır. Yine PAR parametresinin de 0 ile 1 arasında bir değer olması bu işlemin % PAR oranında uygulanma % 1-PAR oranında uygulanmama olasılığını ifade etmektedir (Geem; Lee; Tseng, 2005, s.650).

Ton ayarlama işlemi verilerin sürekli ya da kesikli oluşuna göre değişiklik göstermektedir. Sürekli verilerde oluşturulan tesadüfi sayı PAR parametresinden küçük olursa belirlenen karar değişkeni değerine (\pm tesadüfi sayı \times bw) eklenecektir. Buradaki bw (bw: Bandwidth) bant genişliğini temsil etmektedir. Kesikli değişkenlerde ise belirlenen komşuluk ilişkisi kapsamında komşu indeks seçilecektir. Eğer ton ayarlama işlemi yapılması gerekiyorsa şu prosedür uygulanır: $\{x_i\}$ 'nin k 'nci elemanı için $x_i(k+m)$ tesadüfi olarak belirlenen komşu indeks uygulanarak yeni değer belirlenir. Problemin yapısına göre m 'in alabileceği değerler genişletilip daraltılabilir. Genellikle m değeri -1 ve 1 olarak belirlenmektedir. Seçilecek yeni değer hangi olasılıklarla bütün alternatifler arasından, HMS'den ya da ton ayarlama yapılarak seçileceği şöyle gösterilebilir (Geem, 2008, s.224):

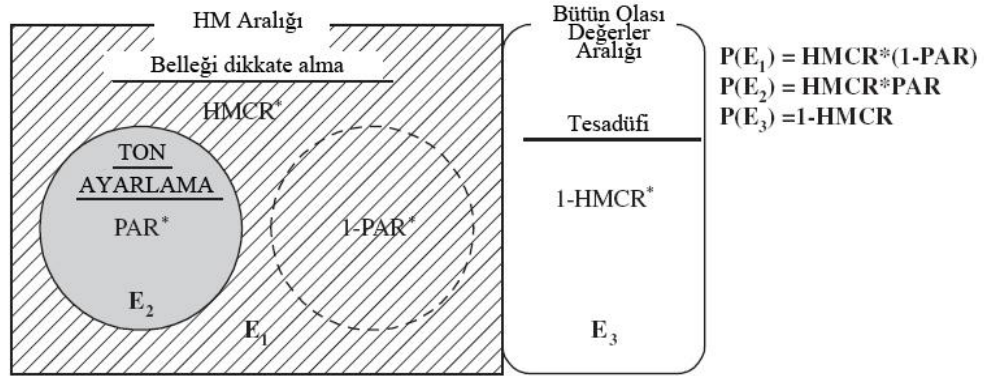
Sürekli değişkenler için (Ayvaz; Karahan ve Gürarlan, 2007, s.5);

$$x'_i = \begin{cases} x'_i \pm U(0,1) \times bw & U(0,1) \leq PAR \text{ ise} \\ x'_i & U(0,1) > PAR \text{ ise} \end{cases}$$

Kesikli değişkenler için (Geem; Seok; Park, 2005, s.1554);

$$x'_i = \begin{cases} x'_i(k+m) & U(0,1) \leq PAR \text{ ise} \\ x'_i & U(0,1) > PAR \text{ ise} \end{cases}$$

$$x_i^{Yeni} \leftarrow \begin{cases} x_i(k) \in \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(K_i)\} & \text{tesadüfi} \\ x_i(k) \in \{x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^{HMS}\} & \text{hafızadan} \\ x_i(k \pm m) & \text{ton ayarlama} \end{cases}$$



Şekil 4. Yeni Armoni Geliştirme Kapsamı

Kaynak: (Lee ve Geem, 2005, s.3910)

Yeni çözüm oluşturulurken 1. karar değişkeni için oluşturulan tesadüfi sayı HMCR oranından düşük olursa yeni değer armoni belleğinden seçilecektir. Armoni belleğinden seçim yapıldığı için ton ayarlama işlemine ihtiyaç olup olmadığı kontrol edilmelidir. Ton ayarlama işlemi için oluşturulan tesadüfi sayı PAR oranından küçük olursa ton ayarlama işlemi yapılmalıdır. Bu durumda olası m değerlerinden biri tesadüfi olarak belirlenip -1 değeri elde edildiği düşünülürse armoni belleğinden elde edilen değerden bir önceki değer seçilmelidir.

3. aşamada yürütülen armoni belleğini dikkate alma ve ton ayarlama işlemleri algoritmanın işleyişinde lokal optimuma yakalanma riskini azaltıp global optimuma ilerleme oranını arttırmak için yapılmaktadır.

3. adımı programlama mantığıyla aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Omran ve Mahdavi, 2008, s.640):

For each $i \in [1, N]$ **do**

if $U(0,1) \leq \text{HMCR}$ **then** / armoni belleği dikkate alınır /

begin

$x'_i = x_i^j$, where $j \sim U(1, \dots, \text{HMS})$.

if $U(0,1) \leq \text{PAR}$ **then** / ton ayarlama işlemi yapılır /

begin

$x'_i = x'_i \pm U(0,1) \times bw$, *sürekli değişkenler için*

$x'_i = x'_i(k + m)$ *kesikli değişkenler için*

endif

else / tesadüfi seçim /

$x'_i = x_i$

endif

done

1.6.4. Armoni Belleğinin Güncellenmesi

Bu adımda $x' = (x'_1, x'_2, x'_3, \dots, x'_N)$ gibi oluşturulan yeni armoni amaç fonksiyonuna göre değerlendirilir. Bulunan sonuç, armoni belleğindeki en kötü armoniden daha iyi ise armoni belleğindeki en kötü armoni bellekten çıkarılıp yerine yeni armoni eklenir ve bellekteki armoniler değerlerine göre en iyi sonuca sahip olandan en kötü sonuca sahip olana doğru yeniden sıralamaya tabi tutulur (Geem; Lee; Tseng, 2005).

AAA'da her iterasyonda oluşturulan yeni çözüm vektörünün belleğe alınıp alınmama kararı genellikle en kötü vektörden iyi olup olmamasına göre verilse de bu kararın verilmesinde kullanılan farklı stratejileri şöyle sıralayabiliriz (Osama ve Mandava, 2011, s.62):

- i. Eğer en kötü vektörden daha iyi ise güncelle.
- ii. Belli bir sayıdan daha az miktarda benzer armoni bellekte var ise güncelle.
- iii. Benzer armonilerin ortalama değerinden daha iyi ise güncelle.

1.6.5. Durma Koşullarının Kontrolü

Durma koşulları sağlanıyorsa durulur, aksi halde durma koşulları sağlanana kadar 3., 4. ve 5. adımlar tekrar edilir.

AAA'da durma koşulu olarak genellikle maksimum iterasyon sayısı belirlenmekle birlikte, bunun yanında kabul edilebilir bir amaç fonksiyonu değerine ulaşma, belirli bir çalışma süresinin tamamlanması ya da belirli bir iterasyon boyunca en iyi alternatif çözümün değişmemesi de yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemlerdir.

1.7. Armoni Arama Algoritması'ndaki En Önemli Gelişimler

AAA Geem, Kim ve Loganathan tarafından yayınlandığı 2001 yılından itibaren çok sayıda çalışmaya konu olmuştur. Bu yapılan çalışmaların birçoğunda orijinal AAA'nın performansını arttırmaya yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu gelişim sürecinde ortaya atılan yöntemlerden en fazla ilgi gören ikisi Geliştirilmiş Armoni Arama Algoritması (IHS: Improved Harmony Search) ve Global En İyi Armoni Arama Algoritması'dır (GHS: Global-Best Harmony Search).

AAA çok yeni olmasına karşın daha iyi sonuçlar almak amacıyla yeni düzenlemeler ve varyasyonlar uygulanmaya çalışılmaktadır. Bu bağlamda 2007 yılında Mahdavi, Fesanghary ve Damangir AAA'nın bir varyasyonu olan IHS'yi geliştirmiştir. IHS'de PAR AAA'nın aksine sabit değil; jenerasyonlar ilerledikçe dinamik bir şekilde oluşturulmaktadır. Sadece bir PAR oranı yerine minimum ve maksimum PAR oranları belirlenmekte ve her yeni jenerasyona göre PAR oranı hesaplanmaktadır. Aynı şekilde sürekli veriler için kullanılan bw parametresi de dinamik olarak değişiklik göstermektedir (Mahdavi, Fesanghary ve Damangir, 2008, s.645).

$$PAR_{(t)} = PAR_{(min)} + \frac{(PAR_{(max)} - PAR_{(min)})}{NI} \times t$$

t = mevcut iterasyon sayısı

NI = Toplam iterasyon sayısı

AAA'nın bir diğer varyasyonunu 2008 yılında Mahamed G.H. Omran ve Mehrdad Mahdavi tarafından geliştirilmiştir. GHS olarak bilinen bu algorithmada AAA'dan farklı olarak yine IHS'de olduğu gibi PAR oranı dinamik bir şekilde belirlenmekte; fakat ton ayarlama işlemi hem AAA'dan hem de IHS'den farklı bir şekilde yürütülmektedir. GHS'de tesadüfi olarak belirlenen sayı PAR oranından küçük olursa hafızadaki en iyi çözüm vektörünün ilgili karar değişkeniyle ilgili indeksi seçilmektedir. AAA ve IHS'de ise tesadüfi olarak belirlenen indeksin komşularına bakılır (Omran ve Mahdavi, 2008).

Mahamed G.H. Omran ve Mehrdad Mahdavi 2008'de AAA, IHS ve GHS algoritmalarının performanslarını karşılaştırmıştır. Kullanılan çeşitli test problemlerinde genellikle en iyi çözümü GHS, ardından IHS ve son olarak AAA vermiştir. Yapılan bu araştırma AAA'nın lokal optimuma yakalanmamak için kullandığı ton ayarlama parametresi üzerinde yapılan değişikliklerin optimum çözüme ulaşmada etkinliği arttırdığını göstermektedir (Omran ve Mahdavi, 2008).

1.8. Geliştirilmiş Armoni Arama Algoritması Türevleri

AAA'nın gelişim süreci incelendiğinde, geliştirilmiş yeni türevlerin bir kısmının parametreler üzerinde yapılan çalışmalar sonucu, bir kısmının ise farklı tekniklerin algoritma içerisine eklenmesiyle hibrit teknikler elde ederek sağlandığı görülmektedir. Bununla birlikte AAA da daha güçlü teknikler elde etmek amacıyla başka tekniklerin yapısına entegre edilmiştir. Bahsedilen bu farklılaştırılmış teknikler aşağıdaki gibi özetlenebilir (Osama ve Mandava, 2011).

1.8.1. Parametre Değişikliği ile Geliştirilmiş Armoni Arama Algoritması

Türevleri

Aşağıda listelenen AAA türevleri algoritmanın yapısında kullanılan parametreler üzerinde yapılan geliştirme çalışmaları ile elde edilmiştir (Osama ve Mandava, 2011).

- i. IHS olarak bilinen algortmada dinamik bir biçimde PAR ve bw parametreleri iterasyon sayısına göre değişir.
- ii. GHS olarak adlandırılan algortmada bw parametresini kullanmak yerine, hafızadaki en iyi çözüme sahip armoninin ilgili karar değişkeni değeri seçilir. Bu teknik PSO'dan esinlenilerek geliştirilmiştir.
- iii. Diferansiyel Gelişim Algoritması (DE: Differential Evolution) ve AAA'nın birleştirilmesiyle geliştirilmiş farklı bir algortmada (DHS) PAR parametresi yerine mutasyon operatörü kullanılır.
- iv. İsimlendirilmemiş bir AAA türevinde bw ve PAR parametreleri dinamik olarak belirlenir. bw'nin maksimum ve minimum değerleri bellekten alınır, PAR ise doğrusal olarak azalır.
- v. İsimlendirilmemiş bir AAA türevinde bw parametresi mevcut popülasyondaki değerlerin standart sapması ve HMCR çok büyük belirlenmektedir.
- vi. İsimlendirilmemiş bir AAA türevinde PAR ve HMCR parametreleri dinamik olarak ayarlanır.
- vii. İsimlendirilmemiş bir AAA türevinde başlangıçta iki adet bellek türetilir, daha iyi olan bellek ile devam edilir.
- viii. İsimlendirilmemiş bir AAA türevinde durma koşulu mevcut bellekteki değerler arasından "en iyiden en kötüye" tekniği ile belirlenir.
- ix. İsimlendirilmemiş bir AAA türevinde çoklu PAR uygulanır.
- x. İsimlendirilmemiş bir AAA türevinde bw parametresi %1 ile %10 arasında belirlenir.

1.8.2. Hibrit Armoni Arama Algoritması Türevleri

Aşağıda listelenen AAA türevleri farklı algoritma ve yöntemlerin AAA yapısına eklenmesiyle elde edilmiştir (Osama ve Mandava, 2011).

- i. AAA, BT ile birleştirilmiştir. PAR parametresi BT'deki soğutma tekniği ile modifiye edilir.
- ii. AAA, PSO ile birleştirilmiştir. bw parametresi kullanılmaz, hafızadaki en iyi değer kabul edilir. Bu hibrit algoritma yukarıda açıklanan GHS algoritması olarak da bilinir.
- iii. AAA, PSO ile birleştirilmiştir. PSO algoritması HMCR'ye entegre edilerek seçim sürecine dahil olur.
- iv. AAA, Dinamik Parçacık Sürü Optimizasyon tekniği (DPSO: Dynamic Particle Swarm Optimization) ile birleştirilmiştir. PAR dinamik olarak değişir.
- v. AAA, GA ile birleştirilmiştir. HMCR'nin seçim işlevi esnasında GA'nin rulet tekerleği devreye girer.
- vi. AAA, klonal seleksiyon algoritması (CSA: Clonal Selection Algorithm) ile birleştirilmiştir. CSA ile ince ayarlama işlevi yapılarak yakınsama hızı artırılır.
- vii. AAA ile GA, BT ve Yapay Bağışıklık Sistemleri (AIS: Artificial Immune Systems) tekniği birleştirilmiştir. Bu yöntemde bellek büyür, yakınsama hızı artar ve lokal optimuma yakalanma riski azalır.
- viii. AAA ile PSO ve GA birleştirilmiştir. Pozisyon güncelleme ve genetik mutasyon entegre edilir.
- ix. AAA ile sıralı kuadratik programlama (SQP: Sequential Quadratic Programming) birleştirilmiştir. SQP çeşitlendirme özelliğini artırır.
- x. AAA ile bulanık C-means birleştirilmiştir. Yakınsama hızı artar ve ince arama özelliği geliştirilir.
- xi. AAA ile K-means birleştirilmiştir. K-means ile lokal arama yapılır.
- xii. IHS ile bulanık C-means birleştirilmiştir. Yakınsama hızını arttırıp ince arama özelliği geliştirilir.
- xiii. AAA ile çözücü birleştirilmiştir. Çözücü (Solver) çeşitlendirme özelliğini artırır.
- xiv. AAA ile simpleks yöntemi birleştirilmiştir. Yoğunlaşma özelliği artırılır.
- xv. AAA ile Taguchi yöntemi birleştirilmiştir. Başlangıç belleğinin oluşturulması sürecinin etkinliği artırır.
- xvi. AAA ile DE yöntemi birleştirilmiştir. Çok modellenen problemlerdeki kabiliyeti ince arama özelliği geliştirilerek artırılır.

1.8.3. Armoni Arama Algoritması'nın Başka Algoritmaların Performansını Arttırmak İçin Kullanıldığı Hibrit Yöntemler

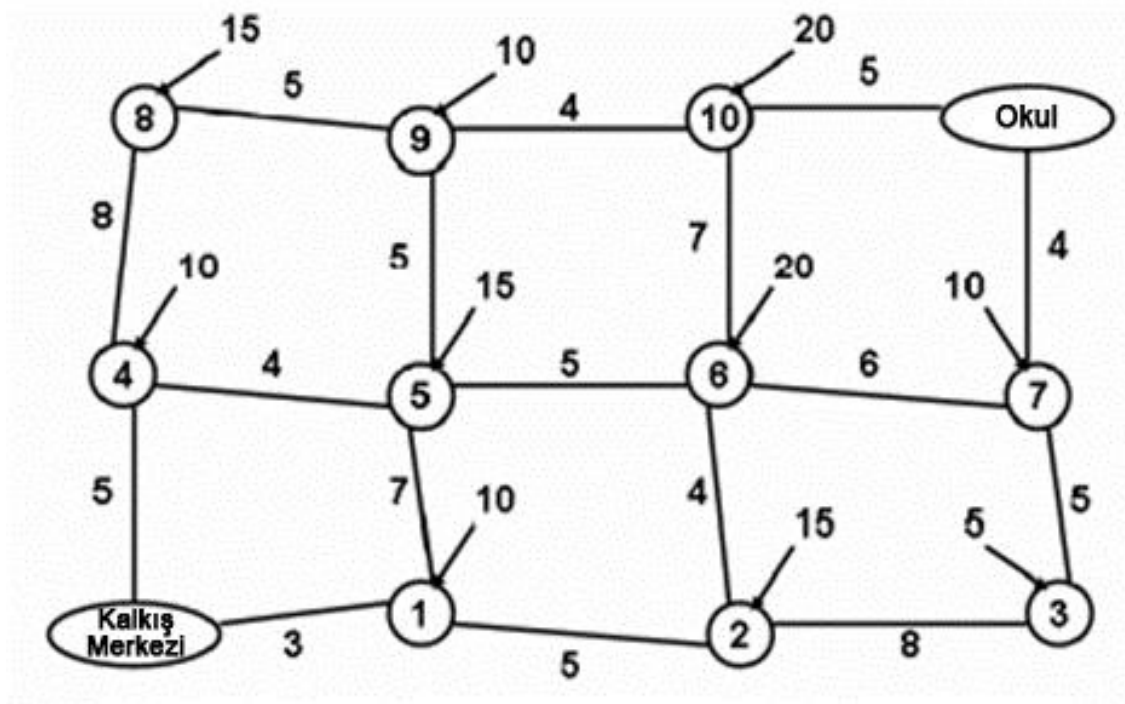
Literatürde yapılan incelemeden anlaşıldığı üzere sadece AAA'nın performansını arttırmaya yönelik parametre ayarlama ile ya da diğer teknikleri AAA'ya entegre ederek hibritleştirme çalışmaları yapılmakla kalmamıştır. Bununla birlikte başka yöntemlerin performanslarını arttırmak için AAA da başka tekniklere entegre edilerek farklı hibritleştirme çalışmalarında da bulunulmuştur. Bu amaçla PSO, GA, Simlex, TA gibi tekniklerin iyileştirilmesi için AAA ile hibritleştirildiği çalışmalar mevcuttur (Osama ve Mandava, 2011).

1.9. Armoni Arama Algoritması'nın Örnek Problem Üzerinde Uygulanması: Okul Servisi Rotalama Problemi

Bu bölümde AAA bir örnek problem üzerinde uygulanarak, algoritmanın bütün adımları muhtemel bütün varsayımlara göre anlatılmaya çalışılacaktır.

Okul servisi rotalama probleminde her otobüs için kapasite ve zaman kısıtları dikkate alınarak, en az otobüsle en kısa zamanda taşıma işleminin gerçekleştirilmesi amaçlanır.

Problemden bir otobüs kalkış merkezi, bir okul ve 10 otobüs durağı vardır. Her durakta bekleyen öğrenci sayıları ve duraklar arası mesafeler Şekil 5'teki gibidir.



Şekil 5. Okul Servisi Rotalama Problemi

Kaynak: (Geem, 2005, s.3)

Probleme ilgili diğer parametreler şöyle belirlenmiştir (Geem, 2005, s.4):

DN = Otobüs durakları

ST = Otobüs kalkış merkezi

ED = Varış merkezi (okul)

$STDN$ = Kalkış noktası + Otobüs durakları

$DNED$ = Otobüs durakları + Varış noktası

VS = Araç filosu

x_i = i durağında çalışacak k otobüsü ile ilgili karar değişkeni

$i \in DN, \quad k \in VS$

$nbus(x)$ = çalışan otobüs sayısı

$$lk_{ij}^k = \begin{cases} 1 & k \text{ otobüsü } i \text{ noktasından } j \text{ noktasına çalışırsa } 1, \text{ aksi takdirde } 0 \end{cases}$$

$$i \in STDN, \quad j \in DNED, \quad k \in VS$$

$$vcp^k = \begin{cases} 1 & k \text{ otobüsü kapasitesini aşarsa } 1, \text{ aksi takdirde } 0 \quad k \in VS \\ 0 & \end{cases}$$

$$vtm^k = \begin{cases} 1 & k \text{ otobüsü zaman sınırını aşarsa } 1, \text{ aksi takdirde } 0 \quad k \in VS \\ 0 & \end{cases}$$

fc = otobüs başına sabit maliyet

rc = birim başına hareket maliyeti

sp_{ij} = i ve j noktaları arasındaki en kısa yol

$pc1$ = kapasite sınırının aşılması halinde ceza puanı

$pc2$ = zaman sınırının aşılması halinde ceza puanı

$nset(VS)$ = Filodaki araç sayısı.

DM_i^k = i durağından k otobüsüne binen öğrenci sayısı.

$$i \in DN, \quad k \in VS$$

BC^k = k otobüsünün kapasitesi. $k \in VS$

bt = bir öğrencinin otobüse biniş süresi.

TW^k = k otobüsünün zaman sınırı. $k \in VS$

Problemin matematiksel tanımı aşağıda verilmiştir (Geem, 2005):

Okul servisi rotalamak bir minimizasyon problemidir.

$$f(x) = fc \times nbus(x) + rc \times \sum_k \sum_{i \in STDN} \sum_{j \in DNED} sp_{ij} lk_{ij}^k + pc1 \times \sum_k vcp^k + pc2 \times \sum_k vtm^k$$

Toplam Maliyet = Sabit maliyet + Birim değişken maliyet + Kapasite cezası + Zaman cezası

Çalışan otobüs, filodaki otobüs sayısına eşit ya da küçük olmalıdır:

$$nbus(x) \leq nset(VS)$$

Otobüse binen öğrencilerin sayısının toplamı kapasiteye eşit ya da düşük olmalıdır:

$$\sum_i DM_i^k \leq BC^k, \quad k \in VS$$

Otobüsün okula gidene kadar harcadığı süre zaman sınırından az ya da zaman sınırına eşit olmalıdır. Otobüsün harcadığı süre, öğrenci aldığı duraklar arasındaki süre ile aldığı toplam öğrencinin otobüse biniş sürelerinin toplamıdır.

$$\sum_{i \in STDN} \sum_{j \in DNED} sp_{ij} lk_{ij}^k + \sum_i DM_i^k bt \leq TW^k, \quad k \in VS$$

Örnek problemin parametreleri şöyledir (Geem, 2005):

$fc = 100.000\$/\text{otobüs}$ (otobüs başına sabit maliyet)

$rc = 105\$/\text{dakika}$ (dakika başına hareket maliyeti)

$sp_{ij} = i$ ve j noktaları arasındaki en kısa mesafeler Floyd ve Warshall'ın algoritmasına göre hesaplanmıştır.

$pc1 = 100.000\%$ (kapasite sınırı aşılsa verilecek ceza puanı)

$pc2 = 100.000\%$ (zaman sınırı aşılsa verilecek ceza puanı)

$DN = 10$ (durak sayısı)

$VS = 4$ (filodaki otobüs sayısı)

$bt = 6$ saniye/öğrenci (bir öğrencinin otobüse biniş süresi)

Zaman sınırı = 32 dakika

Kapasite = 45 öğrenci

Bu probleme ilişkin Armoni Arama Algoritması'nın işleyişi aşağıda açıklanmıştır.

1.9.1. Adım-1: Problemin Kurulması ve Çözüm Parametrelerinin Belirlenmesi

Amaç fonksiyonu ve problemin parametreleri yukarıda gösterildiği gibi belirlenmiştir. AAA'nın parametreleri ise şu şekildedir (Geem, 2005):

$$\begin{aligned} \text{HMS:} & \quad 4 \\ \text{HMCR:} & \quad 0,95 \\ \text{PAR:} & \quad 0,45 \\ \text{m} = & \quad \{-1,1\} \end{aligned}$$

1.9.2. Adım-2: Armoni Belleğinin Doldurulması

Bu adımda armoni belleğinin değerleri tesadüfi olarak belirlenip amaç fonksiyonunun aldığı değere göre sıralanır. Karar değişkenlerinin değerleri tamamen tesadüfi olarak olası değerler arasından seçilir.

Tablo 1. Tesadüfi Doldurulmuş Armoni Belleği

x	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	$x_{10-(N)}$	$f(x)$
1	2	3	2	4	1	2	3	4	1	3	
2	4	2	1	1	2	3	3	4	1	3	
3	1	1	3	3	4	4	2	2	2	4	
4(HMS)	1	4	3	4	3	3	4	2	2	1	

x^1 çözümüne göre;

1. otobüs 5. ve 9. duraktaki öğrencileri alıp okula gidecek
2. otobüs 1. , 3. ve 6. duraktaki öğrencileri alıp okula gidecek
3. otobüs 2. , 7. ve 10. duraktaki öğrencileri alıp okula gidecek
4. otobüs 4. ve 8. duraktaki öğrencileri alıp okula gidecek.

Toplam 4 otobüs kullanıldığı için 4 sabit maliyet hesaplanacaktır. Değişken maliyet ise 4 otobüsün toplam olarak yolda geçirdikleri süre ile birim hareket maliyetinin çarpımı ile bulunacaktır. Zaman ya da kapasite sınırını aşan otobüs sayısı kadar da ceza puanı işlenecektir.

Kapasite kısıtının ihlal edilip edilmediği kontrol edilir.

1. otobüsün güzergâhı: Depo → 5. Durak → 9. Durak → Okul şeklinde olacaktır. Toplam öğrenci sayısı ise $15+10=25$ olacaktır. Bu otobüs kapasitesini aşmadığı için ceza puanı uygulanmaz.

2. otobüsün güzergâhı: Depo → 1. Durak → 3. Durak → 6. Durak → Okul şeklinde olacaktır. Toplam öğrenci sayısı ise $10+5+20=35$ olacaktır. Bu otobüs kapasitesini aşmadığı için ceza puanı uygulanmaz.

3. otobüsün güzergâhı: Depo → 2. Durak → 7. Durak → 10. Durak → Okul şeklinde olacaktır. Toplam öğrenci sayısı ise $15+10+20=45$ olacaktır. Bu otobüs kapasitesini aşmadığı için ceza puanı uygulanmaz.

4. otobüsün güzergâhı: Depo → 4. Durak → 8. Durak → Okul şeklinde olacaktır. Toplam öğrenci sayısı ise $10+15=25$ olacaktır. Bu otobüs kapasitesini aşmadığı için ceza puanı uygulanmaz.

Taşınan toplam öğrenci sayısı ise $25+35+45+25=130$ olacaktır.

Zaman kısıtının ihlal edilip edilmediği kontrol edilir.

1. otobüsün harcadığı süre: Depo → 5. Durak → 9. Durak → Okul şeklinde olacaktır. Toplam süre ise $9dk+5dk+9dk=23dk$ olacaktır. 1. otobüs toplam 25 öğrenci taşımaktaydı. Öğrenci biniş süresi ise $25\times 6=150$ saniye (2,5dk) olacaktır. Otobüsün toplam çalışma süresi ise $23+2,5=25,5$ dk. olacaktır. Bu otobüs zaman sınırını aşmadığı için ceza puanı verilmeyecektir.

2. otobüsün harcadığı süre: Depo → 1. Durak → 3. Durak → 6. Durak → Okul şeklinde olacaktır. Toplam süre ise $3dk+13dk+11dk+10dk=37dk$ olacaktır. 2. otobüs toplam 35 öğrenci taşımaktaydı. Öğrenci biniş süresi ise $35\times 6=210$ saniye (3,5dk) olacaktır. Otobüsün toplam çalışma süresi ise $37+3,5=40,5$ dk. olacaktır. Bu otobüs zaman sınırını aştığı için 100.000\$ ceza puanı verilecektir.

3. otobüsün harcadığı süre: Depo → 2. Durak → 7. Durak → 10. Durak → Okul şeklinde olacaktır. Toplam süre ise $8dk+10dk+9dk+5dk=32dk$ olacaktır. 3. otobüs toplam 45 öğrenci taşımaktaydı. Öğrenci biniş süresi ise $45 \times 6=270$ saniye (4,5dk) olacaktır. Otobüsün toplam çalışma süresi ise $32+4,5=36,5$ dk. olacaktır. Bu otobüs zaman sınırını aştığı için 100.000\$ ceza puanı verilecektir.

4. otobüsün harcadığı süre: Depo → 4. Durak → 8. Durak → Okul şeklinde olacaktır. Toplam süre ise $5dk+8dk+14dk=27dk$ olacaktır. 4. otobüs toplam 25 öğrenci taşımaktaydı. Öğrenci biniş süresi ise $25 \times 6=150$ saniye (2,5dk) olacaktır. Otobüsün toplam çalışma süresi ise $27+2,5=29,5$ dk. olacaktır. Bu otobüs zaman sınırını aşmadığı için ceza puanı verilmeyecektir.

Harcanan toplam hareket süresi $23+37+32+27= 119$ dk. olacaktır. Amaç fonksiyonunda birim hareket maliyeti ile hareket süresi çarpılacaktır.

$f(x^1)$ değeri şöyle hesaplanır: $f(x^1)=100.000 \times 4+105 \times 119+100.000 \times 2= 612.945\$$

Aynı şekilde $f(x^2)$, $f(x^3)$ ve $f(x^4)$ hesaplanacak ve değerleri armoni belleğine eklenecektir.

Tablo 2. Amaç Fonksiyonu Değerleri Hesaplanmış Armoni Belleği

x	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	$x_{10-(N)}$	$f(x)$
1	2	3	2	4	1	2	3	4	1	3	612.945\$
2	4	2	1	1	2	3	3	4	1	3	915.750\$
3	1	1	3	3	4	4	2	2	2	4	716.275\$
4(HMS)	1	4	3	4	3	3	4	2	2	1	614.490\$

Hesaplama işlemi yapıldıktan sonra amaç fonksiyonunun değerine göre sıralama yapılır.

Tablo 3. Amaç Fonksiyonu Değerlerine Göre Sıralanmış Armoni Belleği

x	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	$x_{10-(N)}$	$f(x)$
1	2	3	2	4	1	2	3	4	1	3	612.945\$
2	1	4	3	4	3	3	4	2	2	1	614.490\$
3	1	1	3	3	4	4	2	2	2	4	716.275\$
4(HMS)	4	2	1	1	2	3	3	4	1	3	915.750\$

1.9.3. Adım-3: Yeni Armoni Oluşturma (Yeniden Üretim)

Bu aşamada yeni bir çözüm vektörü $x' = (x'_1, x'_2, x'_3, \dots, x'_N)$ oluşturulur ve amaç fonksiyonu değeri hafızadaki en kötü armoniden daha küçük ise yer değiştirilir.

x'_1 değerinin belirlenmesi;

0-1 arası tesadüfi olarak belirlenen sayının 0,72 olması durumunda; $0,72 < \text{HMCR}$ yani $0,72 < 0,95$ olduğu için yeni karar değişkeni değeri bellekteki değerler arasından seçilecektir. Bu durumda x'_1 'in alabileceği muhtemel değerler (2,1,1,4) olacaktır. Olasılık hesabı yapacak olursak %50 olasılıkla 1, %25 olasılıkla 2 ve %25 olasılıkla 4 değeri alınabilecektir. Bunlar arasından seçilen tesadüfi değer $k=3$ olduğunu varsayalım.

Ardından ton ayarlama işlemine ihtiyaç duyulup duyulmadığı kontrol edilmelidir. Tesadüfi olarak belirlenecek yeni sayı PAR oranından küçük ya da eşit olursa ton ayarlama işlemi yapılacaktır. 0-1 arasında tesadüfi olarak belirlenen değerin 0,48 olduğu varsayıldığında; $0,48 > \text{PAR}$, yani $0,48 > 0,45$ olduğu için ton ayarlama işlemi yapılmadan belirlenen $k=3$ değeri yeni vektörün 1. karar değişkenine atanacaktır. Bellekte 3. konumda 1 değeri olduğu için atanacak değer 1 olacak; yani birinci duraktaki öğrencileri birinci otobüs alacaktır. Aynı prosedür x'_1 'de olduğu gibi diğer karar değişkenleri için yürütülecektir. $x'_1 = 1$

x'_2 değerinin belirlenmesi;

0-1 arasında üretilen tesadüfi sayı 0,99 olursa HMCR ve PAR işlemleri yapılmadan olası değerler arasından tesadüfi bir değer atanır. x'_2 'nin bu durumda alabileceği değerler (1,2,3,4) olacaktır. Herbirinin gelme olasılığı %25 olacaktır. Buradan 3 değerinin geldiğini varsayalım. $x'_2 = 3$

x'_3 değerinin belirlenmesi;

0-1 arasında üretilen sayı 0,51 olursa HMS arasından seçim yapılmalıdır. Olası değerler (2,3,3,1) olacaktır. Gelen değer $k=1$ olduğunu varsayalım. HMS'den seçim yapıldığı için ton ayarlamaya gerek olup olmadığı kontrol edilmelidir. 0-1 arası

belirlenen sayının 0,21 olduğunu düşünülürse; $0,21 < 0,45$ olduğu için ton ayarlama işlemi yapılmalıdır. Değerler kesikli olduğu için kullanılacak formül $x_i(k+m)$ olacaktır. k değeri HMS'den seçilen 1. konumdaki değer; yani 2'dir. m ise 1. adımda belirlenen $\{-1,1\}$ olası değerlerinden birini alacaktır. m değerinin -1 olması durumunda x'_3 'ün değeri (2-1) yani 1 değeri olacaktır. $x'_3=1$

x'_4 değerinin belirlenmesi;

Tesadüfi sayı 0,50 → seçim HMS'den

2 değeri seçilir.

PAR için tesadüfi değer 0,82 → ton ayarlamaya gerek yok

$$x'_4 = 4$$

x'_5 değerinin belirlenmesi;

Tesadüfi sayı 0,02 → seçim HMS'den

3 değeri seçilir.

PAR için tesadüfi değer 0,21 → ton ayarlanmalı

Belirlenen m değeri 1

$x_i(k+m)$ formülüne göre yeni değer (3+1=4) olacaktır.

$$x'_5 = 4$$

x'_6 değerinin belirlenmesi;

Tesadüfi sayı 0,99 → seçim bütün olası değerlerden

3 değeri seçilir.

$$x'_6 = 3$$

x'_7 değerinin belirlenmesi;

Tesadüfi sayı 0,96 → seçim bütün olası değerlerden

1 değeri seçilir.

$$x'_7 = 1$$

 x'_8 değerinin belirlenmesi;

Tesadüfi sayı 0,38 → seçim HMS'den

4 değeri seçilir.

PAR için tesadüfi değer 0,77 → ton ayarlamaya gerek yok

$$x'_8 = 4$$

 x'_9 değerinin belirlenmesi;

Tesadüfi sayı 0,96 → seçim bütün olası değerlerden

3 değeri seçilir.

$$x'_9 = 3$$

 x'_{10} değerinin belirlenmesi;

Tesadüfi sayı 0,90 → seçim HMS'den

1 değeri seçilir.

PAR için tesadüfi değer 0,66 → ton ayarlamaya gerek yok

$$x'_{10} = 1$$

Bütün karar değişkenleri için değerler belirlendikten sonra yeni çözüm alternatifi şu şekilde elde edilmiştir: $x' = (1,3,1,4,4,3,1,4,3,1)$ Bu çözüme göre 2. otobüs kullanılmamıştır. Bu nedenle, amaç fonksiyonu hesaplanırken sadece 3 otobüs için sabit maliyet dikkate alınır.

Bulunan yeni çözüm vektörüne göre otobüslerin rotası şöyle belirlenmiştir:

1. otobüs 1. , 3. , 7. ve 10. duraklara uğrayacaktır.

2. otobüs çalışmayacaktır.

3. otobüs 2. , 6. ve 9. duraklara uğrayacaktır.

4. otobüs 4. , 5. ve 8. duraklara uğrayacaktır.

Kapasite kısıtının ihlal edilip edilmediği kontrol edilir.

1. otobüsün güzergâhı: Depo → 1. Durak → 3. Durak → 7. Durak → 10. Durak → Okul şeklinde olacaktır. Toplam öğrenci sayısı ise $10+5+10+20=45$ olacaktır. Bu otobüs kapasitesini aşmadığı için ceza puanı uygulanmaz.

3. otobüsün güzergâhı: Depo → 2. Durak → 6. Durak → 9. Durak → Okul şeklinde olacaktır. Toplam öğrenci sayısı ise $15+20+10=45$ olacaktır. Bu otobüs kapasitesini aşmadığı için ceza puanı uygulanmaz.

4. otobüsün güzergâhı: Depo → 4. Durak → 5. Durak → 8. Durak → Okul şeklinde olacaktır. Toplam öğrenci sayısı ise $10+15+15=40$ olacaktır. Bu otobüs kapasitesini aşmadığı için ceza puanı uygulanmaz.

Taşınan toplam öğrenci sayısı ise $45+45+40=130$ olacaktır.

Zaman kısıtının ihlal edilip edilmediği kontrol edilir.

1. otobüsün harcadığı süre: Depo → 1. Durak → 3. Durak → 7. Durak → 10. Durak → Okul şeklinde olacaktır. Toplam süre ise $3dk+13dk+5dk+9dk+5dk=35$ olacaktır. 1. otobüs toplam 45 öğrenci taşımaktaydı. Öğrenci biniş süresi ise $45 \times 6=270$ saniye (4,5dk) olacaktır. Otobüsün toplam çalışma süresi ise $35+4,5=39,5$ dk. olacaktır. Bu otobüs zaman sınırını aştığı için 100.000\$ ceza puanı verilecektir.

3. otobüsün harcadığı süre: Depo → 2. Durak → 6. Durak → 9. Durak → Okul şeklinde olacaktır. Toplam süre ise $8dk+4dk+10dk+9dk=31dk$ olacaktır. 3. otobüs toplam 45 öğrenci taşımaktaydı. Öğrenci biniş süresi ise $45 \times 6=270$ saniye (4,5dk) olacaktır. Otobüsün toplam çalışma süresi ise $31+4,5=35,5$ dk. olacaktır. Bu otobüs zaman sınırını aştığı için 100.000\$ ceza puanı verilecektir.

4. otobüsün harcadığı süre: Depo → 4. Durak → 5. Durak → 8. Durak → Okul şeklinde olacaktır. Toplam süre ise $5dk+4dk+10dk+14dk= 33dk$ olacaktır. 4. otobüs toplam 40 öğrenci taşımaktaydı. Öğrenci biniş süresi ise $40 \times 6=240$ saniye (4dk) olacaktır. Otobüsün toplam çalışma süresi ise $33+4=37$ dk. olacaktır. Bu otobüs zaman sınırını aştığı için 100.000\$ ceza puanı verilecektir.

Harcanan toplam hareket süresi $35+31+33= 99$ dk. olacaktır. Amaç fonksiyonunda birim hareket maliyeti ile hareket süresi çarpılacaktır.

$$f(x) = fc \times nbus(x) + rc \times \sum_k \sum_{i \in STDN} \sum_{j \in DNED} sp_{ij} l k_{ij}^k + pc1 \times \sum_k vcp^k + pc2 \times \sum_k vtm^k$$

Bu durumda yeni çözüm vektörünün amaç fonksiyonu değeri aşağıdaki şekilde elde edilecektir:

$$f(x') = 100.000 \times 3 + 105 \times 99 + 100.000 \times 3 = 610.395\$$$

1.9.4. Adım-4: Armoni Belleğinin Güncellenmesi

Yeni hesaplanan çözüm vektörü, hafızadaki en kötü değere sahip çözümden daha iyi bir çözüm önerdiği için 915.750\$ maliyetli en kötü çözüm hafızadan çıkarılıp yerine 610.395\$ maliyetli yeni çözüm konulacak ve bellekteki çözüm vektörleri amaç fonksiyonu değerlerine göre tekrardan sıralamaya tabi tutulacaktır.

Çözümünden önceki armoni belleği Tablo 4'te verilmiştir:

Tablo 4. Yeni Armoni Geliştirme Öncesi Armoni Belleği

x	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10-} (N)	$f(x)$
1	2	3	2	4	1	2	3	4	1	3	612.945\$
2	1	4	3	4	3	3	4	2	2	1	614.490\$
3	1	1	3	3	4	4	2	2	2	4	716.275\$
4(HMS)	4	2	1	1	2	3	3	4	1	3	915.750\$

Çözümünden sonraki armoni belleği Tablo 5’te verilmiştir:

Tablo 5. Yeni Armoni Geliştirme Sonrası Armoni Belleği

x	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10} - (N)	$f(x)$
1	1	3	1	4	4	3	1	4	3	1	610.395\$
2	2	3	2	4	1	2	3	4	1	3	612.945\$
3	1	4	3	4	3	3	4	2	2	1	614.490\$
4(HMS)	1	1	3	3	4	4	2	2	2	4	716.275\$

Çözümünden önceki ve çözümünden sonraki bellekler incelendiği takdirde eski bellekten 915.750\$ değerine sahip olan en kötü vektörün çıkartılıp yerine yeni belirlenen 610.395\$ değerindeki vektörün konulduğunu ve yeni belirlenen vektörün bellekteki tüm verilerden daha iyi bir çözümü olduğu için ilk sırada yer aldığı görülecektir. Eski bellekte 1-2-3 olarak sıralanan çözümler yeni vektörün ilk sıraya gelmesiyle 2-3-4 olarak kaydırılmıştır. Buradaki önemli ayrıntı yeni bulunan vektörün çözümünün en kötü değere sahip olan vektörden daha iyi bir çözüme sahip olmasıdır. Bu örnekteki gibi en iyi çözümünden de daha iyi bir çözüm sunması gerekmemektedir. Eğer yeni bulunan çözümün değeri 610.395\$ değil de 900.000\$ olsaydı bellekte alacağı yer ilk sıra değil en kötü vektörün yeri olan 4. sıra olacaktı.

1.9.5. Adım-5: Durma Koşullarının Kontrolü

Bu adımda belirlenen iterasyon sayısına ulaşılmışsa süreç durdurulacak, aksi takdirde tekrar 3. adıma gidilip durma koşulları sağlanana kadar sürece devam edilecektir.

Problemin optimum çözümü $x^* = (3,3,3,2,2,2,3,1,1,1)$, amaç fonksiyonu değeri ise 307.980\$’dır. Bu çözüme göre 1. otobüs 8, 9 ve 10, 2. otobüs 4, 5 ve 6, 3. otobüs ise 1, 2, 3 ve 7 numaralı duraklardaki öğrencileri okula taşıyacaktır. 4. otobüs çalışmayacaktır.

2. BÖLÜM: LİTERATÜR TARAMASI

Çalışmanın bu bölümünde hem Armoni Arama Algoritması ile ilgili hem de uygulama örneği olarak seçilen takım kurma problemleri ile ilgili literatür taraması yapılmıştır.

2.1. Armoni Arama Algoritması İle İlgili Çalışmalar

2001 yılında Geem, Kim ve Loganathan tarafından kaleme alınan çalışmayla Armoni Arama Algoritması çeşitli optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılmak üzere literatüre kazandırılmıştır. Bu çalışmayla, geleneksel olarak Doğrusal Programlama (DP), Doğrusal Olmayan Programlama (DOP) ve Dinamik Programlama (DİP) ile çözüm aranan optimizasyon problemlerinin çözümünde bahsedilen klasik yöntemlerin taşıdıkları dezavantajların üstesinden gelebilmek için BT, TA ve EA gibi sezgisel yaklaşımların kullanımının başladığından bahsedilmektedir. Yazarlar yeni sezgisel yaklaşımların geliştirilebileceği fikrinden yola çıkıp jazz müzikten esinlenerek Armoni Arama Algoritması diye adlandırdıkları bu yeni yöntemi sunmaktadırlar. Sundukları bu yeni tekniğin optimizasyon problemlerindeki çözüme ulaşabilme kabiliyeti gezgin satıcı problemi, çeşitli optimizasyon problemleri ve boru ağı tasarımı problemlerinde sınanmış ve ulaşılan başarılı çözümler ortaya konulmuştur (Geem; Kim; Loganathan, 2001, 60-68).

2001 yılında yapılan çalışmanın sonrasında, 2004 yılında Lee ve Geem tarafından AAA'nın yapısal tasarım problemlerinin çözümündeki gücünü sınamak üzere yeni bir çalışma yapılmıştır. Son yıllarda yapısal tasarım problemleri akademik alanda çalışma yapanların ilgisini daha çok çekmekte ve DP, DOP gibi matematiksel yöntemlerden ziyade çeşitli meta sezgisel algoritmalarla, özellikle de GA ile çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Temelde maliyet ve zamanın minimize edilmeye çalışıldığı yapısal tasarım problemlerinde matematiksel algoritmalarla çözüm, lokal optimuma

yakalanma ve patlayıcı arama özelliklerinin bulunmaması nedeniyle daima iyi bir başlangıç çözümüne ihtiyaç duymaktadır. AAA'nın yapısı gereği bu dezavantajlar etkisiz hale geldiği için yapısal tasarım problemlerinin çözümünde yazarlar tarafından kullanıma uygun bir yöntem olarak tespit edilmiştir. Çalışmada yazarlar AAA'yı 6 lokal optimumu bulunan bir örnekte hem klasik matematiksel yöntemlerle hem de GA ile karşılaştırmıştır. AAA bu uygulamada klasik matematiksel yöntemlerden ve GA'dan daha iyi sonuç verebilirken, bulanık entegreli GA AAA'dan daha iyi sonuca ulaşabilmiştir. Ancak, yapılan uygulamanın sayısal sonuçları yorumlandığında yapısal tasarım optimizasyon problemlerinin çözümü için AAA'nın güçlü bir alternatif olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Lee ve Geem, 2004, 781-798).

Geem, Lee ve Tseng 2005 yılında GECCO'05 konferansında verdikleri bildiriyle yapısal tasarım problemlerinin kesikli verili yapısını dikkate alan bir çözüm alternatifini AAA'yı kullanarak sunmuşlardır. Yapısal tasarım problemlerinde karar değişkenleri kesikli olduğu için şimdiye kadar yapılan çalışmalarda sürekli veriler kesikli veri gibi varsayılarak çözüm aranmıştır. Bu çalışmada yapısal tasarım problemlerinin çözümü için AAA uygulanıp sonuçlar GA ile karşılaştırılmıştır. Yeni geliştirilen AAA kesikli karar değişkeni olan kombinatoriyal nitelikteki yapısal optimizasyon problemine başarıyla uygulanmıştır. Elde edilen sonuç göstermiştir ki önerilen algoritma güçlü bir arama potansiyeline sahiptir ve literatürde ulaşılan en iyi sonucu vermektedir (Geem; Lee; Tseng, 2005, 651-652).

Aynı yıl, Zong Woo Geem, Kang Seok Lee ve Yongjin, American Journal of Applied Sciences dergisinde yayınladıkları "Application of Harmony Search to Vehicle Routing" isimli makaleleri ile AAA'yı araç rotalama problemi üzerinde test etmişlerdir. Ele aldıkları okul servisi rotalama problemi üzerinde hem AAA'yı hem de GA'yı 20'şer defa çalıştırıp toplam maliyeti minimize etme açısından karşılaştırma yapmışlardır. AAA ile 399.870\$ sonucuna, GA ile 409.597\$ sonucuna ulaşılmıştır. Kabul edilebilir bir zamanda elde ettikleri bu iki veriyi karşılaştırdıklarında AAA'nın daha başarılı olduğu sonucuna ulaşmışlar ve AAA'nın trafik mühendisliği alanındaki kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılı ile uygulanabileceğini ileri sürmüşlerdir (Geem; Lee; Park, 2005, 1552-1557).

Geem 2005 yılında yayınladığı çalışmada kendisinin birkaç yıl önce öne sürdüğü AAA meta sezgisel optimizasyon yöntemini bir otobüs garajı, bir okul ve 10

duraktan oluşan okul servisi rotalama probleminde test etmiştir. Problemin en önemli kısıtları otobüs kapasitesi ve her aracın görece aynı süre seyahat etmesini sağlamaktır. Bu kısıtlar aşıldığında ceza puanı uygulaması yapılmıştır. Problem hem AAA hem de GA ile çözülmüş; AAA görece GA ile aynı zamanda (GA: 6,7 saniye, AAA: 6,6 saniye) daha iyi bir çözüm alternatifine ulaşabilmiştir. Bir minimizasyon problemi olan okul servisi rotalama probleminin sonucunu GA 409.597 \$ olarak tespit ederken, AAA daha iyi bir sonuç olan 307.980 \$ değerine ulaşabilmiştir. Çeşitli parametre alternatiflerinde test işlemi tekrarlanmış ve HMS için 20, HMCR için 0,90 ve 0,95 en uygun, yani en iyi sonuçları veren parametre değerleri olarak tespit edilmiştir (Geem, 2005).

2005 yılında Lee ve Geem tarafından yayınlanan bir başka çalışmayla yeni geliştirilen AAA karar değişkenleri sürekli verilerden oluşan mühendislik problemlerinde sınanmıştır. Birçok mühendislik problemi doğrusal yada doğrusal olmayan matematiksel yöntemlerle çözülmeye çalışıldığından bu yöntemler popülasyon temelli olmaktan ziyade tek bir birey tabanlı oldukları için aramaya başlangıç noktası çok önem arz etmektedir. İyi bir başlangıç noktasının seçilmemiş olması aramaların lokal optimumlara yakalanma riskini çok yükseltir. Yaklaşık son kırk yıldır meta sezgisel yöntemlerle bu karmaşık mühendislik problemlerinin çözülmeye çalışıldığını dile getiren yazarlar 1970 yılından itibaren yayınlanan meta sezgisel algoritmalarından özet olarak bahsetmişlerdir. AAA'nın temellerini açıklayan yazarlar sürekli karar değişkenleri için algoritmanın ilk adımında parametreler belirlenirken standart işlemlere ek olarak bir de her karar değişkeni için minimum ve maksimum değer aralığının belirlenmesi gerekliliğinden söz etmişlerdir. Lee ve Geem uygulama aşamasında AAA'yı çeşitli mühendislik probleminde test etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar doğrusal ve doğrusal olmayan matematiksel algoritmalarından ve GA'dan daha iyi olduğu için karar değişkenleri sürekli verilerden oluşan gerek minimizasyon gerekse maksimizasyon işleminin yapılmaya çalışıldığı karmaşık mühendislik problemlerinin çözümünde AAA'nın kullanıma uygun efektif bir yöntem olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Lee ve Geem, 2005, 3902-3933).

2005 yılında yayınlanan çalışmalarıyla Lee, Geem, Lee ve Bae yine kesikli yapısal boyut tasarımı problemlerinin çözümü için AAA'yı kullanmışlardır. Bu tip problemlerin çözümünde şimdiye kadar olan yöntemler hep sürekli verileri dikkate almış; ama gerçek hayattaki kesikli problemlerin üstesinden gelebilmeyi ancak

matematiksel modeller başarmıştı. Fakat matematiksel modellerin dezavantajı ise örnek ölçeği büyüdüğünde lokal optimuma yakalanmalarıydı. Lee, Geem ve Bae'nin çalışmasında ise, AAA'nın geliştirilmiş bir versiyonu kesikli yapısal tasarım sistemleri için literatürdeki bazı test problemlerine uygulanmış; tekniğin doğruluk ve sağlamlığı mevcut kesikli optimizasyon teknikleri ile karşılaştırılarak test edilmiştir. Yazarlar, AAA için daha önceki çalışmalarda Geem tarafından önerilen parametre değer aralığını ele aldıkları örneklerin çözümünde dikkate almıştır. (HMCR= 0,7-0,9 – HMS= 10-50 – PAR= 0,2-0,5) Yapılan çalışmanın sonuçları AAA'nın daha önce yapılmış çalışmalardan daha iyi sonuçlara ulaşabildiğini göstermiştir. Üstelik matematiksel olarak AAA GA gibi algoritmalarından çok daha basit ifade edilebildiği için daha kolay kodlanabilmektedir (Kang Seok Lee, 2005).

Geem AAA'yı 2006 yılında yayınlanan çalışmasında su dağıtım şebekesi problemleri üzerinde test etmiş ve çalışmadan elde edilen sonuçlar aynı problemler üzerinde GA, BT ve TA gibi diğer algoritmaların performansları ile karşılaştırmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda su dağıtım şebekesi problemlerinde AAA'nın kullanılabilceği sonucuna varılmıştır (Geem, 2006a, 1-10).

Orijinal AAA'yı öneren Geem, 2006 yılında yayınladığı yeni makalesi ile orijinal AAA'nın üç temel operatörüne bir yenisini, yani grubu dikkate almayı da ekleyerek AAA'nın geliştirilmiş bir türevini sunmuştur. Bu sayede karar değişkenlerinin aralarındaki ilişkiler de algoritma içerisine dâhil edilmiştir. Makalede bu yeni yöntem su dağıtım şebekesi problemi üzerinde GA, BT ve orijinal AAA ile karşılaştırılmıştır. Ulaşılan sonucun karşılaştırma yapılan diğer üç yöntemden de iyi olduğu belirtilerek, önerilen AAA'nın geliştirilmiş türevinin gücü ortaya konmuştur (Geem, 2006b, 86-93).

2007 yılında Geem ve Williams tarafından yayınlanan makale, doğadaki yaşam türleri ve bunların yaşam alanlarını koruma problemi için uygulanan ilk AAA çalışmasıdır. Ele alınan bu problem koruma altına alınan türlerin maksimizasyonu şeklinde formülize edilip, AAA ile probleme özgü operatörler de eklenerek çözülmüştür. Uygulamada ABD'nin Oregon eyaletinde yaşayan 426 canlı türünün koruma altına alınması problemi işlenmiştir. Problemin yapısı gereği her bir hektara 0 ya da 1 değeri atanabildiği için ton ayarlama operatörü kullanılamamıştır. Eyalette toplam 441 parsel bulunmakta ve örneğin bir seferde 9 parsel koruma altına alınırsa

toplam en çok kaç canlı türü korunabilir sorusunun cevabı aranmaktadır. AAA ile yapılan çalışmanın sonuçları daha önce BT ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada bir seferde 9 parselin koruma altına alınması durumunda BT ile elde edilen sonuç AAA'nın ulaştığı sonuçtan daha iyidir. Fakat 1 ila 24 arasındaki diğer parsel sayıları için yapılan denemelerin hepsinde AAA en az BT kadar başarılı ya da daha iyi bir sonuç üretebilmiştir. Elde edilen bu iyi sonuç AAA'nın ekolojik optimizasyon problemlerinin çözümündeki başarısını kanıtlamıştır (Geem ve Williams, 2007, 150-154).

2007 yılında yaptığı çalışmayla M. Tamer Ayvaz akifer parametrelerinin belirlenmesi ve bölge yapısı belirleme problemlerinin çözümü için son on yılda getirilen yaklaşımlara alternatif olarak AAA'yı test etmiştir. Daha önceki çalışmalarda yapılanlar temel olarak iki grupta incelenmiştir. İlk gruptaki çalışmalar coğrafi-istatistiki metotlarla çözüm ararken, ikinci gruptaki çalışmalar meta sezgisel algoritmalarla bütünleştirilmiş ya da yalın olarak deterministik çözüm yöntemleri kullanmıştır. İkinci grupta yer alan çözüm teknikleri ağırlıklı olarak parametre belirleme problemlerinin çözümünde kullanılmış olsa da bu teknikler genellikle iyi bir başlangıç çözümüne ihtiyaç duyduğu için uygun çözümleri elde etme konusunda güçlükler çekmektedir. İyi bir başlangıç noktasına sahip olunmaması bu yöntemlerin lokal optimumlara yakalanma riskini arttırmaktadır. AAA matematiksel olarak basit olması, kolay kodlanabilmesi, iyi bir başlangıç noktasına ihtiyaç duymadan lokal optimumlardan kaçabilmesi, hem sürekli hem de kesikli verilerle kolaylıkla çalışabilmesi avantajlarından dolayı tercih edilmiştir. AAA'nın performansını arttırmak amacıyla AAA ve bulanık C-Means kümeleme yöntemi hibritleştirilerek uygulanmıştır. Ayrıca en uygun parametre bileşeni belirlemek için hassasiyet analizlerinden de yararlanılmıştır. Literatürdeki örnek problemler üzerinde testler yapılmış; elde edilen sonuçlar önerilen yöntemin yeraltı su kaynaklarının bölge ve parametre belirleme problemlerinde etkin bir yöntem olduğunu göstermiştir (Ayvaz, 2007, 2326-2338).

Ayvaz, Karahan ve Gürarlan 2007 yılında su dağıtım şebekelerinin tasarımı problemlerine AAA ile çözüm aramıştır. Su dağıtım şebekelerinin tasarımı literatürde doğrusal programlama, doğrusal olmayan programlama gibi yöntemlerle çözülmüş, ancak global optimumu bulma açısından sıkıntılar yaşanmıştır. Bu yüzden GA gibi optimizasyon teknikleri kullanılmış, ancak bu yöntemin de bilgi işlem sürecinin çok

fazla zamana ihtiyacı olduğu için alternatif yöntemler denenmiştir. Yazarlar bu çalışmalarında, su dağıtım şebekelerinin çözümü için aranan alternatif yöntemlere AAA'yı önermiştir. Çalışmada önerilen yöntem iki farklı tip örnek problemi üzerinde test edilmiş; AAA'nın parametreleri $HMCR=0,95$, $HMS=50$ ve $PAR=0,25$ olacak şekilde belirlenmiştir. Birinci uygulamada yaklaşık 1000 iterasyonla en iyi çözüme ulaşılabilmiştir. İkinci uygulamada iki farklı senaryo için çözüm aranmış; bulunan sonuçlar GA sonuçları için karşılaştırıldığında birinci senaryoda aynı, ikinci senaryoda daha iyi sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir (Ayvaz; Karahan; Gürarlan, 2007, 188-202).

Mahdavi, Fesanghary ve Damangir'in 2007 yılında yayınladığı çalışması ile orijinal AAA'nın doğruluk ve yakınsama performansını arttırmak için Geliştirilmiş Armoni Arama Algoritması (IHS) olarak isimlendirilen yeni bir yaklaşım literatüre kazandırılmıştır. Bu yeni yaklaşımla yapılan farklılık temel olarak orijinal algoritmanın parametrelerinin ele alınıp ayarlama işlemi yapılmasıdır. Birçok test problemi ve temel mühendislik problemlerinde IHS test edilmiş ve armoni arama ile diğer metotlardan daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. IHS birçok mühendislik problemi için güçlü bir arama algoritması olarak sunulmaktadır. AAA klasik optimizasyon yöntemlerine göre daha az matematiksel işleme ihtiyaç duyma, daha az parametre gereksinimi, iyi bir başlangıç değerine ihtiyaç duymama, tesadüfi arama yaptığı için yeni çözüm vektörü geliştirme bilgisine gereksinim duymama, GA'da olduğu gibi sadece iki üyenin bilgilerinden yararlanarak yeni üye oluşturma yerine, bütün üyelerin bilgilerini kullanarak yeni üye geliştirme süreci takip ettiği için gayet esnek bir yapıya sahip olması gibi avantajları olsa da çözüm uzayını taramadaki başarısını lokal aramada göstermekte sıkıntılar yaşamıştır. Geliştirilen IHS ile lokal arama performansını yükseltmek için hassas arama özelliği AAA'ya eklenmekte ve böylelikle performans artmaktadır. Orijinal AAA'da yeni bir çözüm vektörü geliştirilirken armoni hafızası dikkate alınarak, ton ayarlama işlemi yapılarak ya da tesadüfi seçim ile karar değişkenleri atanır. Bu belirleme sürecinde PAR ve bw parametrelerinin uygun bir bileşenin oluşturulması elde edilecek sonucun başarısını çok önemli ölçüde etkiler. Orijinal AAA'da bu değerler sabit olarak belirlenir ve iterasyonlar boyunca değişimi öngörülmez. Parametrelerin belirlenmesi aşamasında PAR oranının küçük, bw parametresinin büyük belirlenmesi algoritma performansını düşürücü etki yapacaktır.

Yapılan incelemeyle bw değerinin ilk iterasyonlarda geniş, ilerleyen iterasyonlarda ise dar olması gerekmektedir. Arama sürecinin sonlarında en iyi sonuçları veren PAR ve bw bileşeni ise PAR için büyük, bw için küçük oranların belirlendiği durumlardır. İşte bu durumdan yola çıkarak ileri sürülen IHS yönteminde PAR ve bw parametrelerinin aşağıdaki formüllerde gösterildiği şekilde iterasyonlar boyunca değişimi önerilmektedir. Yani bu iki parametre IHS’de sabit değerler yerine iterasyonlar boyunca değişen dinamik değerlerden oluşmaktadır. İleri sürülen IHS yönteminin performansı 7 farklı örnek problem üzerinde test edilmiş ve elde edilen sayısal sonuçlar diğer yöntemlerin sonuçları ve orijinal AAA’nın sonuçları ile karşılaştırıldığında bu çalışmayla önerilen IHS’nin başarısı ortaya konulabilmiş ve optimizasyon problemlerinin çözümünde uygulanabilir bir alternatif yöntem olduğu görülmüştür (Mahdavi; Fesanghary; Damangir, 2007, 1567-1579).

$$PAR_{(gn)} = PAR_{min} + \frac{PAR_{max} - PAR_{min}}{NI} \times gn$$

$$bw_{(gn)} = bw_{(max)} \cdot \exp(c \cdot gn)$$

$$c = \frac{\ln\left(\frac{bw_{min}}{bw_{max}}\right)}{NI}$$

$PAR_{(gn)}$ = Güncel iterasyondaki PAR değeri

$bw_{(gn)}$ = Güncel bant genişliği değeri

PAR_{min} = En küçük PAR değeri

bw_{min} = En küçük bant genişliği değeri

PAR_{max} = En büyük PAR değeri

bw_{max} = En büyük bant genişliği değeri

NI = Maksimum iterasyon sayısı

c = Bantgenişliği değişim oranı

gn = Güncel iterasyon

Fesanghary, Mahdavi ve Minary-Jolandan’ın 2008 yılında yayınlanan çalışmalarında, AAA’nın global optimum sonuca yakın sonuçlara ulaşabilmede başarılı olsa da lokal arama performansının nispeten zayıf olduğu ileri sürülmüştür. Ortaya konan çalışma ile AAA’nın lokal arama performansını ve hassasiyet özelliklerini arttırmak için ardışık kareli programlama tekniğinin AAA’ya entegre edildiği hibrit bir yöntem sunulmuştur. Sundukları bu yeni hibrit yöntemin etkinlik ve güçlülüğünü çeşitli

deneysel problemlerle sınavan yazarlar ulaştıkları sonuçlar ışığında hibrit algoritmanın birçok durumda orijinal AAA'dan daha etkin olduğunu belirtmişlerdir (Fesanghary; Mahdavi; Minary-Jolandan vd. 2008).

2008 yılında yayınlanan çalışması ile Geem AAA'nın yeni bir türevini uygulamada karşılaşılan kesikli gerçek hayat problemlerinin çözümü için önermiştir. Çalışmada önerilen bu yeni AAA türevi hem test problemleri üzerinde hem de su dağıtım şebekelerinin tasarımı probleminde sınanmıştır. Elde edilen sonuçlar, AAA'nın bu yeni türevinin kesikli yapıya sahip hem test problemlerinin çözümünde hem de gerçek hayat problemlerinin çözümünde başarılı olduğunu ortaya koymuştur (Geem, 2008, 223-230).

2008 yılında Jang, Kang ve Lee tarafından IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2008) konferansında sunulan çalışmada AAA'nın optimizasyon problemlerinin çözümü için Simpleks metodu ile birleştirilerek elde edilen yeni bir türevi önerilmiştir. Sunulan bu hibrit AAA türevinin başarısı sabit ve değişken fonksiyonlar üzerinde test edilip orijinal AAA ve diğer yöntemlerle karşılaştırması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında sunumu yapılan Simpleks-Armoni Arama Algoritması'nın arama hızının ve elde ettiği sonuçların doğruluğu bakımından karşılaştırıldığı diğer yöntemlerden daha iyi olduğu tespit edilmiştir (Jang; Kang; Lee, 2008, 4157-4164).

2008 yılında Ceylan, Ceylan, Haldenbilen ve Başkan tarafından hazırlanan çalışmada AAA'nın parametrelerini belirlemede hassasiyet analizini kullanarak oluşturulan HASTEDE modeli Türkiye'deki enerji transferi modeli üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında AAA'nın enerji dağıtım modeli üzerinde uygulanabileceği, ancak en iyi AAA parametrelerine ulaşabilmek için hassasiyet analizine ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir (Ceylan; Ceylan; Haldenbilen vd. 2008, 2527-2535).

Cheng, Li, Lansivaara ve diğerlerince 2008 yılında yapılan bir başka çalışmada, yüzey dengeleme problemlerinin çözümünde orijinal AAA ve IHS karşılaştırılmıştır. Yapılan 5 farklı örnek uygulama neticesinde problemlerdeki değişken sayısının 25'i aşmadığı her örnekte orijinal AAA'nın etkin bir şekilde sonuç verdiği tespit edilmiştir. 25'i aştığı durumlarda ise IHS'nin orijinal AAA'ya göre daha hızlı,

yani daha az denemede ve daha yüksek doğrulukta sonuç verdiği tespit edilmiştir (Cheng; Li; Lansivaara vd. 2008, 95-115).

Değertekin'in çelik iskelet tasarım optimizasyonu probleminin çözümü için AAA'yı kullandığı 2008 yılında yayınlanan çalışmasında, AAA'nın sonuçları GA ve KK ile karşılaştırmış ve AAA'nın GA'ya göre %2,7 - %5 oranında, KK'ya göre %1,2 - %2,7 oranında daha hafif bir iskelet alternatifini sunabildiği belirlenmiştir. AAA'nın ihtiyaç duyduğu iterasyon sayısı bakımından GA'dan biraz fazla, KK'dan biraz az denemeye ihtiyaç duyduğu ve %3'lük bir standart sapma ile optimum sonuca çok yakın bir ağırlık değerine ulaşabildiği için uygulanabilir bir yöntem olduğu belirtilmiştir (Değertekin, 2008, 393-401).

2008 yılında yapılan bir çalışmada web sayfası kümeleme probleminin çözümü için AAA ve çalışmayı yayınlayan yazarların geliştirdikleri hibrit Armoni Arama - K-Means Algoritması karşılaştırmıştır. Her iki algoritmanın da web sayfası kümeleme problemi için uygun zamanda optimuma yakın sonucu verebilmesine karşın önerilen hibrit Armoni Arama - K-Means Algoritması'nın orijinal AAA'nın gücü ve K-Means'in hızını birleştirebilmesi nedeniyle daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir (Forsati; Mahdavi; Kangavari vd. 2008, 1601-1604).

AAA'nın gelişimi incelendiğinde sadece kendi yapısında iyileştirme çabalarının olmadığı, aynı zamanda AAA'yı kullanılarak gelişmekte olan diğer yöntemlerin performanslarının da arttırılmaya çalışıldığı da görülmektedir. Li Hong-qi, son yıllarda ilginin giderek arttığı PSO'nun karmaşık optimizasyon problemlerinde daha verimli, daha isabetli ve güvenilir sonuçlar elde edebilmesi için PSO'nun AAA ile birlikte kullanıldığı IPSO tekniğini önermiştir. Li Hong-qi bu yöntemi iyi bilinen test problemleri üzerinde sınavıp standart PSO ile karşılaştırdığında IPSO'nun arama verimliliği, etkinliği ve arama kalitesini büyük oranda artması bakımından daha güçlü hale geldiğini tespit etmiştir. Çalışmada, PSO'nun performansını arttırmak için AAA'nın seçilmesinin nedenleri şöyle sıralanmıştır (Li; Li; Kim vd. 2008, 57-64):

- i. Daha az matematiksel işleme ihtiyaç duyar.
- ii. Karar değişkenleri için iyi bir başlangıç değerine ihtiyaç duymaz.
- iii. Stokastik tesadüfi arama yaptığı için türetme bilgisi istemez.

- iv. GA'nın aksine yeni vektör geliştirirken iki ebeveyn yerine tüm popülasyonu dikkate aldığı için çok esnektir ve bu esneklik tekniğin daha iyi sonuçlar vermesini sağlar.

Önerilen IPSO tekniğinde AAA yeni vektör türetme aşamasında devreye girmektedir. AAA tabanlı PSO tekniği olan IPSO 3 farklı test probleminde sınanmış ve aynı parametrelerin kullanıldığı standart PSO ile kıyaslanmıştır. Ölçek arttıkça PSO'nun performansının düştüğü, IPSO'nun ise bütün ölçeklerde global optimum sonucu elde edebildiğini tespit edilmiştir. Sonuçlar ışığında AAA'nın katkısı ile hızlı arama ve yakınsama özelliği kazanan IPSO'nun karmaşık optimizasyon problemlerinde kullanımı uygun, etkin bir teknik olduğu söylenmektedir (Li; Li; Kim vd. 2008, 57-64).

AAA'nın gelişimi açısından önemli yeniliklerin olduğu 2008 yılında ortaya çıkan Global En İyi Armoni Arama Algoritması (GHS) olarak adlandırılan yeni hibrit yaklaşım orijinal AAA'nın arama verimliliğini arttırmak için sürü zekasını tekniğe dahil etmektedir. Doğal seleksiyon ve biyolojik evrimi taklit etmeye çalışan evrimsel algoritmaların diğer optimizasyon tekniklerinden ayrılan en önemli özelliği popülasyon tabanlı çalışmalarıdır. Evrimsel bir algoritma olan AAA ve ileri sürülen hibrit türev GHS'nin örnek uzayını çok iyi tarayabilme kabiliyetleri aynı anda çok noktada arama yapabilmeleri, yani popülasyon tabanlı çalışma özelliklerinden gelmektedir. Evrimsel algoritmalar muhtemel çözüm alternatiflerini her iterasyonda tesadüfi arama ile türetir ve her alternatif çözümün kalitesi amaç fonksiyonu değerine göre belirlenir. Her iterasyonda popülasyondakilerden yararlanılarak mutasyon ya da çaprazlama ile yakınsama sağlanana kadar arama süreci devam eder. Bulunan en iyi sonucun optimum sonuç olması beklenir. Başlıca evrimsel algoritmalar; EA, Evrimsel Stratejiler (ES), GA, Genetik Programlama (GP), DE ve AAA olarak gösterilebilir. Evrimsel algoritmalar resim işleme, iz okuma, çizelgeleme, mühendislik problemleri gibi birçok alandaki problemlere başarıyla uygulanmıştır. GHS'yi orijinal AAA'dan ayıran temel farklılık, lokal arama performansını artırma amaçlı ton ayarlama parametresinin kullanım yöntemidir. Orijinal AAA'da PAR parametresi ile ton ayarlama yapılacaksa bu işlem GHS'de hafızadaki en iyi alternatifin değeri ilgili karar değişkeni için atanarak yeni vektör geliştirme süreci yürütülecek şekilde yapılır. GHS'nin literatüre kazandırıldığı bu çalışmada yöntemin performansı test problemleri üzerinde orijinal AAA ve IHS ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Karşılaştırılan bu üç AAA tekniği 10 farklı

test problemi üzerinde çalıştırılmış, genellikle GHS'nin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca HMCR ve HMS parametrelerinin etkileri araştırılmış ve %95 gibi büyük HMCR'nin kullanımının performansı artırıcı etki yaptığı, ancak az değişkenli örneklerde daha küçük oranlı HMCR'nin daha uygun olduğu saptanmıştır. HMS'nin küçük boyutlu belirlenmesi tavsiye edilmektedir. Küçük oranlı PAR kullanımı GHS'nin performansını arttırmıştır. Çalışılan test problemlerinin sayısal sonuçları değerlendirildiğinde AAA'nın üç farklı versiyonunun da uygulanabilir yöntemler olduğu, ancak GHS'nin diğer iki versiyondan daha iyi sonuçlara ulaşabildiği belirtilmiştir (Omran ve Mahdavi, 2008, 643-656).

Geem, Fesanghary, Choi ve diğerleri 2008 yılındaki literatür taramasında AAA'nın literatüre kazandırıldığı 2001 yılından itibaren yapılan çalışmaları incelemiştir. AAA ile müzik besteleme, sudoku bulmacalarının çözümü, yapısal tasarım problemleri, ekolojik koruma, su kanalı parametrelerinin belirlenmesi, toprak kayması tespiti, denizde inşa edilen yapı inşaatı ve enerji problemleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Algoritmanın yapısında yapılan değişimlerle elde edilen yeni türevler ise Topluluk Armoni Arama (EHS: Ensemble Harmony Search), IHS ve GHS olarak özetlenmiştir. EHS'nin farklılığı karar değişkenleri arasındaki ilişkiyi dikkate almasıdır. Bu sayede GA'da az ilişkisi bulunan karar değişkenlerinin yan yana gelmesi sonucu ortaya çıkan yapısal bozuklukların üstesinden gelinebilir. IHS'nin orijinal AAA'dan farklılığı ise; orijinal AAA'da sabit olarak atanan ton ayarlama oranının iterasyonlar boyunca dinamik olarak değişimi varsayımıdır. GHS'nin farklılığı ise karar değişkeninde ton ayarlama ihtiyacı duyulduğunda bunu ton ayarlama oranını kullanarak tesadüfi yapılması yerine o karar değişkeni için mevcut hafızadaki en iyi değeri kabul etmesidir (Geem; Fesanghary; Choi vd. 2008).

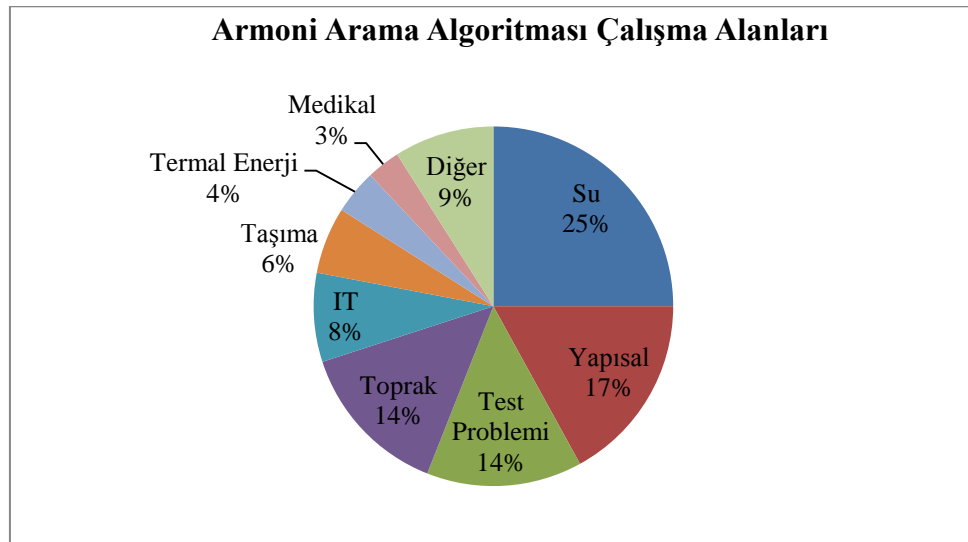
AAA'nın performansını arttırmaya yönelik başka bir çalışmada ise yalın haldeyken yavaş ve yakınsama problemlerinin olduğunu düşündükleri AAA'yı DE ile birleştirerek daha kuvvetli hibrit bir algoritma ileri süren Chakraborty, Roy, Das ve diğerleri bu yöntemin performansını altı test problemi ve bir gerçek hayat problemi üzerinde sınamaktadırlar. Yaptıkları uygulamanın sayısal sonuçlarını doğruluk, kodlama hızı ve optimum isabet sıklığına göre orijinal AAA, IHS ve GHS ile karşılaştırdıklarında ileri sürdükleri yeni yaklaşımın daha başarılı sonuçlara ulaştığını belirtmektedirler (Chakraborty; Roy; Das vd. 2009, 1-26).

AAA'yı literatüre kazandıran Geem, 2009 yılında bu alanda yapılmış önemli akademik çalışmaları derlediği bir kitap yayınlamıştır (Geem, 2009a).

2001 yılında Geem tarafından literatüre kazandırıldıktan sonra AAA ile fonksiyon optimizasyonu, mühendislik problemleri, su dağıtım şebekelerinin tasarımı, yeraltı su kaynaklarının modellenmesi, araç rotalama, enerji tasarrufu, giriş tasarımı gibi problemler çözülebilmiştir. AAA'nın PSO gibi diğer algoritmalarla kombine edilebildiği de bu süreçte keşfedilmiştir. İyi bir algoritma çeşitlendirme ve yoğunlaşma özelliklerinin dengesini kurabilmelidir. Hiçbir optimizasyon problemi için kullanıma hazır bir yöntem yoktur. Uygun problem için uygun algoritma seçimi yapılmalı, hatta belki probleme göre algoritma yazılmalıdır. Meta sezgisellerin temel bileşenlerini ele alıp diğer yöntemlerle karşılaştırıldığımızda AAA'nın bu iki bileşeni iyi harmanladığı için iyi bir algoritma olduğu anlaşılmıştır. AAA'daki tesadüfi arama ve ton ayarlama bileşenleri sayesinde çeşitlendirme, armoni belleğinin dikkate alınması ile yoğunlaşma özellikleri çalıştırılır. Aynı anda birden çok yörüngede arama yapan popülasyon tabanlı bir meta sezgisel algoritmadır. Kolay kodlanabilen bir yapısı olduğu için diğer tekniklerle kolaylıkla modifiye edilebilir ve parametreler sonuç bulmada çok hassas olmadığı için uygun parametre bileşeni ayarlama çalışmasına ihtiyaç duymaz. AAA'nın gücü ve verimliliği diğer algoritmalarla karşılaştırıldığında gayet açık olarak görülmesine karşın bütün meta sezgisellerin olduğu gibi AAA'nın da cevap vermesi gereken sorular mevcuttur. Örneğin GA'dan alışık olduğumuz üzere HMCR 0,7 ile 0,95 arasında yüksek belirlenince sonuçlar daha yavaş gelişir, ancak hangi parametre için hangi oranın neye göre seçileceği hala bir muammadır. Yeni algoritma geliştirmenin en iyi yolu mevcut sistemleri birbirine entegre etmektir. Meta sezgisellerdeki en zor kısım yoğunlaşma ve çeşitlendirmenin uygun kombinasyonunu elde etmek olduğu için belki de gelecekteki çalışmalar bu kombinasyonun nasıl sağlanacağını tespitine yönelik olmalıdır (Yang, 2009, 1-14).

Ingram'ın 2009 yılında yayınlanan çalışmasında belirttiği gibi optimizasyon problemleri tek kısıtlı, çok kısıtlı, karar değişkenleri sürekli ya da kesikli olabilir. AAA bu tür optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılabilir. Ingram aynı çalışmasında AAA ile ilgili literatürdeki çalışmaları incelemiştir. Bu inceleme sonucunda; 2005 yılına kadar sakin bir seyrin, 2005 yılıyla bir sıçramanın varlığından söz edilebilir. İlk yıllardaki çalışmalar genellikle inşaat mühendisliği alanında

yoğunlaşmışken yıllar ilerledikçe çalışma alanları çoğalıp daha homojen bir yapıya bürünmüştür. Yapısal tasarım alanındaki temel çalışma 2004 yılında sürekli veriler için, 2005 yılında ise kesikli veriler için yapılmıştır. İlk çok amaçlı optimizasyon problemi 2006 yılında yapılırken yine aynı yıl IT alanında da çalışmaya başlanmıştır. Zaman ilerledikçe IHS gibi geliştirilmiş türevler ortaya çıkmaya başlamış ve GA, PSO gibi algoritmalar ile hibrit türevleri yapılmaya başlanmıştır. 2004 yılına kadar yapılan yayınların yarısı su dağıtım şebekeleri gibi spesifik konularken daha sonra bu uygulama alanları da çeşitlenmiştir. Kasım 2008 itibariyle AAA'yla yapılan çalışmaların çalışma alanlarına göre dağılımı Şekil 6'daki gibidir (Ingram ve Zhang, 2009, 15-38):



Şekil 6. Armoni Arama Algoritması Çalışma Alanları

Kaynak: (Ingram ve Zhang, 2009, 15-38)

Orijinalinde inşaat mühendisliği ve test problemleri üzerinde çalışılmış olsa da şu anda ilaç sektörü, endüstri mühendisliği, IT, ekoloji ve çok çeşitli alanlarda da çalışmalar yapılmaktadır. Literatürün gelişimi incelendiğinde uygulama alanlarının artmasının da kaçınılmaz olduğu anlaşılacaktır. Yeni yapılan çalışmaların çoğu ise AAA'nın modifiye edilmiş türevleri niteliğindedir. Orijinal AAA'nın performansını arttırmak üzere yapılan modifikasyonlar genellikle tek bir element üzerinde yapılmıştır. Ayrıca teorik analizler ve hassasiyet analizleri de yapılmıştır. Orijinal AAA'nın

modifiye edilmiş türlerinde yapılan değişikleri Ingram aynı çalışmasında şöyle açıklamıştır (Ingram ve Zhang, 2009, 15-38);

- i. Armoni belleği iki defa oluşturulup iyi olanla başlanmıştır.
- ii. IHS ile sabit parametre yerine değişken parametre kullanımı başlamıştır.
- iii. Yeni geliştirilen çözüm alternatiflerine GA'daki doğrusal olmayan mutasyon operatörü entegre edilmiştir.
- iv. İterasyona göre yeni çözüm kısıtları sağlamıyor ve çok kötüyse reddedilir, ancak az farkla daha kötüyse kabul edilir. İlerleyen iterasyonlarda kabul oranı düşürülür.
- v. Yeni çözümü belleğe alma kriteri; en kötü değerden iyi ise, benzer çözüm alternatifleri kritik sayıdan az ise ve ortalamadan iyi ise şeklinde çeşitlendirilmiştir.
- vi. Algoritmanın durma kriteri olarak en iyi çözümün belli bir iterasyon boyunca değişmemesi eklenmiştir.
- vii. Her iterasyonda çoklu alternatif geliştirme gibi köklü değişiklikler bu süreçte karşımıza görece az çıkmıştır.

Gao, Wang ve Ovaska'nın 2009 yılındaki çalışmasında çok biçimli ve kısıtlı optimizasyon problemlerinin çözümü için iki farklı AAA yaklaşımı önerilmiştir. Çok biçimli optimizasyon problemi için farklı bir bellek yaklaşımı, kısıtlı optimizasyon problemi için ise Pareto-Dominance tekniği kullanılarak AAA'nın performansı arttırılmaya çalışılmıştır. Çok biçimli optimizasyon problemleri, bu alandaki çok önemli bir o kadar da çözümü zor bir konudur. Orijinal AAA'nın bunun üstesinden gelebilmesi için bellek farklı bir yaklaşımla ele alınıp alternatif çözümün belleğe giriş stratejisi değiştirilmiştir. Yeni stratejide bir baraj bir de ortalama puan hesaplama işlemi yapılmaktadır. Yeni vektörün belleğe girebilmesi için; en kötü bellek değerinden daha iyi bir amaç fonksiyonu değeri olmalı, mevcut baraj puanından daha iyi bir puanı olmalı, ortalama puandan daha iyi bir puanı olmalıdır. Bu yeni geliştirilen teknikle çok biçimli optimizasyon problemleri çözülebilir, ancak bu yeni seçim yaklaşımı hesaplama süresinin uzamasına neden olur. Bununla birlikte birçok optimizasyon problemi belli kısıtlar altında amaçlanan hedefe ulaşmaya çalışır. Kısıtlı optimizasyon problemleri kısıtların alternatif çözüm uzayını ayırık adalara bölmesi sebebiyle çözümü daha güç problemlerdir. En yaygın yaklaşım orijinal amaç fonksiyonuna ağırlaştırılmış ceza

puanı eklenmesidir. Bu çalışmada ise uygun olmayan sonuçlar da hafızaya alınır, fakat yeni alternatif hafızaya gireceğinde izlenen adımlarda farklılaştırmaya gidilir. Önce yeni alternatif çözüm uygun olup olmadığına bakılır; uygun değilse hafızadan seçilen çözümün uygunluğuna bakılır. Bu çözüm de uygun değilse, hangi çözümün daha baskın olduğuna bakılır ve buna göre belleğe alınma ya da alınmama kararı verilir. Bu karşılaştırma sürecinde uygun olan alternatif her zaman öncelikle tercih edilir. Ele alınan örnek problemde ilk yöntem global ve lokal bütün optimumları bulurken orijinal AAA sadece global optimum sonucu vermiştir. İkinci yöntem ise problemin sahip olduğu kısıtlara rağmen uygun sonuçları elde edebilmiştir (Gao; Wang ve Ovaska, 2009, 39-52).

Mahdavi'nin 2009 tarihli çalışmasına göre AAA ile NP-Zor problemlerin çözümünde bir patlama yaşanmıştır. Bu tip problemlerde en iyiye yakın sonuçları verebilmesi nedeniyle AAA'nın alışlagelmiş tekniklere iyi bir alternatif olduğu doğrulanmıştır. AAA'nın NP-Zor problemlerle yapılmış uygulamaları bu çalışmada incelenmiştir. Burada sudoku, müzik besteleme, araç rotalama, belge kümeleme gibi NP-Zor problem türleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda elde edilen sayısal veriler bu tür problemlerin çözümünde AAA'nın diğer optimizasyon tekniklerine kıyasla rekabetçi bir avantaja sahip olduğu ve daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir (Mahdavi, 2009, 53-70).

Fesanghary tarafından 2009 yılında yayınlanan başka bir çalışmada Makine, Kimya ve Elektrik Mühendislikleri alanlarındaki AAA'nın gelişim süreci ele alınmıştır. Literatürde mühendislik alanında yapılmış çalışmalar AAA'nın güçlü bir alternatif yöntem olduğunu ortaya koymuştur. Uygulamada termal sistemlerin tasarımının optimizasyonu, elektrikli güç sistemlerinin ekonomikleştirilmesi ve makine işlevlerinin optimizasyonu problemleri ele alınmıştır. AAA'nın performansı seçilen bu 3 farklı türdeki mühendislik problemlerinin çeşitli test problemleri üzerinde sınıp geleneksel metotlarla karşılaştırması yapılmıştır. Sonuçlar sadece elde edilen sonuçların kalitesi bakımından değil aynı zamanda hesaplama süresi bakımından da AAA'nın diğer yöntemlere göre daha hızlı olduğu yönündedir. Genel olarak AAA uygulaması kolay, hızlı, yüksek kaliteli sonuçlara ulaşabilen, daha az miktarda parametreye ihtiyaç duyan bir algoritma olduğu için karmaşık mühendislik problemlerinin optimizasyonunda ideal bir teknik olarak tanımlanmıştır (Fesanghary, 2009, 71-86).

Kombinatorial yapısal optimizasyon probleminin çözümünde AAA'nın etkinlik ve güçlülüğü çelik iskelet yapılarının tasarımı örneği üzerinde Saka'nın 2009 yılındaki çalışmasında incelenmiştir. Tasarımcılar açısından çelik iskelet yapılarının optimum tasarımı sıkıcı bir iştir. Kesikli çelik listesinden uygun bir ögeyi seçmeleri gerekir. Aslında bu açıdan bir atama problemidir. Uygun yere uygun çelik uzunluğunun seçimi oldukça fazla kombinasyona sahip olduğu için pratik hayatta deneme yanılmayla optimum bileşeni saptamak neredeyse imkansızdır. Çelik iskelet yapılarının topolojik, geometrik ve çelik profillerin kesikli olması bakımından optimum tasarımları yapılırken kullanılacak çelik profillerin istenilen boyutta yani sürekli olduğu varsayımı yapılır, ancak gerçek hayatta bu işlem belli uzunluktaki çelik profillerin yani kesikli verilerin yer aldığı bir listeden seçimi şeklinde yapıldığı için optimizasyon probleminin de bu kesikli yapıyı dikkate alması gerekmektedir. Kesikli programlama sürekli programlamadan daha zordur. İşte bu yüzden ilk matematiksel programlama teknikleri sürekli verileri kullanmışlardır. AAA'nın kesikli optimizasyon problemlerinde karar değişkenleri için iki farklı türde havuz stratejisi vardır. İlkinde tek bir havuz (liste) mevcuttur ve tüm karar değişkenleri bu listeden bir değer alır. İkinci stratejide ise her karar değişkeninin alabileceği değerleri ifade eden birden fazla liste mevcuttur. Ele alınan 3 farklı çelik iskelet tasarım probleminin çözümünde de AAA başarılı sonuçlar vermiştir. Algoritma performansından hiç ödün vermeyen, zorlanmayan, kolayca kodlanabilen bir tekniktir. Bu bakımdan çelik iskelet yapılarının tasarımı problemlerinin çözümünde etkin ve güçlü bir alternatif olarak sunulmuştur (Saka, 2009, 87-112).

Geem, Tseng ve Williams 2009 yılında hazırladıkları çalışmada AAA'nın büyük ölçekli zor kombinatorial optimizasyon problemlerinin çözümünde ilgi görmeye başlayan bir teknik olduğunu belirtip, su kaynakları ve çevre sistemlerinin optimizasyonu alanında AAA ile yapılan çalışmalarını incelemiştir. Bu incelemede dört spesifik optimizasyon problemi dikkate alınmıştır (Geem; Tseng; Williams, 2009, 113-128):

- i. Su dağıtım şebekelerinin tasarımı.
- ii. Çok lokasyonlu barajların çizelgelemesi.
- iii. Çevre sistemlerinin parametre kalibrasyonu.
- iv. Ekolojik rezerv bölgelerinin belirlenmesi.

Temiz su dağıtım şebekeleri probleminin 4 farklı örneği üzerinde AAA sınılandığında hepsinde en iyi sonuca diğer tekniklerden daha az iterasyonda ulaştığı görülmüştür. Yeni geliştirilen PSO ile desteklenmiş AAA ile özellikle küçük ve orta ölçekli örneklerde hız orijinal AAA'ya göre daha da arttırılabilmektedir. Çoklu baraj problemlerinde ise AAA 4'lü bir sistemde test edilmiştir. AAA 46 saniyede 35000 deneme ile 5 farklı global optimuma ulaşırken, aynı örnek üzerinde GA optimuma yakın sonuca ulaşamamıştır. Taşkın yönlendirme modellerinin parametre kalibrasyonunda AAA ile elde edilen sonuçlar daha önce yapılan çalışmaların sonuçları ile karşılaştırıldığında hem kesikli verilerin kullanıldığı hem de sürekli verilerin kullanıldığı şekliyle global optimuma en yakın değerlerin elde edilebildiği tespit edilmiştir. Biyolojik çiftleşmenin planlanması problemi türü tehlikede olan hayvanlar için kritik önem taşımaktadır. AAA BT ile karşılaştırılmış ve sonuçlar AAA'nın başarısını göstermiştir. AAA BT'den 15 seferin 14'ünde daha iyi sonuçlara ulaşabilmektedir. Elde edilen sonuçların kalitesi ve hesaplama hızı bakımından AAA diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında bu 4 problem türü için de kullanılması uygun güçlü bir alternatif olarak belirlenmiştir (Geem; Tseng; Williams, 2009, 113-128).

Ayvaz, AAA'nın yeraltı su kaynaklarının parametrelerinin belirlenmesi problemlerindeki kabiliyetini 2009 yılındaki çalışmasında incelemiştir. Yeraltı su kaynaklarının parametreleri genellikle yeraltı su sistemleri çok karmaşık olduğu için bilinemez. Yeraltı su kaynaklarının yönetim modellerinin en önemli girdisi bu parametreler olduğundan bu parametrelerin belirlenmesi çok önemli bir işlem olagelmıştır. Gün geçtikçe plansız büyüme ve endüstrileşme sebebiyle temiz suya olan ihtiyaç artmış, mevcut kaynakların yönetimi önemli bir konu haline gelmiştir. Şimdiye kadar matematiksel metotlarla sorunlara çözüm aranırken yeraltı su kaynağı problemlerinin boyutlarının büyümesi ile sonuç elde edilememiş ve kombinatoryal optimizasyon metotları ile çözüme yoluna gidilmiştir. Yeraltı su kaynaklarının yönetimi problemleri 3'e ayrılır (Ayvaz, 2009a, 129-140):

- i. Yeraltı sularının parametrelerinin belirlenmesi.
- ii. Yeraltı sularının hidrolik yönetimi.
- iii. Yeraltı sularının kalite yönetimi.

Bu listedeki son iki problemde önce parametre belirleme işleminin yapılmış olması gerekmektedir. Yeraltı su kaynaklarının yönetimi probleminin çözüm uzayı

doğrusal değildir. Bu yüzden meta sezgisel yöntemlerle çözüm aranmaya başlanmıştır. Meta sezgisel yaklaşımlardan biri olan AAA karmaşık matematiksel işlemler istememesi, kolay programlanması, iyi bir başlangıç değerine ihtiyaç duymaması, kesikli ve sürekli verili problemlerde başarılı çalışabilmesi gibi avantajları nedeniyle tercih edilmiştir. Çalışmada ele alınan parametre belirleme probleminin sayısal sonuçları GA ile karşılaştırıldığında AAA'nın ya aynı kalitede ya da daha kaliteli sonuçlara daha az iterasyonda ulaşabildiği tespit edilmiştir (Ayvaz, 2009a, 129-140).

Cheng 2009'daki çalışmasında AAA ve AAA'nın geliştirilmiş bir türevinin zor bir problem türü olan büyük ölçekli şev (yamaç) duyarlılık analizi problemlerindeki etkinliğini test etmiştir. Ele alınan geliştirilmiş AAA orijinal AAA'dan iki bakımdan farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklardan ilkinde armoniler yeni eşleşmeler olacak şekilde yeniden düzenlenir ve iyi çiftler yeni armoni geliştirmede kullanılır. Diğer farklılık ise farklı armonilerde farklı oranların kullanılabilmesi durumudur. Şimdiye kadar basit deneme yanılma teknikleri ile çözüm aranmıştır. GA, PSO gibi meta sezgisel yöntemlerle çözüm aranmaya başlandığında ise karar değişkeni sayısı artınca etkinliğin azaldığı gözlemlenmiştir. Orijinal AAA ise eğer çözüm uzayı kesikli değilse ve karar değişkeni sayısı 25'ten fazla değilse lokal optimumdan kolayca kurtulup iyi sonuçlara ulaşabilmektedir. Bu dezavantajlarından kurtulabilmek için iki yeni alternatif AAA bu çalışmayla test edilmiştir. Bu yöntemlerde temel olarak yeni armoni geliştirme aşamasında aynı anda birden çok armoni farklı olasılıklar kullanılarak oluşturulup iyi sonuçlar tercih edilir. İleri sürülen bu geliştirilmiş versiyonun başarısı Çin'den seçilmiş bazı büyük ölçekli şev (yamaç) duyarlılığı analizi problemlerinde test edilmiştir. Bu çalışmada, 5 farklı örnek ele alınmış ve bazı büyük ölçekli problemlerde AAA'nın lokal optimuma yakalandığı görülmüştür. Birçok zor problemde ileri sürülen iki AAA türevi daha etkili olmuştur. Karar değişkeni sayısı arttıkça ileri sürülen yeni yöntemlerin daha etkili olduğu görülmektedir (Cheng, 2009, 141-162).

Ceylan ve Ceylan 2009'daki çalışmalarında AAA'nın enerji transferi problemlerinin çözümündeki yakınsama davranışı test etmiştir. Ele alınan çalışmada Türkiye'deki enerji sektörünün 1970 ile 1995 yılları arasındaki verileri AAA ile doğrusal, üssel ve kareli modellerle çözülmüş ve elde edilen sayısal değerlerin kalitesinin belirlenmesinde karşılaştırma tahmin edilen ve gözlemlenen hata üzerinden yapılmıştır. Çalışma sonucunda, gelecekte enerji tasarruf modellerinde yapılacak

uygulamalarda AAA'nın kullanımının uygun bir yöntem olduğunu tespit edilmiştir (Ceylan ve Ceylan, 2009, 163-172).

Alexandre, Cuadra ve Gil-Pita 2009 yılındaki çalışmalarında dijital işitme cihazlarının sesleri algılayıp otomatik ses düzeyi ayarlayabilmesi için ses sınıflandırma algoritmasının cihazlara eklenmesi işlemini AAA ile yapmıştır. Dijital işitme cihazlarına ses sınıflandırma algoritması eklemek çok zorlu bir işlemdir. Bu cihazlar enerji ihtiyacını düşürüp pil ömrünü arttırabilmek için çok düşük frekanslarda çalışmaktadır. Bu çalışmada, AAA ile seçim işleminin cihaz tarafından otomatik olarak yapılması sağlanmaya çalışılmıştır. Çalışmada 74 farklı ses tanımlama özelliği AAA'nın performansını sınamak için test edilip sonuçlar ses sınıflandırmada yaygın kullanılan yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Her biri 2,5 saniyeden oluşan 2627 dosyalı bir veri tabanı oluşturulup cihaza konulan AAA test edilmiştir ve hata oranı ardışık arama ve tesadüfi arama ile karşılaştırılmıştır. Ardışık arama başarılı sonuçlar elde edemezken tesadüfi arama iterasyonlar ilerledikçe yavaşlar. AAA hızlı bir şekilde hata oranını düşürür. Çalışmada uygulanan AAA için HMS=20, HMCR=0,9 ve iterasyon sayıları sırasıyla 100, 1000, 10000 olarak belirlendiğinde AAA'nın bu tip problemlerin çözümünde etkin bir yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Alexandre; Cuadra ve Gil-Pita, 2009, 173-188).

Panchal'ın 2009'daki çalışmasında medikal fizik alanındaki bir örnek üzerinde AAA test edilmiştir. AAA ile hastalara uygulanacak radyoterapinin uygulanma süreci planlanmaktadır. Radyoterapi yapılacak hasta için bir plan sistemi oluşturulmalıdır. Bunun için GA, BT ve DP şimdiye kadar yaygınca kullanılmıştır. Bu yöntemler halen kullanılmaktadır, ancak planı oluşturabilmek için çok uzun hesaplama süresine ihtiyaç duyulmaktadır. Hesaplama süresinin kısaltılabilmesi adına diğer alanlardaki başarıları nedeniyle bu çalışmada plan oluşturma için AAA kullanılmıştır. Çalışmada prostat kanseri vakası için AAA ile plan oluşturulmaktadır. Prostat kanseri için 9 farklı hastada GA ve AAA test edilip karşılaştırıldığında 9 hastada da hem iterasyon sayısı hem de toplam süre bakımından AAA'nın daha yüksek performans sergilediği görülmüştür. Bir iterasyon için ihtiyaç duyulan süre AAA için GA'ya göre çok az miktarda da olsa fazladır, ancak toplam ihtiyaç duyulan iterasyon sayısının daha az olması sebebiyle, yani yakınsama hızı yüksek olduğu için toplamda ihtiyaç duyulan süre GA'dan çok daha azdır. Sonuçlar, medikal fizik alanındaki bu çalışmada AAA'nın GA'ya göre

yakınsama hızı daha yüksek olduğu için başarısını kanıtlamakta ve benzer problemlerde kullanımının uygun olduğunu işaret etmektedir (Panchal, 2009, 189-204).

Coelho ve Bernert'in 2009 yılında yaptıkları çalışmada kesik zamanlı kaotik sistemlerin çözümünde IHS'nin performansı klasik AAA ve GHS ile karşılaştırmıştır. Ulaşılan sayısal sonuçlar ışığı altında bu tip problemlerin çözümünde IHS'nin etkin bir optimizasyon tekniği olduğu ve AAA ile GHS'den daha yüksek doğrulukta sonuçlara ulaşabildiği tespit edilmiştir (Coelho ve Bernert, 2009, 2526-2532).

Fesanghary, Damangir ve Soleimani'nin 2009 yılındaki çalışmalarında bina iskeleti ve tünel ısı değiştiricileri üzerine global hassasiyet analizi ve AAA uygulanmıştır. AAA'nın daha az matematiksel işleme ihtiyaç duyması, karar değişkenleri için iyi bir başlangıç değeri talep etmemesi, stokastik tesadüfi arama yaptığı için yeniden türetme bilgisi istememesi ve çeşitlendirme özelliğinin kuvvetli olması nedeniyle örnek uzayda hiç girilmemiş uygun alanların da aranabilme kabiliyeti olduğu için tercih edildiğini belirten yazarlar elde ettikleri sayısal sonuçları GA ile karşılaştırdıklarında her iki algoritmanın da problemin global optimum düzeyine çok yakın değerlere ulaşarak arama işlemini tamamladığı, ancak AAA'nın çok az miktarda da olsa GA'dan daha iyi bir sonuç elde ettiğini tespit etmişlerdir (Fesanghary; Damangir; Soleimani, 2009, 1026-1031).

2009 yılındaki bir başka çalışmasında Geem pompa eklenmiş su dağıtım şebekelerinin optimum tasarımında AAA'yı test etmiştir. Önceki çalışmalarda mühendislerin içgüdüleri, daha sonra ise matematiksel modellerle çözülen bu problem, meta sezgisel algoritmalarla çözülmeye başlanmıştır, ancak ele alınan uygulamalarda pompa göz ardı edilmiştir. Gerçek hayat problemlerinde ise pompanın su dağıtım şebekelerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Bu çalışmada ise AAA ile pompa eklenmiş bir gerçek hayat problemine çözüm aranmış ve BT ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta AAA'nın daha uygun sonuçlar verdiği ve bu tür problemlerde kullanımının uygun olduğu belirtilmiştir (Geem, 2009b, 211-221).

Geem'in 2009'da yaptığı bir diğer çalışmada PSO ile AAA'nın hibrit bir versiyonu olan PSO-AAA su dağıtım şebekeleri ile ilgili 4 test problemi üstünde sınanıp ulaşılan sayısal sonuçlar GA, BT, Karmaşık Kurbağa Sıçraması (SFL: Shuffled Frog Leaping), KK ve orijinal AAA gibi modellerle karşılaştırılmıştır. Ulaştığı sonuçlar, ileri

sürdüğü hibrit PSO-AAA'nın hem global optimumu yakınsamada daha başarılı olduğunu hem de daha hızlı çalışıp sonuca daha az iterasyonda ulaştığını göstermiştir (Geem, 2009c, 297-311).

2009 yılında Zarei, Fesanghary, Farshi ve diğerlerinin yaptığı çalışmada çok geçişli alın frezeleme problemlerinin minimum maliyet ve maksimum tasarruf ile çözümü AAA kullanılarak yapılmıştır. Yapılan çalışmada AAA kesme derinliği, hızı, besleme gibi parametreleri belirleyerek maliyeti minimize etmeye çalışmıştır. Ele alınan problemin sonuçları GA ile karşılaştırılmış, AAA ile daha yüksek doğrulukta değerler elde edildiği belirlenmiştir (Zarei; Fesanghary; Farshi vd. 2009, 2386-2389).

2009 yılında yayınlanan Kaveh ve Talatahari'nin çalışmasında çok iskeletli tasarımların optimizasyonu problemi için PSO, KK ve AAA hibritleştirilerek yeni bir yöntem elde edilmiştir. Daha önceki çalışmalarda orijinal PSO'nun dengeyi kurmakta zorlandığı, çeşitlendirme ve yoğunlaşma özelliklerinin uygun bileşimini elde etme adına PSO'nun KK ve AAA ile ayrı ayrı hibritleştirildiği ifade edilmiş, bu çalışmada ise üçü birlikte kullanılmıştır. Öne sürülen yöntemle en çok bilinen test problemleri optimize edilmeye çalışılmış, elde edilen sonuçlar diğer optimizasyon teknikleri ile karşılaştırılmıştır. Önerilen hibrit yöntemin yakınsama oranının PSO'dan daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Etkinlik ve güçlülük açılarından başarılı bir tekniktir (Kaveh ve Talatahari, 2009, 267-283).

Ayvaz tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada çeşitli türlerdeki yer altı su kaynaklarının modellenmesi problemlerinin çözümü için AAA kullanılmıştır. Bu problemlerin çözümü için optimizasyon teknikleri entegre edilmiş matematiksel modeller kullanılmaktadır. Birçok çalışmada meta sezgisel olmayan DP, DOP, TP ve DİP gibi matematiksel modellerle çözüm aranmıştır. Bu tip problemlerde temel amaç pompalama miktarının maksimizasyonu, talebe göre pompalama ya da süreç maliyetinin minimizasyonu olabilir. Ama bu problemler doğrusal olmadığı için matematiksel yöntemler istenen sonuca ulaşabilmek için iyi bir başlangıca ihtiyaç duyar. Bu sebeple Ayvaz tarafından yapılan bu çalışmada meta sezgisel bir yöntem olan AAA'nın kullanımı önerilmektedir. AAA'nın performansı aşağıda listelenen üç farklı yeraltı su kaynağı problemi için test edilmiştir (Ayvaz, 2009b, 916-924):

- i. Kaynaktan maksimum su pompalama miktarı.
- ii. Verilen talep miktarına göre tatminkâr pompalama miktarının maliyet minimizasyonu.
- iii. Farklı zamanlardaki farklı talep miktarlarına göre yeterli pompalama miktarının maliyet minimizasyonu.

Ayvaz'ın çalışmasında AAA bu üç farklı amaç için ayrı ayrı test edilip literatürde daha önce elde edilmiş diğer tekniklerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Algoritmanın uygulanması aşamasında HMS=10, HMCR=0,9, PAR=50 olarak kullanılmıştır. Toplam pompalama miktarının maksimizasyonu bakımından AAA global optimumu bulan DP sonucuna en yakın değere sahip BT'den daha iyi bir sonucu çok daha az iterasyonda elde edebilmiştir. Toplam pompalama maliyetinin minimizasyonu açısından ise AAA minimum maliyetle problemi diğer tekniklerden daha hızlı, yani daha az iterasyonla çözmüştür. Farklı yönetim periyotları bakımından pompalama maliyetinin minimizasyonu için AAA diferansiyel dinamik programlamadan (DDP) daha kötü biri sonuca daha fazla iterasyonda ulaşsa da yine de elde edilen tatminkar sonuç diğer optimizasyon tekniklerinden daha iyidir. Ele alınan bu üç örnekte görüldüğü üzere karar değişkeni sayısı arttıkça daha fazla iterasyona ihtiyaç duyulduğundan ileriki çalışmalarda AAA'yı hibritleştirerek kullanmanın daha uygun bir yaklaşım olabileceği sonucuna varılmıştır. Parametrelerin en iyi bileşenin tespiti için çalışmada ayrıca hassasiyet analizine de yer verilmiştir. Yapılan hassasiyet analizi ulaşılan sonuçları iyileştirememekte, fakat ihtiyaç duyulan iterasyon sayısına dikkate değer bir olumlu etkide bulunmaktadır. Bu çalışmada HMS'nin sonucun doğruluğunu etkileyen bir parametre olduğu tespit edilmiştir. HMS parametresinin küçük olması sonucun daha kötü olmasına, büyük olması iterasyon sayısının artmasına sebep olur. Sonuçlar daha önceki çözüm yöntemlerinden daha iyi ya da en az onlar kadar iyi olduğu için AAA'nın yeraltı su kaynaklarının yönetimi problemlerinin çözümünde kullanımının uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Ayvaz, 2009b, 916-924).

2009 yılında yayınlanan çalışmalarında Ayvaz, Kayhan, Ceylan ve diğerleri AAA'nın sürekli mühendislik problemlerindeki performansını arttırmak için çözücü ile AAA'yı birleştirmektedirler. Bu hibrit yaklaşımda global arama işlemini AAA yürütürken, lokal aramadaki performansı çözücü ile arttırmaya çalışmaktadırlar. Yani önce AAA ile global arama yapılır, sonra elde edilen çıktılar çözücünün lokal arama

işlemine başlaması için girdi olarak kullanılır. İleri sürülen AAA-Çözücü tekniği hem diğer yöntemlerle karşılaştırılmış hem de çeşitli parametre düzeylerinde performansı araştırılmıştır. Sonuçta AAA-Çözücü yönteminin diğer stokastik ve deterministik yöntemlerden daha iyi sonuçlara ulaşabilmek için daha az iterasyona ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir (Ayvaz; Kayhan; Ceylan vd. 2009, 1119-1144).

2010 yılında yapılmış çalışmada Kattan, Abdullah ve Salman gözetimli ileri itmeli yapay sinir ağları için AAA kullanan yeni bir yöntem ileri sürmektedirler. Yapay sinir ağları problemlerinde geri yayılım yöntemi kullanılır ama bu yöntem popülasyon temelli olmadığı için ve lokal optimuma yakalandığı için uygun sonuçlara ulaşma garantisi olmaz. Yapay sinir ağı problemleri meta sezgisel yöntemlerle 4 değişkenli lokal optimumu olmayan küçük bir test probleminde sınanmış ve başarılı olmuştur. İleri sürülen bu yöntemde yapay sinir ağı çalışması klasik AAA yerine IHS temelleri üzerine oturtulmuştur. IHS'den farkı, parametrelerin iterasyon sayısına göre doğrusal değişmesine alternatif olarak mevcut iterasyondaki armoni belleğinin en iyisinden en kötüsüne bir oran belirleyip buna göre parametrelerin değişmesi ön görülmüştür. Yeni yaklaşım klasik geri yayılım ve orijinal IHS ile yapay sinir ağlarında test edildiğinde iki AAA yönteminin de klasik yöntemden iyi sonuç verdiğini, önerilen yöntemin ise orijinal IHS'den daha hızlı ve doğru sonuca ulaşabildiğini tespit etmişlerdir. Öne sürülen bu yöntem yapay sinir ağları için parametre belirleme ve ulaşılan sonuçların kalitesi açısından daha uygundur. Yöntemi ayrıca test problemlerinde sınadıklarında çalışma zamanı ve sonuca ulaşmada orijinal AAA'dan ve standart geri yayılım yönteminden daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir (Kattan; Abdullah; Salam, 2010, 105-110).

AAA'nın geliştiricisi olan Geem tarafından 2010 yılında algoritmanın literatürdeki gelişimi üzerine yapılan önemli çalışmalar bir araya getirilmiştir. Bu çalışmada AAA literatürüne başka yazarlar tarafından kazandırılan uygulamalar derlenmiştir (Geem, 2010a).

Zong Woo Geem 2010 yılında yayınladığı kitabın ilk bölümünde AAA'daki güncel gelişmeleri gösteren bir çalışma yapmıştır. Bu makalede Geem AAA'nın kullanım alanlarından ve araştırmacıların örnek durumlar karşısında temel algoritma üzerinde yaptığı ufak değişikliklerle ile algoritmanın daha da kuvvetli bir yapıya sahip olacağından bahsetmektedir (Geem, 2010b, 1-10).

Xu, Gao, Wang ve diğeri 2010 yılındaki çalışmalarında AAA'yı kullanarak toprak ya da kirli yüzeyler gibi çevre koşullarına göre yeniden ayarlanabilir mobil robot prototipi tasarımı yapmışlardır. Çalışmada sadece çevre koşulları değil, bununla birlikte robot performansı ve dengesi gibi faktörler de dikkate alınmıştır. AAA tabanlı uygulanan çok amaçlı optimizasyon modelinin verdiği sonuçlar AAA'nın bu tip problemlerin çözümünde etkin bir teknik olduğunu kanıtlamaktadır (Xu; Gao; Wang vd. 2010, 11-22).

Robotların idaresinde en uygun çalışma yörüngesinin tespitinde SQP modeli sıklıkla kullanılsa da bu modelin iyi sonuç verebilmesi iyi bir başlangıç fonksiyonunun bulunmasına bağlıdır. Tangpattanakul ve Meesomboon 2010 yılındaki çalışmalarında AAA yöntemini kullanarak bu problemlerin iyi bir başlangıç fonksiyonuna ihtiyaç duymadan da çözülebileceğini göstermektedir. Yaptıkları çalışma sonuçlarına dayanarak iyi bir başlangıç fonksiyonu verilmeden iki model karşılaştırıldığında AAA'nın daha iyi sonuçlara ulaştığı görülmektedir. Hatta SQP modelinin AAA ile melezleştirilerek çok daha iyi bir yöntemle ulaşılabileceğini öne sürmektedirler. Bu hibritleştirme işlemi sonucunda AAA'nın önemli rolü SQP modelini global optimuma yakınsamaktır (Tangpattanakul; Meesomboon; Artrit, 2010, 23-36).

Fourie, Mills ve Green 2010 yılındaki çalışmalarında armoni filtresi (HF: Harmony Filter) ismiyle adlandırdıkları orijinal bir sanal takip sistemi öne sürmektedirler. Akan video görüntüsündeki her bir karenin eşleştirilmesi IHS ile yapılarak nesnenin izlemiş olduğu güzergâh takip edilmektedir. Yaptıkları deneyler, öne sürülen HF yönteminin kuvvetli bir şekilde gerçek zamanlı performansını da koruyarak ve ortam zorluklarıyla da baş ederek nesnenin hareketlerini takip edebildiğini göstermektedir. Hız ve doğruluk performans kriteri olarak kabul edilerek, parçacık filtresi (PF: Particle Filter) ve kokusuz kalman filtresi (UKF: Unscented Kalman Filter) gibi popüler metotlar ile HF metodu karşılaştırıldığında HF'nin PF ve UKF yöntemlerinden daha başarılı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Ekrandan takip edilen nesne ön görülemeyen bir nedenle kaybolursa onun yerini tekrar belirleyebilme kabiliyeti bakımından çok daha hızlı karşılık verebilmektedir. Bu avantaj HF'nin genel olarak doğruluk ve performansını arttırmaktadır. Makalede HF yöntemi kötü kaliteli videoda PF ve UKF yöntemleri ile karşılaştırılmış, genel olarak doğruluk ve kaybolan

nesnenin yeniden çabuk bir şekilde tanımlanabilmesi bakımlarından HF diğer iki yöntemden daha iyi sonuçlara ulaşabilmiştir (Fourie; Mills; Green, 2010, 37-50).

Forsati ve Mahdavi'nin 2010 yılındaki çalışmalarında AAA'nın web sayfası kümeleme probleminde uygulaması yapılmıştır. Kümeleme problemi benzer bilgilerin aynı gruplarda farklıların ise farklı gruplarda olmasını sağlayacak bir bölümlendirmenin yapılması problemini ifade etmektedir. Kümeleme problemi web belgeleri konu olduğunda, çok büyük boyut ve geniş içerik farklılıkları nedeniyle çok daha zor bir problem haline dönüşmektedir. Makalede AAA'nın kümeleme problemleri literatüründe daha önce öne sürülen farklı yöntemlerle ve melez yöntemlerle karşılaştırması yapılmış ve başarısı ortaya konmuştur (Forsati ve Mahdavi, 2010, 51-64).

2010 yılında Panigrahi, Pandi, Das ve diğerleri tarafından yayınlanan bir başka çalışmada enerji nakil problemlerinin çözümünde kullanılan klasik yöntemlerin üstesinden gelemediği yapısal sorunları aşmak için bu tür çalışmalarda son yıllarda ağırlıklı kullanılmaya başlanmış olan meta sezgisel metotlardan biri olan AAA'nın kullanımı tercih edilmiştir. Enerji nakil problemlerindeki temel amaç tüketilen yakıt miktarını minimize etmektir. Çalışmayı yürüten yazarlar bu türdeki problemlerin üç farklı maliyet karakteristiği için PSO ile AAA'yı harmanlayarak ortaya çıkardıkları yeni yöntemi test etmişlerdir. Öne sürdükleri hibrit AAA'nın parametreleri; HMS= 50, HMCR= 0,98, PAR= 0,67 ve maksimum iterasyon 100 olarak belirlenip IEEE30 BUS test probleminde sınanmıştır. Elde edilen sonuçlar bu problemin daha önce farklı algoritmalar ile çözümlerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında AAA'nın hızlı yakınsamaya sahip efektif bir yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Panigrahi; Pandi; Das vd. 2010, 65-75).

2010 yılında yayınlanan Coelho ve Bernert'in çalışmasında Bulanık Mantık (BM) optimizasyon yöntemlerinin parametrelerinin belirlenmesi için hem AAA hem de IHS test edilmiş ve ulaşılan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar IHS'nin BM parametrelerinin belirlenmesi problemlerinde orijinal AAA'dan daha başarılı olduğunu göstermiştir (Coelho ve Bernert, 2010, 77-88).

2010 yılında yayınlanan Yıldız ve Öztürk'ün çalışmasında şekil optimizasyonu problemleri AAA ve Taguchi yöntemiyle hibritleştirilerek oluşturulan yeni yaklaşımla çözülmüştür. Şekil optimizasyonu problemlerinde klasik optimizasyon tekniklerinin

makul zamanda uygun sonucu bulamama, global ya da globala yakın optimum sonuç bulamama handikapları nedeniyle meta sezgisel yöntemlerle çözüm aranmaya başlanmıştır. Hibrit yöntemlerin kullanılma nedeni ise hızlı yakınsama, güçlülük ve global optimumu bulma özelliklerinin üçünün bir arada sağlanmasının zorluğu sebebiyle birden fazla yöntemin avantajlarını bir araya getirme gayretidir. Bu çalışma şekil optimizasyonu problemleri literatüründe AAA ile çözüm aranan ilk çalışma olma özelliğindedir. İleri sürülen bu yeni hibrit yöntemin geçerlilik ve etkinliği otomotiv sektöründen ele alınan bir gerçek hayat problemi üzerinde sınanmış ve elde edilen sayısal sonuçlar klasik yöntemler, GA, hibrit GA ve orijinal AAA ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada en ideal sonuçları önerilen hibrit AAA yönteminin sunduğu görülmektedir (Yıldız ve Öztürk, 2010, 89-98).

Fesanghary'nin 2010 yılındaki çalışmasında birçok mühendislik alanında başarıyla uygulanmış bir hibrit AAA yaklaşımı olan AAA-SQP'nin detayları açıklanmış ve kabiliyeti örnekler üzerinde test edilmiştir. Popülasyon tabanlı metotların global optimuma ulaşabilme ve uygun başlangıç noktasına ihtiyaç duymama avantajı olmasına rağmen yavaş ilerlemeleri ve popülasyon tabanlı olmayan yöntemlerin lokal aramada daha hızlı ama iyi başlangıç noktasına bağımlı olmaları araştırmacıları bu yöntemleri birleştirerek kullanma fikrine sevk etmiştir. Bu fikirden yola çıkılarak daha hızlı ve etkin bir araştırma için AAA ile SQP birleştirilmiştir. Bu yöntemde önce AAA uygun bölgeyi tespit eder, devamında SQP devreye girip hızlıca sonuca ulaşır ya da aynı anda ikisi etkileşimli çalışır. Yazarlar, biri yapısal tasarım optimizasyonu, biri elektrik transfer sistemlerinin ekonomikleştirilmesi ve biri de ısı dağıtım şebekelerinin maliyet minimizasyonu olmak üzere üç farklı örnek üzerinde çalışmış ve sonuçlar klasik AAA ve literatürdeki diğer meta sezgisel yöntemlerinin sonuçlarıyla karşılaştırıldığında öne sürülen bu hibrit yöntemin sadece uygun sonucu elde etmede değil, diğer yöntemlere kıyasla daha hızlı elde etmede de başarılı olduğunu göstermiştir (Fesanghary, 2010, 99-109).

Ayvaz 2010 yılında yaptığı çalışmada yer altı su kaynaklarının yönetimi probleminde AAA ile çözüm aramıştır. İklim değişikliği ve hızlı nüfus artışı gibi sebeplerle hızla miktarı ve kalitesi azalan yeraltı su kaynakları toplam su kaynakları arasında hem taze içme suyu hem de endüstriyel kullanım sebebiyle önemli yer tutmakta ve bu sebeple yeraltı su kaynaklarının yönetimi çok önem arz etmektedir. Bu

çalışmada 3 farklı tip yer altı sularının yönetimi problemi hem meta sezgisel yöntemlerle hem de meta sezgisel olmayan yöntemlerle çözümlenip öne sürülen AAA'nın sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Üç örneğin sonuçları değerlendirildiğinde AAA'nın çok az bir farkla diğer meta sezgisel yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiği, üstelik bu sonuçlara daha hızlı yani daha az iterasyonda ulaştığı sonucuna varıldığı için AAA'nın yer altı su kaynaklarının yönetimi problemlerinde etkin bir çözüm alternatifi olduğu belirtilmiştir (Ayvaz, 2010, 110-122).

Cisty 2010 yılındaki çalışmasında sulama endüstrisindeki tasarım ve yönetim problemlerinin çözümünde AAA'nın performansını test etmiştir. Dünya nüfusunun sürekli artmasına paralel olarak tarım sektörünün önemi ve verimliliği artırma araçlarından biri olan sulama sistemlerinin tasarım yönetimi problemleri önem kazanmaktadır. Şimdiye kadar literatürde birçok sezgisel yöntemle gerçek hayat problemlerine çözüm aranmıştır. Burada ise AAA'nın potansiyeli test edilmektedir. Çalışmada Slovakya'nın güney batısında 1960'larda kurulmuş ve neredeyse ekonomik ömrünü tamamlamış KUTY sulama sisteminin parametreleri klasik deneme yanılma yöntemlerinin yerine AAA ile otomatik olarak tespit edilmeye ve ağ basıncı minimize edilmeye çalışılmıştır. Ele alınan örnek sulama sistemi doğal yağmur suyuyla sulamaya benzemektedir. Borulardan oluşan sistemde su havaya püskürtülüp yağmur damlaları gibi yüzeye düşmeleri sağlanmaktadır. Bu tip sistemlerin temel elemanları olarak su kaynağı, sulama alanı, pompa, boru ağı ve püskürtücüler sayılmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen sayısal veriler AAA'nın optimum sonucu verdiğini göstermiş ve su dağıtım şebekelerinin tasarımı problemleri için uygun bir araç olduğunu kanıtlamıştır (Cisty, 2010, 123-134).

Bo, Huang, Ip ve diğerleri 2010 yılındaki çalışmalarında AAA'yi lojistik alanındaki bir optimizasyon probleminde test etmiştir. AAA'nın büyük ölçekli NP-Zor optimizasyon problemlerinin çözümündeki başarısı bu alanda çalışma yapanlar tarafından dikkat çekmiştir. Zaman kısıtını da dikkate alan bir yaklaşım olduğu için 4. parti lojistik (4PL) rotalama stratejileri de üretim ve perakende sektöründe ilgi toplamaktadır. Bu iki ilgi alanı konunun ortaklaşa ele alındığı çalışmada yazarlar 4PL problemlerini optimum zamanda minimize etmeye çalışmış, uygulama olarak 7, 15 ve 30 noktalı örnek tiplerini test etmiştir. 4PL problemleri literatürde daha önce GA ile 7 noktalı ve Dijkstra Algoritması'yla (DA) 7, 15 ve 30 noktalı örneklerde çalışılmış,

ancak bunlarda zaman sınırı dikkate alınmamıştır. Belirli bir zaman çerçevesinde maliyet minimizasyonu yapılmaya çalışılan bu problemlerde matematiksel yöntemler ölçek büyüdükçe optimum sonucu bulamazken, sezgisel yöntemler optimuma yakın sonuçları bulabilmektedir. 3PL'ye göre 4PL de sadece maliyet değil zaman, kapasite, şöhret gibi diğer özellikler de dikkate alınabilmektedir. Belli bir zaman çerçevesinde maliyet minimizasyonu ve müşteri memnuniyet düzeyinin maksimizasyonu sağlanmaya çalışılır. Uygulama aşamasında AAA matematiksel yöntemlerle karşılaştırıldığında 7 noktalı örnekte ikisi de optimum sonuca ulaşılır, ancak AAA 0,6 saniyede, matematiksel yöntem 3 saniyede sonuca ulaşmaktadır. 15 noktalı örnekte AAA 1,5 saniyede sonuca ulaşırken diğer yöntem optimum sonuca ulaşmamaktadır. 30 noktalı örnekte AAA optimum sonucu 23 saniyede bulurken matematiksel yöntem yine sonuca ulaşmamaktadır. Sonuçta elde edilen sayısal veriler analiz edildiğinde rotalama problemlerinin çözümünde AAA'nın etkin bir yöntem olduğu anlaşılmaktadır (Bo; Huang; Ip vd. 2010, 135-145).

Al-Betar, Khader ve Liao tarafından 2010 yılında hazırlanan çalışmada üniversiteler için ders programı hazırlama probleminin çözümünde lokal arama performansı geliştirilmiş bir AAA türevi önerilmiştir. Yıl içerisinde birkaç defa tekrarlanması gereken üniversite ders programı hazırlama problemi eğitim sektöründeki en zorlu idari işlerden biridir. Ders programı hazırlarken bazı zorunlu ve bazı göz önünde bulundurulması arzu edilen isteğe bağlı koşulların sağlanmasına çalışılır. Sadece ders programı hazırlarken değil aynı kısıtlarla sınav programı hazırlarken de karşılaşılmaktadır. Zorunlu koşullara derslerin çakışmaması, sınıfların çakışmaması, kapasitenin yeterli olması verilebilirken sağlanması arzu edilen koşullara ise öğrencilerin günde sadece bir saat dersinin olmaması, son saatlerin boş olması gibi özellikler verilebilir. Bu tip problemlerinin çözümünde grafiksel renklendirme yöntemleri, popülasyon tabanlı sistemler ve lokal arama tabanlı sistemler uygulanmış hatta bu ikisi birleştirilerek bazı hibrit yöntemler öne sürülmüştür. Bu çalışmada ise ton ayarlama işlemine lokal arama yöntemi entegre edilerek çoklu ton ayarlama özelliği elde edilmiştir. Çoklu ton ayarlama ise PAR'ın %10'luk olasılığı ile dersin farklı saate geçmesi, %20'lik olasılığıyla farklı sınıfa geçmesi ile elde edilmiştir. Üç farklı zorluk türü olan bir test problemi üzerinde ileri sürülen yöntem sınanmış, sonuçlar orijinal

AAA ve literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırılmış, önerilen yöntemin en uygun sonuçların bulunduğu tespit edilmiştir (Al-Betar; Khader; Liao, 2010, 147-161).

Mohsen, Khader ve Ramachandram'ın 2010 yılındaki çalışmasında RNA moleküllerinin fonksiyonlarını belirleme problemine AAA ile çözüm aranmaya çalışılmıştır. RNA moleküllerinin fonksiyonlarını belirlemek ağırlıkla onun ikincil yapısına dayanmaktadır. Mevcut fiziki yöntemler çok zaman almakta ve pahalı olduğu için bilgisayarlı tahmin daha iyi bir alternatif olarak görülmektedir. Daha önce DİP ve çeşitli meta sezgisel yaklaşımlarla bu probleme çözüm aranmış, bu çalışmada ise AAA ile bir test problemi üstünde sınama yapıp DİP ile karşılaştırılmıştır. Uygulamada 6 farklı RNA uzunluğu üzerinde çalışılmıştır. AAA'nın parametreleri; HMS= 90, HMCR= 0,95, PAR= 0,3 ve maksimum iterasyon 30-30000 olarak belirlenmiştir. Önerilen yöntemin DİP'ten daha iyi sonuçlara ulaşıldığı tespit edilmiş ama RNA uzunluğu arttıkça AAA'nın arama süresinde meydana gelen artışın da altı çizilmiştir. Ulaşılan sonuçlar AAA'nın bu tip problemlerin çözümünde kullanıma uygun, etkin bir yöntem olduğunu göstermiştir (Mohsen; Khader; Ramachandram, 2010, 163-174).

Geem 2010 yılındaki çalışmasında çizelgeleme problemlerinin çözümü için AAA'yı kullanmıştır. Çizelgeleme projelerini minimum maliyet ve minimum zamanda tamamlamak çok kritik bir faktördür. Tamamlama hızı da maliyeti azaltabilmek için bazı çalışmaların göz ardı edilmesi gerekliliği sebebiyle maliyete yakından bağımlı bir özelliktir. Kısaca bu zaman ve maliyet arasındaki en uygun bileşenin oluşturulduğu bir değiş tokuş sürecine benzetilebilir. Bu çalışmada en iyi değiş tokuş düzeyinin belirlenmesi probleminin üstesinden gelebilmek için AAA kullanılmıştır. Proje planlamadaki en kritik süreç işleri zamanlamadır. Çünkü işlemlerdeki en küçük aksama projenin gecikmesine neden olur. Çoğu zaman da her işlem maliyeti etkileyen bir fonksiyon niteliğindedir. Zaman ve maliyet arasındaki en uygun bileşeni elde etme adına yapılacak seçimlerde zaman-maliyet takas problemlerinde (TCTP: The Time-Cost Trade-Off Problems) uygulanmıştır ki, bu yaklaşım ilk olarak DP, DİP ve TP'de kullanılmıştır. Matematiksel modeller ele alınan örneğin boyutu arttıkça daha çok denemeye ihtiyaç duyar bu da arama süresini çok fazla miktarda artırır. İşte matematiksel modellerin bu dezavantajı yüzünden GA, KK ve PSO gibi yaklaşımlarla TCTP birleştirilerek çözüm aranmış ve optimuma yakın sonuçlara ulaşılabilmektedir. Bu çalışmada ise TCTP ile AAA birleştirilmiştir. Uygulamada seçilen iki test probleminin

sonuçları GA ve KK ile karşılaştırılmıştır. AAA şimdiye kadar küçük boyutlu problemler üzerinde test edilmiş, 15 bağdan oluşan örneğin çalışıldığı bu çalışmayla birlikte algoritmanın büyük boyutlu örneklerdeki başarısı, dolayısıyla NP-Zor problemleri çözebilme kabiliyeti test edilmiştir. Ele alınan iki örnekten ilkinde AAA 7 aktiviteli bir ağda test edilmiştir. HMS= 10, HMCR= 0,90 ve maksimum iterasyon 300 olarak alındığında bir saniyeden az bir sürede AAA global optimum sonuca ulaşırken GA bu sonuca ulaşamamaktadır. İkinci örnekte AAA 18 üyeli karmaşık bir ağda test edilmiş ve KK ile karşılaştırılmıştır. Bu örnekte HMS= 100, HMCR= 0,9 ve maksimum iterasyon 3000 olarak belirlenmiştir. 3000 iterasyon sonunda AAA en iyi sonuca ulaşırken KK 3292, GA ise 20000 iterasyondan sonra daha az başarılı bir sonuca ulaşabilmiştir. Yapılan bu çalışmanın sayısal sonuçları AAA'nın daha karmaşık ve gerçekçi problemlerin çözümünde etkin bir yöntem olduğunu göstermektedir (Geem, 2010c, 711-716).

Kougias ve Theodosiu 2010 yılında yaptıkları çalışmada AAA literatürüne yapılan hem nitel hem de nicel katkıları incelemiştir. Bu değerlendirme; yapılan çalışmaların hangi alanlarda olduğuna yönelik bir sınıflandırma olup, hangi alanda ne ağırlıkta AAA çalışıldığını belirlemeyi amaçlamıştır. Yıllara göre yapılan yayın sayıları incelendiğinde hızlı bir artış seyirden bahsetmek mümkündür. İlk yıllarda algoritmanın gücünü sınamak için öncelikle test problemleri üzerinde yoğunlaşıldığı, daha sonra su dağıtım şebekeleri, yer altı sularının yönetimi gibi gerçek hayat problemleri üzerinde çalışmalar yapıldığı belirtilmiştir (Kougias ve Theodosiu, 2010).

2010 yılında yayınlanan Hasaınçebi, Erdal ve Saka'nın çalışmasında yapısal tasarım problemlerinin çözümünde AAA'nın performansını arttırmak için yeni bir yaklaşım olan Adaptif Armoni Arama Algoritması (AD-AAA) önerilmiştir. Yapısal tasarım problemlerinin çözümünde son yıllarda meta sezgisel yöntemler ağırlıkla kullanılmıştır. Orijinal AAA da farklı yazarlar tarafından küçük ölçekli yapısal tasarım problemlerinde test edilmiş, hızlı ve etkin bir teknik olduğu anlaşılmış, ancak örnek ölçeğini büyütürken testler tekrarlandığında AAA'nın zıt çıktılar ortaya koyduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre orijinal AAA büyük ölçekli yapısal tasarım problemleri için standart altı, etkisiz ve yavaş bir teknik olarak nitelendirilmiştir. Bu çalışmanın hazırlanmasını motive eden düşünce büyük ölçekli yapısal tasarım problemlerinin çözümünde AAA'nın sahip olduğu dezavantajları ortadan kaldırmaya

yönelik geliştirmeler elde edebilmektir. Orijinal AAA'da yeni çözümler vektörü geliştirilirken HMCR ve PAR oldukça etkin iki parametredir. Bu iki parametre iterasyonlar başlamadan önce statik olarak belirlenir. Önerilen AD-AAA tekniğinde iki parametrenin de iterasyonlara paralel olarak adaptif değişimi öngörölmüş, böylece başlangıçta statik parametre belirleme süreci gereksiz hale gelmiştir. Büyük ölçekli iki problem üzerinde önerilen yöntem sınanmış, sonuçları orijinal AAA, GA, TA, KK ve PSO ile karşılaştırılmıştır. Alınan sonuçlar yapılan değişikliğin AAA'yı yakınsama hızı, doğruluk ve etkinlik bakımından pozitif yönde etkilediğini göstermiştir. Yapılan değişiklik sadece AAA'nın performansını arttırmamıştır. Sağlanan artış oranı karşılaştırma yapılan diğer algoritmalarından bile daha iyi sonuçlar elde edebilmesine imkân tanıdığı için büyük ölçekli yapısal tasarım problemlerinde AD-AAA kullanıma uygun etkin bir teknik olarak belirtilmiştir (Hasançebi; Erdal; Saka, 2010, 419-431).

Wang ve Huang'ın 2010 yılında yayınladıkları çalışmada AAA'nın güçlü bir meta sezgisel yöntem olmasına karşın, diğer yöntemlerin üstesinden gelmek zorunda olduğu sıkıntılara benzer problemlerle halen mücadele ettiği belirtilmiştir. Yöntemin performansının algoritmanın parametrelerine çok sıkı bir bağla bağlı olduğu ifade edilmiştir. Parametrelere bu denli bağımlı olmasına karşın parametre belirleme çalışmalarına yönelik araştırmaların yetersiz düzeyde olduğu ifade edilmektedir. Yapılan çalışmaların da değişken sayıları 10 ve daha az olduğu için yanıltıcı sonuçlara sahip olabileceği üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada ise yeni bir AAA yaklaşımı önerilmekte ve bu yaklaşımda algoritma parametrelerinin algoritma tarafından otomatik olarak ayarlanması öngörülmektedir. Kontrol parametrelerinin etkisini ortaya çıkarmak için bir deney seti dikkatlice kontrol edilir. Bu yaklaşımda parametrelerin ton ayarlamasına ihtiyaç duyulmadığı için neredeyse parametresiz bir AAA tekniği önerilmiştir. Önerilen teknik 4 farklı test probleminde AAA, IHS ve GHS ile karşılaştırılmıştır. Sayısal veriler önerilen yeni tekniğin daha iyi sonuçlar verebildiğini göstermiştir (Wang ve Huang, 2010, 2826-2837).

Pan, Suganthan, Liang ve diğerleri 2010 yılında yayınladıkları çalışmada karar değişkenleri için sürekli verilerin kullanıldığı optimizasyon problemlerinin çözümünde AAA'nın dinamik alt popölasyonlu bir türevi kullanılmıştır. Orijinal AAA'da daha küçük boyutlu armoni belleğinin daha iyi sonuç verdiği gerçeğinden yola çıkarak yazarlar küçük boyutlu birkaç bellekle aynı anda çalışmayı tercih etmiştir. Her alt bellek

bağımsız olarak aramasını yapar ve belli bir iterasyon sonrasında bütün değerler karıştırılıp tesadüfi olarak yeni belleklere ayrılır. Alt belleklerin lokal optimuma yakalanmaması ve diğer belleklerin elde ettiği sonuçlardan haberdar olması için aramaya devam edilir. Son aşamada ise her grubun üyeleri arasından en iyi üç çözüm alternatifi seçilip son bellek oluşturulur ve nihai arama sürecine geçilir. Orijinal AAA tekniğinin aksine burada armoni belleği birçok küçük alt belleklere ayrılarak evrim süreci her bellekte bağımsızca yapılmaktadır. Popülasyonun çeşitliliğini sürdürmek için ve nihai sonucun etkinliğini arttırmak için alt bellekler arası bilgi transferi periyodik olarak yapılan planlı yeniden gruplama ile sağlanmaktadır. Lokal aramada elde edilen en iyi sonuçların bilgisi tutulup gruplar arasında paylaşılır. Parametre ayarlama için ayrıca adaptif stratejiler de uygulanmıştır. Öne sürülen yöntemin 4 temel özelliği göze çarpmaktadır (Pan; Suganthan; Liang vd. 2010, 101-117):

- i. Arama belleği küçük boyutlu alt belleklere bölünüp her birinde arama bağımsız olarak yapılır.
- ii. Planlanmış geri birleşmeyle tüm grup üyeleri karıştırılarak elde edilen iyi sonuçlardan diğer gruplardakilerin de haberdar olması sağlanarak popülasyon çeşitlendirmesi yapılmış olur.
- iii. Nihai aramaya iyi sonuçlarla (lokal en iyilerle) başlamış olur.
- iv. Yeni parametre seçme stratejisi ile probleme uygun parametreler belirlenir.

Önerilen AAA türevinin performansını test etmek için 16 adet test problemi üzerinde çalışılmış ve elde edilen sonuçlar aynı problemlerin Orijinal AAA, IHS, GHS ve modifiye edilmiş AAA (MHS: Modified Harmony Search) ile elde edilmiş sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar genel olarak ileri sürülen yöntemin AAA'nın diğer versiyonları ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlara ulaştığı ya da en iyiye yakın sonuçlara ulaşarak rekabet edebildiğini göstermektedir. Bu çalışmada sürekli veriler için örnekler seçilmiş, ileride yapılacak çalışmalarda kesikli veriler için de bu yöntemin test edilebileceği tavsiyesinde bulunulmuştur (Pan; Suganthan; Liang vd. 2010, 101-117).

Cobos, Estupinan ve Perez 2011 yılında yayınladıkları çalışma ile GHS'ye öğrenebilir gelişim modelini (LEM: Learnable Evolution Model) ekleyerek GHS+LEM olarak adlandırdıkları yeni bir AAA türevini önermiştir. GHS+LEM'de yeni çözüm alternatifi geliştirilirken mevcut armoni belleği iyi ve kötü olmak üzere iki gruba ayrılır ve her bir karar değişkeni için daha dar bir alternatif aralığı iyi sonuçlardan yola

çıkılarak öğrenilir ve yeni çözüm üretme aşamasında kullanılır. Böylece yöntem daha hızlı yakınsama kabiliyetine sahip olabilir. Ölçek büyüdükçe diğer algoritmalara nazaran yakınsama hızı dikkate değer bir orandan avantaj sağlar. IHS’de yeni vektör geliştirilirken PAR ve bw parametreleri iterasyon sayısına bağlı olarak dinamik bir şekilde değişir. GHS’de yeni vektör geliştirmede PAR parametresi kullanılacağı zaman o değişken için armoni belleğindeki en iyi değer doğru kabul edilip seçilir. GHS+LEM algoritmasında ise armoni belleğinden yüksek ve düşük performanslı iki grup oluşturulup her bir değişken için sürekli verilerde seçme aralığı daraltılır. Bu yüksek performanslı gruplardan öğrenilerek yapılır. İleri sürülen teknik 15 test problemi üzerinde çeşitli parametrelerde test edilip doğruluk ve hızlilik bakımından Orijinal AAA, IHS ve GHS ile karşılaştırılır. Yapılan testlerin sonucunda, GHS+LEM’in diğer algoritmalara göre 3-4 kat daha az deneme ile en iyi çözüme yakınsama kabiliyetine sahip olduğu tespit edilmiştir (Cobos; Estupinan; Perez, 2011, 2558-2578).

Zou, Gao, Li ve diğerleri 2011 yılında yayınladıkları çalışmayla hassasiyet problemlerinin çözümünde etkin olan Global Armoni Arama Algoritması’nı literatürde çalışılmış olan bazı test problemleri üzerinde sınımışlardır. Elde ettikleri sonuçlardan yola çıkarak yazarlar bu teknikle yakalanan doğruluk oranının literatürde belirtilen çalışmalardan çok daha yüksek olduğunu ifade etmektedirler. Yazarlar yöntemin yüksek keşif kapasitesinin çözüm uzayında tüm iterasyonlar boyunca tesadüfi seçim yapmasından dolayı olduğunu ön plana çıkarmaktadırlar (Zou; Gao; Li vd. 2011, 4642-4648).

Kayhan tarafından 2011 yılında 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı’nda sunulan bildiride Eurocode-8 ivme kaydı seti oluşturma probleminde AAA kullanılmıştır. AAA’nın en iyi sonucu verebilmesi için 3 tür zemin için Avrupa Kuvvetli Yer Hareketleri veri tabanından alınan sismik hareket verilerinden yola çıkıp, belirlenen 5 farklı parametre seti için algoritma test edilmiştir. AAA’nın matematiksel modeli kurulurken Eurocode-8’in zorunlu kriterleri ceza değerleri olarak belirlenmiş, böylece algoritmanın ulaştığı her sonuç EuroCode-8’e uyumlu olma özelliğine sahip olabilmektedir. Elde ettiği sonuçlar ölçeklendirilmemiş ivme kaydı seti oluşturmada AAA’nın kullanıma uygun bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur (Kayhan, 2011).

Başkan ve Haldenbilen 2011 yılında ele aldıkları çalışmada trafik atama problemlerinin çözümünde KK ve AAA’yı karşılaştırılmıştır. Test için ele alınan

örnekte bir başlangıç, bir bitiş, beş bağ ve üç adet farklı güzergâh bulunmaktadır. Minimum maliyetle yolculuğun tamamlanması amaçlanmaktadır. Elde edilen sonuçlar AAA'nın en iyi sonuca yakın bir sonucu KK'dan %75 daha hızlı bir şekilde verdiğini göstermesine rağmen, KK'nın bulduğu çözüm alternatifi AAA'nın çözümünden daha iyidir. Yazarlar gelecek çalışmalarda daha büyük ölçekli ve sıkışık trafik örneklerinde KK ve AAA'nın test edilmesini önermektedirler (Başkan ve Haldenbilen, 2011, 55-74).

Wang, Pan ve Taşgetiren 2011 yılında akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde TA ve Nawaz-Enscore-Ham (NEH) ile hibritleştirilmiş bir GHS tekniğinin performansını test etmiştir. Akış tipi çizelgeleme problemleri Bu tip problemleri çözmek için daha önce GA ve Hibrit GA yöntemleri kullanılmıştır. Akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için ele alınan örnek problem diğer tekniklerle karşılaştırıldığında neredeyse her ölçekte daha iyi sonuçlara ulaşabilmiştir. Elde edilen sayısal sonuçlar ışığında akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde test edilen hibrit AAA'nın kullanımının uygun ve etkin bir yöntem olduğu tespit edilmiştir (Wang; Pan; Taşgetiren, 2011, 76-83).

Mashinchi, Orgun, Mashinchi ve diğerleri bulanık doğrusal regresyon için 2011 yılında yaptıkları çalışmada TA ve AAA'yı birleştirerek hibrit bir yaklaşım elde edilmiştir. Klasik regresyon bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi anlayıp keşfetmeye çalışır. İleri sürülen bu yöntemde önce TA çalışıp optimuma yakın sonuç bulunur; sonra devreye AAA girer ve lokal arama yapılır. Meta sezgisel yöntemlerin en önemli bileşenleri olan farklılaştırmayı TA, derinlemesine arama işlevini ise AAA üstlenir. Bu çalışmada TA'nın seçilme sebepleri; popülasyon tabanlı olmaması sebebiyle noktadan noktaya hareket etmesi, daha önce test edilmiş çözüm uzayı noktalarını unutmaması nedeniyle tekrar o alanları araştırmaması ve dolayısıyla hızlı olmasıdır. AAA'nın seçilme nedeni; tüm popülasyonu kullanarak yeni vektör üretmesidir. Önerilen yöntemin mevcut yönteme göre en büyük farkı türevlenebilirlik ya da süreklilik gibi varsayımlara ihtiyaç duymamasıdır. Bu çalışmayla elde edilen sayısal sonuçlar incelendiğinde, önerilen yeni yaklaşımın başarısına dikkat çekilmiştir (Mashinchi; Orgun; Mashinchi vd. 2011, 432-448).

Al-Betar, Khader ve Gani 2012 yılında yayınlanan çalışmada AAA'nın üniversite ders programı hazırlama problemlerindeki kabiliyetini test edilmiştir. Ele alınan problem AAA ile çözülürken alternatif çözümler vektör şeklinde değil matris

şeklindedir. Yani her bir çözüm vektörü bir matristir. Bu sebeple çözüm matrisi olarak adlandırılmıştır. Çalışmada AAA standart ders programı test problemine uygulanmış ve alınan sonuçlar AAA'nın bu alanda yapılmış diğer çalışmalarda öne sürülen yöntemlerle yarışabilir bir yöntem olduğunu göstermiştir (Al-Betar; Khader; Gani, 2012, 3-31).

Değertekin 2012 yılında yayınladığı çalışmasında AAA'nın iki yeni türevini önermiştir. Efektif Armoni Arama Algoritması ve Özuyumlu Armoni Arama Algoritması olarak isimlendirilen bu yöntemlerin klasik AAA'dan en büyük farkı; arama sürecinde kullanılan parametrelerin dinamik olarak değişmesidir. İleri sürülen yöntemlerin klasik AAA'ya göre en önemli avantajlarının gelişmiş yakınsama davranışı ve sağlamlığı olduğunu belirtilmiştir. Yazar, giriş iskeleti boyutlandırma problemi üzerinde test ettiği Efektif Armoni Arama Algoritması ve Özuyumlu Armoni Arama Algoritması'nın klasik AAA'dan daha üstün olduğunu elde ettiği sonuçlara dayanarak ileri sürmektedir (Değertekin, 2012, 229-241).

Kayhan 2012 yılında yayınlanan çalışmasında deprem bölgelerine yapılacak binalar hakkındaki yönetmeliğe uygun olarak gerçek sismik verilerden yola çıkarak veri kaydı seti oluşturma işlemini AAA ile elde edilmeye çalışılmıştır. Yönetmelikte “en az 7 set oluşturulup ortalaması alınır” sınırlaması varken bu çalışmada 10'lu ve 15'li setler üzerinde çalışılmıştır. Yeterli verisi bulunan 4 zemin türünün 3'ünde yönetmelikteki sınırlamaların hepsi sağlanabilmiştir. Yazar göre; iterasyon sayısını sabit olarak verilmek yerine durma koşulu olarak “kısıtların sağlanması” seçilmiş olsaydı, kısıtları sağlayan örneklerde daha düşük iterasyonlarda sonuca ulaşılabilir, sınırları sağlamayan örnekte denemelerin bir süre daha devam etmesiyle kısıtların tamamının sağlanması beklenebilir. Çalışmada AAA'nın ivme kaydı seti oluşturmak için kullanılacak bir teknik olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Kayhan, 2012, 5751-5775).

Kaveh, Abadi ve Moghaddam 2012 yılında yayınladıkları çalışmalarında fabrika içi yerleşim düzenlemesi problemini AAA ile çözmüştür. Algoritmayı biri yeni kurulan diğeri ise halen çalışan iki yerleşim düzenlemesi probleminde test edip sonuçlarını alternatif meta sezgisel yöntemlerle karşılaştırmışlardır. Algoritmanın performansını test ettikleri fabrika içi yerleşim düzenlemesi NP-Zor problemlerden sayılan bir minimizasyon problemidir. AAA'nın matematiksel olarak kolay kodlanabilmesi, patlayıcı arama kabiliyeti sayesinde sahip olduğu esneklik ve iyi bir başlangıç setine ihtiyaç duymama avantajları tercih edilme sebebidir. Birinci örnekte

toplam 11 istasyondan oluşan bir yerleşim düzenlemesinde hatlar arası toplam taşıma maliyetini minimize edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada Kaveh, 11! 'den oluşan olası çözüm uzayından uygun bir sonucu 739 denemede elde edebilmiş ve karşılaştırma yaptığında çözüm maliyetinin GA ve diğer yöntemlerden daha iyi olduğunu gözlemlemiştir. Çeşitli parametrelerde algoritmayı çalıştırarak AAA parametreleri için hassasiyet analizi yapmış ve en uygun parametre bileşenini tespit etmiştir. İkinci örnekte ise mevcut bir yerleşim düzenlemesi optimize edilmeye çalışılmıştır. Sadece maliyet açısından değil, kişilerin harcadıkları zaman, şirket ve departmanların itibarı gibi konuları da dikkate alarak yaptıkları bu optimizasyon çalışması sonucunda mevcut düzenden daha uygun bir yerleşim bileşeni sunabilmişlerdir. Nihayetinde fabrika içi yerleşim düzenlemesi problemleri için AAA'nın etkin ve kuvvetli bir yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Kaveh; Abadi; Moghaddam, 2012).

Yadav, Kumar, Panda ve diğerleri tarafından 2012 yılında yayınlanan çalışmada ufak ton ayarlamaları ile daha iyi bir armoni elde etmek amacıyla arama sürecinin devam ettirilmesini esas alan akıllı ayarlanmış AAA (ITHS: Intelligent Tuned Harmony Search) olarak adlandırılmış yeni bir AAA türevi öne sürülmüştür. Popülasyon tabanlı bir meta sezgisel optimizasyon algoritması olan AAA'nın farklı türevleri ileri sürülmüş olsa da çok çeşitli problemlerin üstesinden gelebilme konusunda hala tatminkar bir düzeye ulaşmış olduğu söylenemez. AAA türevlerinin performansı temel olarak algoritmanın farklı parametrelerinin seçimine çok kuvvetli bir şekilde bağlıdır. Meta sezgisel algoritmaların etkinliği yoğunlaşma ve çeşitlendirme gibi iki ana bileşen tarafın yönetilmektedir. Yoğunlaşma lokal aramayı detaylandırırken, çeşitlendirme ile çözüm uzayının kontrol edilmemiş alanları da test edilir. Bu iki bileşen arasındaki uygun dengeyi sağlamak algoritmaların üstesinden gelmesi gereken en önemli sorundur. Eğer yoğunlaşmanın oranı fazla olursa lokal optimuma yakalanma riski artarken, çeşitlendirme oranının fazlalığı algoritmanın ilerleme sürecini yavaşlatacaktır. Bu çalışmayla yoğunlaşma ve çeşitlendirme stratejilerinin en uygun bileşenini elde edebilmek için arama süreci sırasında ton ayarlama parametresinin en uygun düzeyinin otomatik belirlenmesi stratejisi uygulanmaktadır. Önerilen ITHS'nin performansını elbette HMS ve HMCR gibi diğer parametreler de etkileyeceği için ayrıca bu parametrelerin performans üzerindeki etkileri incelenmiştir. ITHS yönteminin en büyük avantajı PAR ayarlamaya gerek olmaması, en uygun PAR oranının otomatik

ayarlanmasıdır. Bu yöntem karar verme stratejisinin AAA'ya entegre edilmiş halidir. Hafızadaki en iyi çözüm alternatifi karar verme sürecinde lider olarak atanır. Yoğunlaşma ve çeşitlendirmeyi sağlamak için bellek iki alt gruba ayrılır ve daha iyi sonuçların olduğu ilk kısım yoğunlaşma ve çeşitlendirmeden sorumlu tutulurken ikinci grubu sadece çeşitlendirmeden sorumlu tutulur. PAR oranı her iterasyonda azalacak bir şekilde şu denkleme göre belirlenir (Yadav; Kumar; Panda vd. 2012, 47-72):

$$PAR_{iter} = PAR_{max} - (PAR_{max} - PAR_{min}) \cdot \left(\frac{iter}{maxiter} \right)$$

ITHS'nin performansı 17 test problemi üzerinde AAA'nın farklı türevleri ile karşılaştırılarak test edilmiştir. Ayrıca çok fazla karar değişkeni bulunan büyük ölçekli problemlerdeki kararlılığı da araştırılarak ölçeklenebilirlik çalışması yapılmıştır. Uygulama örneklerinde HMCR= 0,99, HMS= 10 olarak kullanılmıştır. Elde edilen sayısal sonuçlar ileri sürülen ITHS'nin doğruluk, yakınsama hızı ve güçlülük/sağlamlık bakımından klasik AAA, GHS, IHS, MHS ve EHS gibi diğer AAA türevlerinden üstün olduğunu göstermiştir (Yadav; Kumar; Panda vd. 2012, 47-72).

2.2. Takım Kurma Problemleri İle İlgili Çalışmalar

Boon ve Sierksma 2003 yılında yayınladıkları çalışmada futbol ve voleybol için takım kurma problemini incelemiştir. Spor ve insan kaynakları alanındaki en önemli problemlerden biri takımdaki boş pozisyonları doldurarak takım performansını arttırmak için yapılan yeni eleman izleme ya da avcılığı faaliyetidir. Her bir elemanın beklenen performansı gösterebilmesi için en uygun yerde görevlendirilip görevlendirilmediğinin sezgi ve sağduyu sayesinde yapılabildiği görüşü hâkimdir. Bu çalışmada önerilen modelle hesaplamalar yapılarak takım kurma çalışmalarının desteklenebileceği vurgulanmaktadır. Bu konuda futbol ve voleybol alanlarında takım kurma üzerine modeller tasarlanmıştır. Futbolun seçilmesinin sebebi takım kurmanın birkaç kısıta dayanması, voleybolun ise sabit pozisyon düzeninde olmaması ve pozisyonlar arası oyuncuların daha fazla ilişki içinde olması nedeniyle daha karışık bir yapıda olmasıdır. Çalışmada takım kurma süreçleri sezgisel yöntemlerden ziyade matematiksel modellerle desteklenmeye çalışılmaktadır. Bu destek çalışması yapılırken teknik ekibin çok önemli bir rolü olduğunun altı çizilmiştir. Ele alınan örneklerde karar

değişkenlerinin değerleri objektif değil teknik direktörün görüşünden yola çıkarak sübjektif yöntemlerle temin edilmiştir (Boon ve Sierksma, 2003, 277-292).

Atkinson ve Rojas'ın 2009 yılında yaptığı çalışmada robot futbol takımlarının oyun stratejisini oyun sürerken dinamik olarak belirlemek için yapay sinir ağı çalışması yapılmıştır. Robot futbol takımlarında oyunun gidişatına göre strateji belirlemek insanlardan oluşan takımlardaki kadar kolay değildir. Literatürde de bu yönde derinlemesine bir çalışma yapılmadığı için şimdilik dinamik strateji değişikliği sadece topun mevcut konumuna göre yapılmaktadır. Önceki çalışmalarda takım arkadaşının konumuna ya da rakip oyuncunun konumuna göre strateji belirlemeye çalışılmıştır. Bu çalışmada ise bir koç tarafından defansif ve ofansif olarak oyun stratejileri belirlenmiş, mevcut ve önceki maç deneyimlerinden yola çıkarak basit bir yapay sinir ağı oyun parametrelerini tespit için uygulanmıştır. Bu sayede yeni oyun stratejileri belirlenebilmiştir. Belirlenen bu stratejiler robot futbol takımı tarafından oyun esnasında dinamik olarak uygulanabilmiştir. Testler ve ortaya konulan modellerin sonuçları bu yaklaşımın güvenilirliğini göstermiştir (Atkinson ve Rojas, 2009, 6082-6090).

Strnad ve Guid'in 2010 yılında yayınladığı çalışmasında eğitim, spor ya da iş hayatı açısından optimum takım düzeninin kurulmasının önemini belirtilmiştir. Bu tip problemlerin çözümünde BM, Analitik Hiyerarşi (AH) ve DP gibi teknikler daha önceki çalışmalarda kullanılmıştır. Bu çalışmada ise BM ve GA birlikte kullanılarak daha önce bu konuda yapılan çalışmalara alternatif çok daha pratik bir yaklaşım ortaya konabilmiştir (Strnad ve Guid, 2010, 1178-1187).

Agustin, Salcedo-Sanz, Ortiz-Garcia ve diğerlerinin 2011 yılında yaptığı çalışmaya göre birçok işletme ve organizasyon açısından insan kaynaklarının doğru yönetimi başarının temel anahtarlarından birisidir. Bu alanda literatüre göz atıldığında proje yönetim takımlarının düzeni, çok fonksiyonlu işgücünün düzeni ya da öğrenim düzeyi artırma amaçlı öğrenci grupları için çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalarda genellikle bir lider ve üyelerden oluşan takımın beklenen performansı üzerine yoğunlaşma söz konusudur. Bazı organizasyonlardaki takımlar için bir lider konumlandırılması yapılmadığı durumlar da mevcuttur. Grup teknolojisi kavramı; organizasyon birbirinden bağımsız gruplardan meydana gelir ve her grup kendine atanan ürün grubunun üretiminden sorumlu tutulur diye açıklanabilir. Grup teknolojisi problemlerinin çözümü için daha önceki çalışmalarda GA ile planlama çalışması

yürütülmüştür. Daha önceki çalışmalarda ayrıca BM'nin kullanımı da görülmektedir. Bu çalışmada ele alınan problem farklı becerileri olan üyeleri temel konulardaki bilgi düzeylerine göre gruplara atayıp kaliteyi arttırmaya çalışma olarak nitelendirilebilir. İleri sürülen GA yaklaşımı ile İspanya'daki bir üniversitenin grup teknolojisi problemi ele alınmıştır. Burada 61 öğretici ve 65 adet konu yer almaktadır. Her öğreticinin hangi konularda bilgisinin bulunduğundan yola çıkarak yöntem test edilmiş ve sonuçta 15 grup tespit edilmiştir. Her grupta yer alan öğretici ve o gruptakilerin bilgi sahibi oldukları konu başlıkları da ileri sürülen teknikle ayrıca belirlenebilmiştir (Agustin; Salcedo-Sanz; Ortiz-Garcia vd. 2011, 484-495).

Şahin'in 2011 yılındaki çalışmasında ifade ettiği gibi takım oluşturmada karşılaşılan zorluklar; zamanın kısıtlı olması, takım üyeleri arası davranış eğilimi problemleri ve sınırlı proje konusu olarak sıralanabilir. Yazılım mühendisliği derslerinde dersi yürütenlerin daha hızlı ve adil bir şekilde uyumlu takımlar oluşturabilmesi için 2011 yılında yayınlanmış bu makalede yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Burada oda arkadaşı belirleme probleminin geliştirilmiş bir yolu ile takım kurma problemine çözüm aranmıştır. Önerilen model öğreticinin isteklerini ve öğrencilerin özelliklerini dikkate almaktadır. Geliştirme takım üyelerinin seçimlerinin dikkate alınması ile takım uyumu, takım başarısı ve takımdaki problemlerin sınırlandırmasında yararlar sağlamıştır. Ayrıca burada takımların tesadüfi olarak oluşturulduğunda, öğretmen tarafından oluşturulduğunda ve öğrenciler kendi başlarına oluşturduğunda projeye ve takım performansına katkısı araştırılmıştır. 3 yıl içindeki 5 semestr üzerinde toplam 67 takım incelenmiştir. Takım oluşturmada ele alınan örnek hem 3 metotla hem de önerilen algoritma ile çözümlenmiş sonuçların karşılaştırması yapılmıştır. Önerilen teknikte dönem başı her öğrencinin diğer öğrencileri puanlaması için bir form doldurtulmuştur. Boş bırakılan yerlerdeki öğrenciler için en son verilen puan kabul edilir ve puan matrisi veri tabanına aktarılıp algoritma tarafından her öğrencinin bir gruba atanması istenir. Elde edilen sonuçlar diğer metotlarla karşılaştırıldığında önerilen tekniğin daha iyi olduğunu göstermektedir. Ayrıca gruptaki kız/erkek öğrenci farklılıklarının başarı üstündeki etkisi test edilmiş ve anlamlı bir fark görülebilmiştir (Şahin, 2011, 916-922).

2012 yılında Jager ve Schöllhorn'un yayınladığı çalışmada voleyboldaki farklı oyun taktik varyasyonları dünya şampiyonasında mücadele eden 6 farklı kadın milli

voleybol takımı için 120 değişik standart oyun duruşu üzerinde analiz edilmiştir. Her takımdan 20 farklı duruş seçilmiş, savunmanın şekli başlangıç ve bitiş olmak üzere istatistiki olarak takip edilmiştir. Yapılan şekil analizi sonucunda defansın başında oluşturulan şekillerde takımlar arası dikkate değer farklılıklar tespit edilmiştir. Bitişe göre başlangıç pozisyonları çok daha fazla varyasyon göstermiştir (Jager ve Schöllhorn, 2012, 303-317).

2013 yılında Tavana, Azizi ve Behzadian tarafından yapılan çalışmaya göre bir takımın başarısı ya da başarısızlığı sahip olduğu oyuncuların kabiliyet ve yeteneklerine bağlıdır. Çok oyunculu sporlarda oyuncu seçme ve formasyon oluşturma takımın etkinliğini belirleyen çok kriterli karmaşık bir problemdir. Futbol takımında genellikle bu seçme ve formasyon belirleme işlemi eldeki bilgilere göre teknik direktör tarafından yapılır. Teknik direktörlerin bu işlemi yapması için destekleyici çalışma ve analizler çok sınırlı düzeydedir. Yazarların çalışmasında oyuncu ve formasyon seçimi için iki yöntem önerilmiştir. İlkinde bulanık puanlama ile oyuncular aldıkları toplam puana göre sıralanıp en yüksek puanlılar takıma eklemektedir. İkincisinde ise BM sistemi ile alternatif kombinasyonlar oluşturup en iyisi seçilmektedir. Oyuncu seçimi birçok bakımdan zor bir iştir. Seçim sırasında teknik direktör oyuncunun bireysel becerisini, performans istatistiklerini, oyuncular arası uyumu, fiziksel yeterliliği, psikolojik faktörleri ve oyuncunun sakatlık düzeyi gibi faktörleri dikkate alır. Bazı teknik direktörler bu faktörlere çeşitli ağırlıklar atayıp seçim işlemindeki etkinliklerini buna göre belirler. Literatürdeki takım kurma çalışmaları çoğunlukla iş ve endüstri alanlarında yoğunlaşmıştır. Birçok takım kurma çalışmasının şu 5 ana öge etrafında birleştiği görülmektedir (Tavana; Azizi; Behzadian, 2013, 97-110):

- i. Ölçeklenebilir açık hedef.
- ii. Tarafsız bir yönetim.
- iii. İşgücünü bölümlere ayırma.
- iv. Test etme.
- v. İletişim.

Literatürdeki takım üyesi seçimi ve formasyon belirleme çalışmalarının çoğu iş ve endüstri alanındayken spor alanında oldukça az çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada futbol takımları için oyuncu seçimi ve formasyon belirleme probleminin çözümünde BM sistemi önerilmiştir. Önerilen yöntemde belirlenen kriterler ve ağırlıklar

çerçevesinde her oyuncu için bir pozisyon puanı hesaplanır. Her bölge için (defans, orta saha ve forvet) en iyi alternatif 3 oyuncu kombinasyonu belirlenir ve teknik direktöre sunulur. Bu aşamada teknik direktöre uygun olmayan kombinasyonları düzeltme şansı vermek için ayarlama yapma imkanı tanınır. Tavana, Azizi ve Behzadian'ın çalışmasında İran'da faaliyet gösteren Parsan futbol takımı üzerinde bir uygulama yapılmıştır. Çalışmada kaleciler göz ardı edilip 20 oyuncudan 10 tanesinin seçimi yapılmaya çalışılmıştır. Bu 20 oyuncudan 7 tanesi defans, 8 tanesi orta saha ve 5 tanesi de forvet oyuncusudur. Teknik direktör dünyadaki en popüler ve dengeli diziliş olan 4-4-2 formasyonunu belirlediği için 4 defans, 4 orta saha ve 2 forvet oyuncusu seçilmelidir. Takımın koçları toplam 18 kriter belirlemiş ve bu kriterleri hem oyuncu hem de pozisyonlar için 4'lü ölçekle (Zayıf, idare eder, iyi, çok iyi) değerlendirmişlerdir. Aynı kriterler için 5'li ağırlık ölçeği (önemsiz, çok önemli değil, normal, önemli, çok önemli) değerlendirmeye dâhil edilmiştir. Değerlendirme sonucunda her oyuncunun 3 farklı bölge için puanı hesaplanıp her bölge için en yüksek puanlı 3 farklı kombinasyon belirlenir ve ortalama puanlarına göre sıralamaya tabi tutulur. Belirlenen bu puanlara göre en iyi kombinasyon belirlendikten sonra teknik direktör oyuncunun son iki maçında takım arkadaşları ile ilişkisini ve son on maçta oynama sayısını dikkate alarak formasyonun ayarlama işlemini yapar. Uygulamada her pozisyon için teknik direktör %60 oranında belirlemeye etkide bulunmuştur. Bu çalışmaya yüksek düzeyde doğruluk sunulmamıştır. Teknik direktörlere oyuncu seçimi ve formasyon belirleme konularında destek vermeye çalışılmıştır. Halen subjektif veriler kullanılmakta olduğu için objektif verilerin kullanıldığı yaklaşımlar daha uygun olacaktır (Tavana; Azizi; Behzadian, 2013, 97-110).

3. BÖLÜM: FUTBOL TAKIMI KURMA PROBLEMİNİN ARMONİ ARAMA ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜMÜ

Takım kurma ya da başka bir ifadeyle takım oluşturma problemlerinin kapsamı çok geniştir. Hangi sektörde olduğu fark etmeksizin bir firma açısından takım kavramı ile belirli amaçları yerine getirmek için kurulan ufak çalışma grupları kastedilmektedir. Belirlenen amacı en iyi şekilde gerçekleştirecek personel grubunun belirlenmesi firma açısından bir takım kurma problemidir. Fakat takım kurma ifadesiyle insanların aklında oluşan ilk çağrışım, hiç kuşkusuz takım sporları açısından takım oluşturmaktır. Spor dalları açısından takım kurma ile amaçlanan aslında firmaların takım kurma çalışmalarındaki beklentilerinden farklı değildir. Amaç, belirlenen hedefi en iyi şekilde elde edebilecek personel grubunu belirlemektir. Bu çalışmada takım sporları açısından bir takım kurma problemi ele alınmıştır (Strnad ve Guid, 2010, 1178-1187) (Agustin; Salcedo-Sanz; Ortiz-Garcia vd. 2011, 484-495).

Futbol, basketbol ya da voleybol gibi büyük kitlelerin ilgisini çeken takım sporları, çok büyük ekonomik hacimlere ulaşan birer endüstri haline gelmiştir. Forbes dergisinin 2014 yılı için yaptığı “Dünya’nın En Değerli 50 Spor Kulübü” araştırmasının sonucuna göre; sadece dünyanın en değerli 50 kulübünün piyasa değerleri toplamı 66.997.000.000 \$’dır (Badenhausen, 2014).

Takım sporları içerisinde dünya genelindeki popülaritesini ve ekonomik büyüklüğünü dikkate alacak olursak, futbolu bir adım öne çıkartmak gerekir. Çünkü ekonomik büyüklük açısından Forbes Dergisi’nin yaptığı en değerli kulüpler araştırmasında 2014 yılında ilk 3 sırayı Real Madrid (3,440 Milyar \$), Barcelona (3,200 Milyar \$) ve Manchester United (2,810 Milyar \$) futbol kulüpleri almaktadır. Toplamda 8 futbol kulübünün girmeyi başardığı bu listede, 3 Milyar \$ piyasa değerini sadece futbol kulüpleri aşabilmiştir (Badenhausen, 2014).

Popülerlik açısından “sporteology.com” internet sitesinin yaptığı “Dünya’nın En Popüler 10 Sporu” başlıklı araştırmaya göre futbol bütün dünya genelinde 3,3 ila 3,5 milyar takipçi sayısı ile ilk sırada yer almaktadır (Mughal, 2015). Benzer amaçlı bir araştırmayı dünya genelinde yayın yapan spor sitelerindeki spor dallarının haberlerinin takip sayılarını inceleyerek yapan “www.biggestglobalsports.com” internet sitesine göre futbol yine en popüler spor dalıdır (WEB_1., 2015). Aynı internet sitesinin ülkelere göre yaptığı araştırmada Türkiye için yine futbol en popüler spor dalı olarak görülmekte, futbolu sırasıyla basketbol, voleybol, tenis, atletizm, formüla 1, bisiklet, güreş, ralli ve boks takip etmektedir (WEB_2., 2015).

En fazla ilgi gösterilen takım sporu olması ve yine en büyük ekonomik büyüklüğe sahip spor dalı olması nedeniyle bu çalışmada bir futbol takımı için takım kurma problemi ele alınmıştır.

Ekonomik hacimleri bakımından bu kadar yüksek miktarlardan söz edilmesine rağmen, takım sporlarında alınan kararların sadece başkan, menajer ya da teknik direktör gibi karar verici konumdakilerin kişisel görüş ve deneyimlerine dayanması subjektif bir yönetim tarzıdır. Futbol için kararlar bu şekilde verildiğinde, alınan kararlarda objektif bir yaklaşımın yeterli düzeyde olmaması büyük umutlarla transfer edilen bir futbolcunun takıma uyum sağlayamaması ve bir anda takım içindeki “kötü adam” damgasını yemesiyle sonuçlanabilir. Bir futbolcunun takım için en fazla yarar sağlayabileceği pozisyonda değerlendirilmemesi, katkısının yetersiz olduğu bir pozisyonda kullanılması ya da hiç oynatılmaması gibi istenmeyen kararlar kuşkusuz takımın genel performansının kayda değer oranda olumsuz etkilenmesiyle sonuçlanacaktır. Alınacak bu yanlış kararların takımların ekonomik yapılarına da zarar vereceği gerçeği karar alıcıları bu kararları alma esnasında yardıma muhtaç hale getirmiştir (Boon ve Sierksma, 2003, 277-292) (Strnad ve Guid, 2010, 1178-1187).

Karar alıcılar verdikleri kararlarda hata yapmamak için karar destek sistemlerine ihtiyaç duyar. Bu sayede takım için çalışan profesyonel ekibe yeni bir oyuncu transfer etme, takımın oynayacağı oyun sistemini belirleme, belirlenen sisteme göre oynatılacak oyuncuları seçme ve pozisyonlara yerleştirme ya da takımın yetersiz bölgelerinin tespitiyle transfer politikalarının belirlenmesi konularında destek olma imkânı doğacaktır. Sağlanan bu yardımlarla dolaylı da olsa yanlış kararların verilmesi

önlenerek takımın ekonomik olarak zarar görme ihtimali düşürülebilecektir (Boon ve Sierksma, 2003, 277-292).

Günümüzde yaygın olarak karar destek sistemi niteliğinde kullanılan araçlar ne yazık ki genel anlamda takım ve bireysel anlamda oyuncu istatistiklerinin tutulmasından fazlası değildir. Karar alıcıların sadece bu istatistiki verileri kullanarak çıkarımlar yapması ve objektif kararlar alınmasını beklemek gerçekçi değildir. Bu noktada karar destek sistemi adı altında kullanılan takım ve oyuncu istatistiklerinin daha objektif bir yaklaşımla kullanılması gerekmektedir (Boon ve Sierksma, 2003, 277-292).

3.1. Problemin Tanımlanması

Bu çalışmada istatistiki verilerden yararlanarak seçilen hedef doğrultusunda karar vericilere destek sağlanmaya çalışılmıştır. Oluşturulan karar destek sisteminin çok amaçlı kullanımı mümkün olsa da bu çalışmada çözümü istenen temel problem: “Takım sahaya hangi kadroyla çıkmalıdır?” olarak belirlenmiştir. Bu problem çerçevesinde; takımdaki aday futbolculardan hangileri hangi pozisyonlarda oynarsa bir sonraki karşılaşmada takımın toplam performansının en yüksek düzeye çıkarılabileceği ile ilgilenilmektedir. Söz konusu performans, şartların sabit olması durumunda karşılaşılmaması muhtemel performanstır. Yani oyuncuların daha önceki karşılaşmalarda sergilediklerine paralel performanslar sergileyeceği, beklenmeyen başka faktörlerin olmayacağı varsayımı altında bu çalışma yapılmaktadır.

Futbol takımı kurma problemi üzerine 2003 yılında Bart H. Boon ve Gerard Sierksma tarafından yapılan bir çalışmada 1999-2000 sezonunda Hollanda 1. Futbol Ligi’nde mücadele eden takımlardan FC Groningen futbol takımı ele alınmıştır. 26 kişiden oluşan bir kadroya sahip takımın teknik direktörünün oyuncu takibi için kullandığı 49 kriterli oyuncu değerlendirme raporu baz alınarak takım kurma problemi çözülmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmada oyuncu değerlendirmeleri aşamasında futbolcuların performans verileri değil, teknik direktörün görüşü dikkate alınmıştır. Çalışmada, bireysel oyuncu değerlendirmeleri yine karar vericilerin kişisel görüş ve tecrübelerine dayandırıldığı için objektif bir yaklaşımdan söz edilememektedir (Boon ve Sierksma, 2003, 277-292).

Bu çalışmada ise, 2007-2008 sezonunda Türkiye Süper Ligi'nde mücadele eden Kayserispor futbol takımı ele alınmıştır. 2007-2008 sezonunda kulüp tarihinin en başarılı sezonunu geçiren Kayserispor, oynadığı 34 lig karşılaşmasından 15 galibiyet, 10 beraberlik, 9 mağlubiyetle ayrılmış, 50 gol atıp 31 gol yemiştir. Sezon sonu toplam 55 puan ve +19 averajla ligi 5. sırada tamamlamıştır (WEB_4., 2015). Aynı sezon final mücadelesinde Gençlerbirliği futbol takımını mağlup ederek tarihinde ilk defa Türkiye Kupası'nı kazanmış ve 2008-2009 sezonunda UEFA Avrupa Ligi'nde Türkiye'yi temsil etme hakkını elde etmiştir (WEB_5., 2015). Sezon başında göreve gelen teknik direktör Tolunay Kafkas, antrenör Cüneyt Dumlupınar ve teknik analizden sorumlu antrenör Şener Gençtürk'ten oluşan teknik kadro, futbolcu performanslarını takip için sezon boyu oynanan karşılaşmalarda görüntülü teknik analiz yapmıştır. Görüntülü teknik analiz ile incelenen karşılaşmada görev almış bütün futbolcuların maç boyu yaptığı aktiviteler detaylı olarak incelenerek oyuncu istatistikleri elde edilmektedir. Her karşılaşma sonunda yapılan bu analizlerle takımın mevcut durumu ve oyuncu hataları tespit edilmeye çalışılmış, oyuncular bu doğrultuda yönlendirilmiştir. Sezon boyunca oynanan 34 lig ve 5 kupa mücadelesine ait istatistiklerin tamamı sezon sonu değerlendirme yapmak amacıyla derlenmiştir. 2007-2008 sezonunda kadrosunda 25 futbolcu bulunduran Kayserispor'un sezon boyu lig ve kupada oynadığı toplam 39 mücadelenin verileri teknik analizden sorumlu antrenör Şener Gençtürk'ten temin edilerek bu çalışmanın temel girdisi olarak kullanılmıştır. 2007-2008 sezonunun seçilmesinin nedeni, kulübün en fazla karşılaşma oynadığı sezon olması nedeniyle güvenilir verilere ulaşabilme imkânıdır. Teknik analiz sorumlusu yardımcı antrenörden sezon istatistikleri ve oyuncuları değerlendirmek için kullanılan 75 kriterli değerlendirme listesi temin edilmiştir.

Bart H. Boon ve Gerard Sierksma'nın ele aldığı örnek ile bu çalışmanın girdilerindeki en önemli fark, oyuncu değerlendirme aşamasında sadece teknik direktörlerin görüşlerinden yararlanılmamasıdır. Bu çalışmada mümkün olan bütün kriterler objektif bir yaklaşım sergilemek amacıyla oyuncu performans verilerine dayandırılmıştır. Teknik ekipten alınan oyuncu istatistikleri kullanılarak, yine teknik ekibin belirlediği 75 kriterden 26 tanesi (%35) oyuncuların kişisel değerlendirmeleri aşamasında objektif bir yaklaşım elde etmek amacıyla kullanılmıştır.

Önerilen karar destek sistemi 25 kişilik bir alternatif oyuncu grubu içerisinde 11 farklı pozisyona oyuncu atama probleminin çözümünü kapsamaktadır. Ancak burada sadece 11 kişilik oyuncu grubunun belirlenmesi ile yetinilmeyip, her oyuncunun teknik direktörün belirlediği takım sistemi içerisindeki pozisyonunun da belirlenmesi söz konusudur. Problemin Kayserispor örneğinde başarı ile uygulanması milli takımlar gibi çok daha büyük boyutlu takım kurma problemlerinin çözümünde AAA'nın kullanımı için yol gösterici nitelikte olacaktır.

Milli takımların bir futbol takımı gibi sezon başında belirlenmiş kısıtlı bir kadrosu yoktur ve temsil ettiği ülkenin vatandaşı olan bütün amatör ve profesyonel oyuncuları bir sonraki karşılaşmada değerlendirme imkânı vardır. Bu bakımdan alternatif oyuncu sayısı yüzler hatta binlerle ifade edilebilir. Takımın sahaya çıkacağı ilk 11'i değil sadece milli takıma davet edilecek oyuncuların belirlenmesi bile fazlasıyla büyük ölçekli bir iş olacaktır.

Bir futbol kulübü resmi karşılaşmalara 11 asil ve 7 yedek olmak üzere toplam 18 oyuncu ile çıkarken, milli takımlar ise 11 asil ve 12 yedek olmak üzere toplam 23 oyuncu ile çıkmaktadır. Bu bakımdan milli takımlar için takım kurma çalışması yüzlerce aday arasından 23 kişilik kadro oluşturma boyutuna çıkacaktır. Bu nedenle AAA'nın başarısı hem alternatif oyuncu sayısının hem de atanacak pozisyon sayısının büyümesiyle çok önemli hale gelmektedir. Meta sezgisel bir yöntem olarak AAA'nın tercih edilme nedeni ise, tekniğin yapısı itibarıyla sahip olduğu güçlü yönlerinden yararlanmaktır. Daha önceki çalışmalarda atama problemlerindeki başarısını kanıtlayan algoritmanın takım kurma problemlerindeki yeteneği de bu çalışmada sınanıp literatüre katkı sağlanmaya çalışılmıştır (WEB_3., 2015).

3.2. Parametre ve Değişkenlerin Belirlenmesi

Problemin amaçlanan hedef doğrultusunda çözülebilmesi için oyuncuların değerlendirileceği kriterlerin belirlenmesi, belirlenen kriterlere göre oyuncuların değerlendirilmesi, teknik ekibin uygulamak istediği taktik anlayışa göre kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi ve nihayet her oyuncunun takımdaki her pozisyon için puanının hesaplanması gerekmektedir. Bunun için Kayserispor'da kullanılan parametreler aşağıdaki sıralanmıştır.

3.2.1. Kriterler Listesi

Önerilen karar destek sisteminin en önemli araçlarından biri teknik direktörün oyuncu değerlendirmek için kullandığı kriterler listesidir. Bu liste sistem içerisinde hem oyuncuları değerlendirirken, hem de pozisyon önem seviyelerini belirlerken kullanılacaktır. Kayserispor futbol takımı teknik ekibinin oyuncuları değerlendirmek için kullandığı 75 kriterli oyuncu değerlendirme listesi bu çalışmada kriterler listesi olarak kullanılmıştır. Kayserispor için kullanılan kriterler listesi Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6. Kayserispor Kriterler Listesi

SIRA	KRİTERLER	SIRA	KRİTERLER
1	Kalecilik yeteneği	39	Sakatlanma riski
2	Savunma liderliği, savunmayı yönetme	40	Güç
3	Oyunda boş alan yaratma	41	Hız
4	Pas yeteneği	42	Esneklik
5	Pastan sonraki destek	43	Kendini kontrol
6	Defansa yardım	44	Motivasyon / Oynama isteği
7	İkinci toplardaki oyuna dahiliyeti	45	Takımın genel motivasyonuna etkisi
8	Form düzeyi	46	Takım oyununa katkı
9	Oyuna derinlik sağlanması	47	Konsantrasyon
10	Oyuna genişlik sağlanması	48	Kişilik
11	Rakip forveti etkisiz hale getirme	49	Algılama kabiliyeti
12	Rakibi rahatsız etme, durdurma	50	Genel bakış
13	Oyunu hızlı başlatma, çok hızlı bir şekilde rakip sahaya götürme	51	Topa göre pozisyon alma
14	Üçgen yaratıp topa oynamak	52	Koordinasyon
15	Topa sahip olma, saklama yeteneği	53	Sağ ayak kullanımı
16	Top kaybı sonrası kendi pozisyonuna hızlı geçme	54	Sol ayak kullanımı
17	Top kazanımı sonrası kendi pozisyonuna hızlı geçme	55	Deneyim
18	İnisiyatif alma	56	Şöhret / Ün
19	Toplu ya da topsuz alan yaratma	57	Takım disiplini
20	Hücum oyuncularını ile bağlantı kurma ve destek verme	58	Top kaybetmeme özelliği
21	Mevkidaşı ile uyum	59	Yaptığı faul
22	Topu tehlike bölgesinden uzaklaştırma	60	Kazandığı faul
23	Rakipten top çalma	61	Kart görme olasılığı
24	Gol	62	Sağdan orta
25	Asist	63	Soldan orta
26	Rakip kaleciye baskı	64	Şut atma özelliği
27	Hücumdaki liderlik özelliği	65	Duran top kullanma özelliği
28	Kısa pas	66	Taç atma
29	Uzun pas	67	Ofsayttan kaçınma
30	Dripling	68	Degaj ve kale atışı kullanma
31	Top tekniği	69	Kurtarış yapma
32	Top kazanmak	70	Defansif kademe anlayışı
33	Ofansif hava hâkimiyeti	71	Oyunun yönünü değiştirme
34	Defansif hava hâkimiyeti	72	Press özelliği
35	1'e 1 özelliği	73	Kaleciye olan güven
36	Dayanıklılık	74	Kaleciyle uyum, diyalog
37	Cesaret	75	Yüksek toplarda hava hakimiyeti
38	Agresiflik		

3.2.2. Oyuncu-Puan Tablosu

Önerilen yöntemin daha önceki çalışmalardan en önemli farkı Oyuncu-Puan tablosunun oluşturulma şeklidir. Önceki çalışmalarda kriterler sadece karar verici konumdakilerin kişisel görüş ve deneyimleriyle puanlamaya tabi tutulurken bu çalışmada mümkün olduğunca objektif verilerden yararlanarak puanlama yapılmaya çalışılmış; kriterlerin %35'lik kısmı bu şekilde belirlenmiştir.

Oyuncu-Puan tablosu takımdaki bütün oyuncuların teknik ekip tarafından belirlenmiş kriterlere yeterliliklerini göstermektedir (Boon ve Sierksma, 2003, s.9). Ele alınan Kayserispor örneğinde takım kadrosunda bulunan 25 futbolcu teknik ekibin belirlediği 75 kritere göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme işleminde kriterlerin %35'i oyuncu performans verilerinden yararlanarak doğrudan, geri kalan %65'lik kısım ise teknik ekibin görüşleri ile belirlenmiştir. Oyuncuların kriterlere göre puanlaması 0-10 arasında yapılmıştır. Bir kriterin 0 olması, oyuncunun o kriter bakımından hiçbir yeterliliğinin olmadığını, 10 olması ise en yüksek düzeyde yeterliliğe sahip olduğunu ifade etmektedir. Oyuncu performanslarından yararlanarak puanlama işlemi yapılırken, teknik ekipten temin edilen veriler içerisinde kısa pas ya da uzun pas gibi olumlu ve olumsuz verileri bulunan kriterler başarı yüzdesi kullanılarak puanlanmıştır. Yani kısa pas başarı oranı %70 olarak hesaplanan bir oyuncuya 7 puan verilmiştir. Gol ya da asist gibi bazı verilerin ise olumlu ve olumsuz şeklinde iki farklı değeri bulunmamakta, sadece toplam değerleri bulunmaktadır. Bu nitelikteki bütün kriterler için puanlama yapılırken takımdaki en düşük veriye sahip oyuncudan en yüksek veriye sahip oyuncuya doğru 10'lu puanlama skalası oluşturulmuştur. İlgili kriter bakımından verisi bulunmayan oyunculara 0 puanı atanmıştır. Tablonun sütun başlıkları oyuncuları, satır başlıkları ise belirlenen kriterleri temsil edecek şekilde dizayn edilmiştir. Tabloda yer alan açık renkli kriterler oyuncu performans verilerinden yararlanarak objektif olarak, koyu renkli kriterler ise teknik ekip görüşleriyle belirlenmiştir. Takım kadrosundaki 25 futbolcu Oyuncu-Puan tablosunda isimleriyle değil 1-25 arasında kendilerine atanan numara ile ifade edilmiştir. Oyuncuların numaraları alfabetik sıraya göre belirlenmiştir. Hangi numaranın hangi oyuncuyu temsil ettiği Tablo 7'de belirtilmiştir. Değerlendirme işlemi sonucunda elde edilen Kayserispor Oyuncu-Puan tablosu Tablo 8'de gösterilmektedir.

Tablo 7. Kayserispor Futbol Takımı 2007-2008 Sezonu Kadrosu

NUMARA	OYUNCUNUN ADI SOYADI
1	ALİ ÇAMDALI
2	ALİ TURAN
3	AYDIN TOSCALI
4	DARIO CANGELE
5	DURMUŞ BAYRAM
6	ERDAL GÜNEL
7	ERSOY YILMAZ
8	FATİH CEYLAN
9	GÖKHAN ÜNAL
10	HASAN SÖNMEZ
11	DIMITAR IVANKOV
12	KAMBER ASLAN
13	KEMAL OKYAY
14	KORAÇ ÇÖLGEÇEN
15	LEO IGLESIAS
16	MEHMET EREN BOYRAZ
17	MEHMET TOPUZ
18	ORKUN BAL
19	PABLO AVENDANO
20	RAGIP BAŞDAĞ
21	SAIDOU ALIOUM
22	SAVAŞ YILMAZ
23	TAYFUN YANAR
24	DELIO TOLEDO
25	TURGAY BAHADIR

Tablo 8. Kayserispor Oyuncu-Puan Tablosu

SIRA	KRİTERLER	FUTBOLCULAR																									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1	Kalecilik yeteneği	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	Şavunma liderliği, savunmayı yönetme	4	7	9	0	5	1	1	1	0	7	9	4	2	9	3	3	3	4	8	6	7	4	7	9	3	
3	Oyunda boş alan yaratma	6	6	7	10	6	7	2	6	5	6	8	5	7	6	5	8	8	5	4	8	6	6	3	8	5	
4	Pas yeteneği	5	8	9	5	7	5	4	10	4	5	9	8	8	8	4	7	8	5	8	8	8	5	5	8	5	
5	Pastan sonraki destek	5	6	7	8	6	7	4	5	8	6	8	6	6	7	7	7	8	6	6	9	7	5	5	7	6	
6	Defansa yardım	6	7	8	1	7	2	1	1	1	7	8	8	2	8	2	4	3	7	8	6	8	5	7	8	4	
7	İkinci toplardaki oyuna dahiliyeti	3	4	5	9	5	6	2	6	8	4	6	5	5	5	6	8	7	6	6	9	7	5	5	7	6	
8	Form düzeyi	3	9	10	9	6	4	2	5	10	3	10	7	8	9	8	9	10	3	6	10	8	2	1	10	7	
9	Oyuna derinlik sağlanması	4	3	3	9	5	8	4	7	8	2	5	5	8	5	5	8	9	4	5	9	7	5	4	6	7	
10	Oyuna genişlik sağlaması	4	3	3	9	6	7	4	8	5	5	9	5	9	4	4	8	9	6	4	8	6	6	3	9	6	
11	Rakip forveti etkisiz hale getirme	2	8	9	0	3	0	0	0	0	1	3	4	0	9	3	1	2	5	7	3	6	2	4	7	1	
12	Rakibi rahatsız etme, durdurma	0	9	9	4	7	0	5	9	0	0	0	0	4	7	9	3	6	6	9	0	3	6	0	9	8	4
13	Oyunu hızlı başlatma, çok hızlı bir şekilde rakip sahaya götürme.	4	5	6	8	5	5	1	5	6	6	9	3	6	5	2	6	7	6	4	7	6	6	3	7	3	
14	Üçgen yaratıp topla oynamak	6	4	4	9	6	7	4	7	8	0	5	4	6	4	3	7	7	5	5	8	7	6	3	6	6	
15	Topa sahip olma, saklama yeteneği	2	8	8	2	5	0	0	0	1	0	0	10	2	5	2	3	3	0	6	3	2	1	0	7	4	
16	Top kaybı sonrası kendi pozisyonuna hızlı geçme	7	9	9	1	7	3	2	1	5	7	9	7	5	8	5	5	6	6	7	9	8	4	5	7	5	
17	Top kazanımı sonrası kendi pozisyonuna hızlı geçme	5	6	6	8	5	8	5	4	8	2	6	6	8	7	8	7	9	5	5	8	7	7	5	6	7	
18	İnisiyatif alma	4	5	7	10	3	6	2	5	9	0	8	4	7	9	7	8	10	1	3	9	7	4	0	8	7	
19	Toplu ya da topsuz alan yaratma	5	7	7	9	6	6	2	8	9	3	7	4	6	6	8	6	9	4	4	6	8	4	2	8	7	
20	Hücum oyuncularını ile bağlantı kurma ve destek verme	5	4	3	9	6	7	5	9	8	1	6	3	8	4	8	8	9	3	1	7	6	5	0	6	8	
21	Mevkidaşı ile uyum,	5	9	8	7	6	5	1	5	9	2	5	6	6	9	9	7	8	3	5	6	6	5	4	8	7	
22	Topu tehlike bölgesinden uzaklaştırma	0	7	9	0	7	0	0	0	0	9	8	6	6	9	9	8	9	0	8	9	9	0	7	8	8	
23	Rakipten top çalma	6	4	2	0	3	0	7	4	0	0	0	6	4	3	0	2	0	6	0	4	6	2	6	2	2	
24	Gol	0	0	0	7	0	0	0	0	9	0	4	3	7	5	8	6	8	0	0	5	0	0	0	0	0	
25	Asist	0	0	0	9	6	0	0	0	7	0	0	0	7	6	3	7	9	0	6	6	0	0	0	0	9	
26	Rakip kaleciye baskı	1	0	0	3	2	1	6	0	9	0	0	1	2	2	7	4	7	1	1	4	1	1	0	2	7	
27	Hücumdaki liderlik özelliği	0	2	1	9	2	4	3	7	8	0	1	1	6	1	9	7	10	0	0	6	3	2	0	7	7	
28	Kısa pas	9	9	10	9	9	7	10	8	0	10	10	9	9	8	9	9	10	9	10	9	10	9	10	9	9	
29	Uzun pas	0	7	7	0	5	0	0	9	0	9	7	5	7	7	0	5	6	0	6	7	6	0	0	6	0	
30	Dripling	0	0	0	6	0	0	0	0	6	0	0	0	5	6	5	6	6	0	0	5	4	0	0	7	4	
31	Top tekniği	6	3	5	10	4	6	6	8	8	1	6	5	8	4	6	7	8	5	4	6	5	6	3	6	8	
32	Top kazanmak	6	4	2	0	3	0	7	4	0	0	0	6	4	3	0	2	0	6	0	4	6	2	6	2	2	
33	Ofansif hava hâkimiyeti	3	7	8	2	1	3	1	1	8	0	1	7	2	8	10	5	7	0	7	6	6	4	4	8	8	
34	Defansif hava hâkimiyeti	5	9	9	2	2	3	1	0	6	4	8	8	2	10	9	2	5	0	8	7	7	4	6	8	6	
35	1 e 1 özelliği	3	2	1	10	1	4	5	8	7	0	1	4	6	2	4	7	8	4	1	6	5	6	1	4	6	
36	Dayanıklılık	6	8	9	5	6	6	3	4	8	5	9	8	5	10	7	6	9	3	6	6	7	4	5	8	6	
37	Cesaret	5	9	9	8	5	5	4	6	8	4	10	5	6	9	7	7	10	3	5	7	7	3	4	9	7	
38	Agresiflik	0	3	2	5	7	4	0	9	6	1	0	4	0	1	2	3	1	0	7	5	1	0	5	6	3	
39	Şakatlanma riski	6	8	8	5	7	6	4	4	7	5	9	8	7	8	6	7	9	3	6	7	6	4	4	9	7	
40	Güç	6	9	7	5	4	5	2	3	8	7	8	8	5	10	8	6	9	2	7	6	7	4	3	9	7	
41	Hız	6	3	3	8	8	7	9	7	8	1	5	4	9	4	4	8	10	7	3	6	6	6	5	7	7	
42	Esneklik	6	5	5	10	6	7	7	8	7	3	6	4	8	4	4	7	8	8	3	7	6	5	3	5	6	
43	Kendini kontrol	7	5	7	6	8	7	4	5	6	5	7	7	6	7	8	7	6	6	6	8	7	5	4	8	8	
44	Motivasyon / Oynama isteği	5	10	9	7	7	10	5	9	2	9	6	7	9	8	8	10	5	9	6	6	6	9	8	8	8	
45	Takımın genel motivasyonuna etkisi	2	8	7	9	2	3	0	7	10	0	10	5	3	6	7	9	10	0	4	9	5	1	0	10	6	
46	Takım oyununa katkı	5	4	4	9	3	5	2	5	9	2	8	5	6	6	8	7	7	2	5	8	6	3	3	10	5	
47	Konsantrasyon	6	8	7	5	4	6	6	4	8	3	9	8	7	8	9	7	8	4	4	8	7	5	4	9	7	
48	Kişilik	8	9	9	6	7	8	7	3	9	6	10	8	8	7	9	7	7	5	7	8	6	5	6	10	7	
49	Algılama kabiliyeti	9	7	7	9	5	8	5	4	8	6	9	5	7	6	7	8	7	5	9	6	6	5	8	6	6	
50	Genel bakış	6	8	9	8	5	7	3	6	9	5	9	5	7	8	8	9	10	2	6	8	7	4	2	9	7	
51	Topa göre pozisyon alma	7	8	9	5	6	7	4	5	9	7	4	7	6	9	8	6	7	6	7	8	7	6	5	8	7	
52	Koordinasyon	8	8	8	9	5	6	3	5	8	6	7	8	7	6	7	8	5	7	7	7	7	6	5	9	6	
53	Sağ ayak kullanımı	8	6	5	7	7	3	6	1	8	3	8	6	2	5	8	8	9	1	4	8	7	7	5	3	6	
54	Sol ayak kullanımı	2	1	0	9	1	7	1	9	4	0	2	1	9	1	3	3	4	6	0	2	1	2	1	9	3	
55	Deneyim	5	8	9	7	4	5	0	5	9	7	10	6	4	4	7	6	8	0	3	9	9	0	0	10	5	
56	Şöhret / Ün	1	8	6	10	2	2	0	4	10	3	9	2	2	2	5	4	10	0	1	7	8	0	0	9	3	
57	Takım disiplini	5	7	7	1	6	6	2	1	6	6	7	7	6	8	6	5	7	2	5	7	6	5	6	9	6	
58	Top kaybetmeme özelliği	2	8	8	2	5	0	0	0	1	0	0	10	2	5	2	3	3	0	6	3	2	1	0	7	4	
59	Yaptığı faul	4	5	2	6	5	3	9	7	3	0	8	0	3	6	3	2	7	6	5	5	4	3	4	4	4	
60	Kazandığı faul	6	6	5	8	1	0	9	0	6	0	0	6	1	8	4	5	7	4	3	6	6	9	5	6	6	
61	Kart görme olasılığı	0	3	2	5	7	4	0	9	6	1	0	4	0	1	2	3	1	0	7	5	1	0	5	6	3	
62	Sağdan orta	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	5	0	5	4	0	0	0	5	5	
63	Soldan orta	0	0	0	2	0	0	0	5	0	0	0	0	2	0	0	3	6	0	0	4	0	0	0	4	0	
64	Şut atma özelliği	4	0	5	5	0	0	0	0	4	0	0	4	7	6	6	4	5	0	0	3	5	0	0	2	4	
65	Duran top kullanma özelliği	0	9	9	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	6	0	0	8	0	0	0	7	0	
66	Taç atma	0	9	9	0	9	0	10	0	0	0	0	0	9	9	0	0	10	9	0	0	0	0	0	9	0	
67	Ofsayttan kaçınma	0	0	0	2	0	0	2	1	2	0	0	0	3	0	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
68	Degaj ve kale atışı kullanma	0	0	0	0	0	0	0	0	8	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
69	Kurtarıcı yapma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
70	Defansif kademe anlayışı	6	9	9	0	8																					

3.2.3. Pozisyon-Puan Tablosu

Pozisyon-Puan tablosu, teknik direktörün takıma oynatmak istediği oyun planının bir yansımasıdır. Kriterler bu tabloda belirlenen ağırlıklara göre toplam performans puanlamasında etkili olacaktır. Bu bakımdan Pozisyon-Puan tablosunun oluşturulması tamamen teknik direktörün sorumluluğuna verilmiştir. Bir teknik direktörün futbol takımı için birden fazla oyun stratejisi mevcutsa sisteme entegre edilebilecek birden fazla Pozisyon-Puan tablosu oluşturulup farklı stratejilerde farklı oyuncu seçim ve dizilişi sağlanabilir. Tablonun sütun başlıkları pozisyonları, satır başlıkları ise belirlenen kriterleri temsil edecek şekilde dizayn edilmiş; puanlama Oyuncu-Puan tablosunda olduğu gibi 0-10 arasında yapılmıştır. Bir kritere 0 puan verilmesi o kriterin ilgili pozisyon için hiçbir önem arz etmediğini, 10 puan verilmesi ise çok yüksek derecede önem arz ettiğini temsil etmektedir (Boon ve Sierksma, 2003, 277-292).

Kayserispor için oluşturulan Pozisyon-Puan tablosu Tablo 9'da gösterilmiştir. Kayserispor teknik direktörünün takıma oynatmak istediği oyun sistemindeki pozisyon numaralarının saha içi konumları Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekilde 1 numara ile kaleci, 2, 3, 4 ve 5 numara ile savunma oyuncuları, 6, 7, 9 ve 10 numara ile orta saha oyuncuları, 8 ve 11 numara ile hücum bölgesi oyuncuları ifade edilmiştir.



Şekil 7. Kayserispor Oyun Sistemi - Pozisyon Numaraları

Tablo 9. Kayserispor Pozisyon-Puan Tablosu

SIRA	KRİTERLER	POZİSYON NUMARASI										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Kalecilik yeteneği	10	2	1	1	2	0	0	0	0	0	0
2	Savunma liderliği, savunmayı yönetme	8	6	8	8	6	2	7	1	2	1	1
3	Oyunda boş alan yaratma	2	7	6	6	7	8	6	7	8	6	6
4	Pas yeteneği	4	7	5	5	7	8	7	9	7	9	9
5	Pastan sonraki destek	4	8	7	7	8	8	9	7	8	6	6
6	Defansa yardım	7	7	9	9	7	6	9	5	6	4	4
7	İkinci toplardaki oyuna dahiliyeti	7	4	3	3	4	5	5	6	5	8	8
8	Form düzeyi	9	8	9	9	8	8	9	8	8	8	9
9	Oyuna derinlik sağlanması	7	8	7	7	8	8	8	9	8	9	8
10	Oyuna genişlik sağlanması	8	8	7	7	8	9	7	9	9	7	7
11	Rakip forveti etkisiz hale getirme	6	7	10	9	7	6	8	5	6	2	2
12	Rakibi rahatsız etme, durdurma	2	6	8	8	6	5	10	4	5	7	4
13	Oyunu hızlı başlatma, çok hızlı bir şekilde rakip sahaya götürme.	9	7	6	6	7	8	7	9	8	7	7
14	Üçgen yaratıp topla oynamak	1	7	5	5	7	7	6	9	7	8	8
15	Topa sahip olma, saklama yeteneği	0	6	8	8	6	7	9	8	7	9	9
16	Top kaybı sonrası kendi pozisyonuna hızlı geçme	3	8	9	9	8	6	9	5	6	5	5
17	Top kazanımı sonrası kendi pozisyonuna hızlı geçme	0	6	5	5	6	7	6	8	7	9	9
18	İnisiyatif alma	1	6	3	3	6	7	4	10	7	9	9
19	Toplu ya da topsuz alan yaratma	5	8	7	7	8	8	7	9	8	8	8
20	Hücum oyuncularını ile bağlantı kurma ve destek verme	8	5	3	3	5	6	4	9	6	9	9
21	Mevkidaşı ile uyum,	8	8	9	9	8	8	7	8	7	9	9
22	Topu tehlike bölgesinden uzaklaştırma	10	8	10	10	8	7	9	6	7	5	5
23	Rakipten top çalma	5	8	7	7	8	6	9	5	6	5	5
24	Gol	0	5	2	2	5	7	5	8	7	10	10
25	Asist	3	6	1	1	6	7	5	10	7	8	8
26	Rakip kaleciye baskı	0	4	1	1	4	5	4	6	5	7	9
27	Hücumdaki liderlik özelliği	0	6	2	2	6	7	5	10	7	9	8
28	Kısa pas	9	8	8	8	8	7	9	9	7	9	8
29	Uzun pas	9	8	6	6	8	9	7	7	9	6	6
30	Dripling	0	6	1	1	6	8	4	9	8	8	7
31	Top tekniği	5	5	3	3	5	7	7	10	7	9	8
32	Top kazanmak	1	8	10	10	8	7	10	6	7	6	5
33	Ofansif hava hâkimiyeti	0	5	8	8	5	8	7	6	8	9	10
34	Defansif hava hâkimiyeti	8	7	10	10	7	6	9	4	6	7	8
35	1 e 1 özelliği	0	6	8	8	6	7	8	10	7	9	8
36	Dayanıklılık	7	8	9	9	8	7	9	6	7	7	8
37	Cesaret	3	6	9	9	6	7	10	5	7	6	6
38	Agresiflik	1	5	9	9	5	5	9	4	5	5	5
39	Sakatlanma riski	9	7	8	8	7	7	9	6	7	8	7
40	Güç	5	8	10	10	8	7	10	6	7	8	9
41	Hız	2	8	5	5	8	9	6	7	9	8	9
42	Esneklik	8	7	8	8	7	7	8	6	7	9	8
43	Kendini kontrol	8	7	9	9	7	6	8	6	6	7	8
44	Motivasyon / Oynama isteği	10	8	8	8	8	8	8	10	8	9	9
45	Takımın genel motivasyonuna etkisi	9	6	8	8	6	7	8	10	7	7	10
46	Takım oyununa katkı	1	7	5	5	7	8	9	9	8	8	9
47	Konsantrasyon	8	7	9	9	7	7	9	8	7	8	8
48	Kişilik	7	7	8	8	7	7	9	9	7	7	7
49	Algılama kabiliyeti	9	7	8	8	7	7	9	9	7	8	8
50	Genel bakış	10	7	9	9	7	7	10	10	7	8	8
51	Topa göre pozisyon alma	7	7	9	9	7	6	9	5	6	5	4
52	Koordinasyon	9	8	9	9	8	8	10	10	8	9	8
53	Sağ ayak kullanımı	3	9	7	2	4	10	8	7	5	8	8
54	Sol ayak kullanımı	3	4	2	7	9	5	7	8	10	8	8
55	Deneyim	9	7	10	10	7	7	10	10	7	8	8
56	Şöhret / Ün	6	5	5	5	5	6	7	9	6	8	8
57	Takım disiplini	8	8	9	9	8	8	9	7	8	7	6
58	Top kaybetmeme özelliği	2	6	8	8	6	7	9	8	7	8	8
59	Yaptığı faul	0	7	8	8	7	7	9	2	7	2	2
60	Kazandığı faul	0	6	2	2	6	7	6	9	7	9	7
61	Kart görme olasılığı	8	6	7	7	6	5	8	4	5	4	4
62	Sağdan orta	0	7	1	0	2	9	5	8	5	6	6
63	Soldan orta	0	2	0	1	7	5	8	5	9	6	6
64	Şut atma özelliği	0	6	3	3	6	7	6	9	7	9	9
65	Duran top kullanma özelliği	2	5	4	4	5	9	6	10	9	8	8
66	Taç atma	0	9	1	1	9	7	2	0	7	1	1
67	Ofsayttan kaçınma	0	2	1	1	2	3	2	5	3	8	9
68	Degaj ve kale atışı kullanma	9	1	5	5	1	0	4	0	0	0	0
69	Kurtarış yapma	10	1	2	2	1	0	1	0	0	0	0
70	Defansif kademe anlayışı	9	8	9	9	8	6	9	2	6	1	1
71	Oyunun yönünü değiştirme	10	6	5	5	6	7	7	10	7	6	6
72	Press özelliği	0	7	6	6	7	6	8	4	6	8	5
73	Kaleciye olan güven	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74	Kaleciyle uyum, diyalog	0	8	9	9	8	4	7	2	4	2	2
75	Yüksek toplarda hava hakimiyeti	8	5	9	9	5	6	2	2	2	8	9

3.2.4. Oyuncu-Pozisyon Matrisi

Oyuncu-Pozisyon matrisi Oyuncu-Puan tablosundaki veriler ile Pozisyon-Puan tablosundaki verilerin birleşiminden elde edilmektedir. Bu tablodaki puanlar, kadrodaki 25 oyuncunun 11 pozisyon açısından takıma sağlayacağı katkı puanları toplamını temsil etmektedir. 1 numaralı oyuncunun 1 numaralı pozisyon için verebileceği katkı puanı hesaplanırken bütün kriterler için oyuncunun elde ettiği puan ve kriterin önem puanları çarpılarak bütün kriter puanları toplanmıştır. Böylece elde edilen puan 1. oyuncunun 1. pozisyon puanı olmuştur. Bu işlem bütün oyuncular ve bütün pozisyonlar için devam edilerek Oyuncu-Pozisyon matrisi oluşturulmuştur. Bir Oyuncu-Pozisyon puanı ne kadar yüksek ise oyuncunun bu pozisyona uygunluğu o derece yüksek demektir. Kayserispor futbol takımı için oluşturulan Tablo 10'daki Oyuncu-Pozisyon matrisine göre 1 numaralı oyuncu 1. pozisyona atanırsa sağlayacağı katkı puanı 1550 iken 2. pozisyon için bu değer 2005 olmaktadır. Yani bu oyuncu takım için 2. pozisyonda 1. pozisyondan daha fazla yarar sağlayabilecek yeteneklere sahiptir.

Tablo 10. Kayserispor Oyuncu-Pozisyon Matrisi

POZİSYON	OYUNCU																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	1550	2251	2321	1917	1853	1555	985	1582	2113	1610	2734	1939	1887	2232	1941	2063	2404	1221	1787	2403	2158	1276	1297	2593	1909
2	2005	2848	2868	2589	2374	1872	1452	2048	2749	1439	2602	2466	2501	2906	2543	2674	3237	1691	2158	3046	2744	1643	1666	3294	2505
3	2057	3048	3066	2380	2421	1886	1391	1950	2700	1583	2735	2693	2314	2985	2575	2618	3048	1632	2356	3073	2828	1635	1773	3391	2501
4	2025	3015	3032	2387	2388	1906	1366	1995	2680	1567	2702	2664	2351	2953	2547	2592	3022	1652	2329	3039	2788	1608	1749	3418	2480
5	1975	2823	2843	2584	2344	1892	1427	2113	2729	1424	2572	2441	2546	2871	2518	2649	3217	1716	2138	3011	2694	1618	1646	3344	2465
6	1980	2813	2839	2788	2314	1918	1477	2113	2897	1412	2621	2452	2597	2858	2637	2796	3406	1638	2116	3137	2754	1668	1586	3326	2589
7	2283	3233	3238	2907	2587	2126	1633	2307	3077	1671	2969	2869	2696	3197	2861	2978	3529	1862	2474	3427	3068	1829	1941	3742	2789
8	2049	2759	2808	3160	2216	2086	1529	2228	3159	1415	2797	2434	2760	2790	2793	2991	3581	1598	2072	3273	2808	1752	1543	3396	2732
9	1945	2748	2769	2781	2237	1933	1448	2163	2837	1392	2582	2391	2779	2782	2572	2732	3345	1658	2056	3063	2664	1638	1561	3332	2509
10	2030	2788	2821	3051	2274	2055	1564	2182	3196	1323	2646	2489	2779	2844	2880	3000	3570	1603	2096	3217	2816	1734	1575	3370	2774
11	1986	2755	2800	3018	2231	2028	1493	2137	3197	1320	2676	2472	2721	2827	2878	2979	3547	1517	2098	3203	2779	1691	1499	3347	2750

Matris değerleri Oyuncu-Pozisyon tablosu ve Pozisyon-Puan tablosundaki 75 kriterin puanlarının çarpımlarının toplamıyla aşağıdaki gibi hesaplanır. Örneğin 1. oyuncunun 1. ve 2. pozisyon için matris puanları şöyle hesaplanır:

$$x_{1,1}=(0 \times 10)+(4 \times 8)+(6 \times 2)+(5 \times 4)+\dots+(4 \times 0)+(0 \times 8)=1550$$

$$x_{1,2}=(0 \times 2)+(4 \times 6)+(6 \times 7)+(5 \times 7)+\dots+(4 \times 8)+(0 \times 5)=2005$$

3.3. Problemin Armoni Arama Algoritması İle Çözümü

Ele alınan futbol takımı kurma problemi için AAA'nın adımları ise şöyle gösterilebilir:

3.3.1. Amaç Fonksiyonu ve Çözüm Parametrelerinin Belirlenmesi

Bu aşamada AAA ve problem ile ilgili parametreler belirlenmektedir. Problemin çözüm adımları anlatılırken okuyucunun daha kolay anlayabilmesi amacıyla HMS 4 olarak alınmıştır.

Amaç fonksiyonu AAA için düzenlenirken, atanan futbolcu puanlarının toplamından mükerrer atamaların her biri 1000 puan olacak şekilde ceza puanı indirimi yapılmıştır. Ceza puanının eklenmesinin nedeni; bir futbolcunun birden fazla pozisyona atanmasını engellemektir. Aksi takdirde takım sahaya 11 oyuncudan daha az oyuncuyla çıkacaktır.

AAA her yeni armoni geliştirme işleminde bütün pozisyonları tek tek ele aldığı için pozisyon sayısından fazla oyuncu atanması durumu söz konusu değildir. Bu nedenle bununla ilgili bir kısıt koyma ihtiyacı yoktur. AAA için tanımlanan amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$\max f(x) = \sum_{i=1,..,n} x_i - \text{CezaP} \times \sum_{i=1,..,n} c_i$$

$c_i \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ Mükerrer atama ise 1, değilse 0 $x_i = i$ pozisyonuna atanan oyuncu puanı

HMS:	4	n:	11 pozisyon
HMCR:	0,90	t:	25 oyuncu
PAR:	0,40	m:	{-1,1}
CezaP:	1000		

3.3.2. Armoni Belleğinin Oluşturulması

Bu aşamada boyutu 4 olarak belirlenen bellek tamamen tesadüfi atama ile doldurulmakta, amaç fonksiyonu değerleri hesaplanmakta ve amaç fonksiyonu değerleri en yüksekten en düşük olana doğru sıralanmaktadır.

Tablo 11 ve Tablo 12'den anlaşılacağı üzere önce armoni belleği tesadüfi olarak doldurulmuştur. Ardından $f(x)$ değerlerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanmış ve armoni belleği oluşturma süreci tamamlanmıştır.

Tablo 11. Tesadüfi Doldurulmuş Armoni Belleği - Kayserispor

x	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	$x_{11(n)}$	$f(x)$
¹	12	5	7	7	8	21	25	14	11	3	3	23719
²	23	19	2	5	8	4	6	6	1	11	12	24067
³	11	19	2	3	24	20	21	23	23	9	17	29368
^{4(HMS)}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	24810

Tablo 12. Amaç Fonksiyonu Değerine Göre Sıralanmış Armoni Belleği - Kayserispor

x	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	$x_{11(n)}$	$f(x)$
¹	11	19	2	3	24	20	21	23	23	9	17	29368
²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	24810
³	23	19	2	5	8	4	6	6	1	11	12	24067
^{4(HMS)}	12	5	7	7	8	21	25	14	11	3	3	23719

Mevcut belleğin en iyi çözüm alternatifi olan x_1 'i inceleyecek olursak; 1. Pozisyona 11 numaralı oyuncu, 2. Pozisyona 19 numaralı oyuncu, ..., 11. Pozisyona 17 numaralı oyuncu atanmıştır. Bu oyuncuların Oyuncu-Pozisyon matrisine göre toplam puanı: $2734+2158+3048+3032+3344+3137+3068+1543+1561+3196+3547=30368$ 'dir. Bu çözüm alternatifinde bir adet mükerrer atama olduğu, yani 23 numaralı oyuncu iki farklı pozisyona (8 ve 9 numaralı pozisyonlar) aynı anda atandığı için 1000 puanlık ceza indirimi yapılmış ve amaç fonksiyonu değeri $30368-1000=29368$ olarak hesaplanmıştır.

3.3.3. Yeni Armoni Oluşturma

Bu aşamada yeni bir çözüm vektörü $x' = (x'_1, x'_2, x'_3, \dots, x'_{11})$ oluşturulur ve amaç fonksiyonu değeri hafızadaki en kötü armoniden daha iyi ise yer değiştirilir.

Yeni armoni oluşturma sürecinde her karar değişkeni sırasıyla tek tek ele alınmakta ve soncunda yeni bir çözüm alternatifi elde edilmektedir. Karar değişkenleri ele alınırken önce oluşturulan tesadüfi sayı HMCR'den büyükse bütün olası alternatifler arasından, aksi halde bellekteki değerlerden seçilir. Bellekten seçilenler için belirlenen ikinci tesadüfi sayı PAR'dan büyükse hiçbir değişiklik yapılmadan sıradaki karar değişkenine geçilirken, küçük olması durumunda +1 ya da -1 olan komşuluk ilişkilerinden biri tesadüfi olarak belirlenir ve seçilen değer bu şekilde düzeltilerek karar değişkeninin değerinin belirlenmesi süreci tamamlanır. Karar değişkeni değeri belirleme işlemi bir iterasyonda şöyle yapılmaktadır:

x'_1 değerinin belirlenmesi;

Tesadüfi sayı 0.28 \rightarrow 0.28 < 0.90 \rightarrow seçim HMS'den \rightarrow (11,1,23,12)

11 değeri seçildi.

PAR için tesadüfi değer 0.62 \rightarrow 0.62 > 0.40 \rightarrow ton ayarlamaya gerek yok.

$$x'_1 = 11$$

x'_2 değerinin belirlenmesi;

Tesadüfi sayı 0.96 \rightarrow 0.96 > 0.90 \rightarrow seçim bütün olası değerlerden \rightarrow (1,...,25)

14 değeri seçildi.

$$x'_2 = 14$$

x'_3 değerinin belirlenmesi;

Tesadüfi sayı 0.07 \rightarrow 0.07 < 0.90 \rightarrow seçim HMS'den \rightarrow (2,3,2,7)

7 değeri seçildi.

PAR için tesadüfi değer 0.51 \rightarrow 0.51 > 0.40 \rightarrow ton ayarlamaya gerek yok.

$$x'_3 = 7$$

x'_4 değerinin belirlenmesi;

Tesadüfi sayı 0.38 \rightarrow 0.38 < 0.90 \rightarrow seçim HMS'den \rightarrow (3,4,5,7)

3 değeri seçildi.

PAR için tesadüfi değer 0.82 \rightarrow 0.82 > 0.40 \rightarrow ton ayarlamaya gerek yok.

$$x'_4 = 3$$

x'_5 değerinin belirlenmesi;

Tesadüfi sayı 0.12 \rightarrow 0.12 < 0.90 \rightarrow seçim HMS'den \rightarrow (24,5,8,8)

8 değeri seçildi.

PAR için tesadüfi değer 0.21 \rightarrow 0.21 < 0.40 \rightarrow ton ayarlanmalı.

Belirlenen m değeri +1

$x_i(k + m)$ formülüne göre yeni değer (8+1) 9. konumdaki değer oldu.

$$x'_5 = 9$$

x'_6 değerinin belirlenmesi;

Tesadüfi sayı 0.99 \rightarrow 0.99 > 0.90 \rightarrow seçim bütün olası değerlerden \rightarrow (1,...,25)

23 değeri seçildi.

$$x'_6 = 23$$

x'_7 değerinin belirlenmesi;

Tesadüfi sayı 0.96 \rightarrow 0.96 > 0.90 \rightarrow seçim bütün olası değerlerden \rightarrow (1,...,25)

1 değeri seçildi.

$$x'_7 = 1$$

x'_8 değerinin belirlenmesi;

Tesadüfi sayı 0.38 \rightarrow $0.38 < 0.90 \rightarrow$ seçim HMS'den \rightarrow (23,8,6,14)

8 değeri seçildi.

PAR için tesadüfi değer 0.55 \rightarrow $0.55 > 0.40 \rightarrow$ ton ayarlamaya gerek yok.

$$x'_8 = 8$$

x'_9 değerinin belirlenmesi;

Tesadüfi sayı 0.97 \rightarrow $0.97 > 0.90 \rightarrow$ seçim bütün olası değerlerden \rightarrow (1,...,25)

13 değeri seçildi.

$$x'_9 = 13$$

x'_{10} değerinin belirlenmesi;

Tesadüfi sayı 0.68 \rightarrow $0.68 < 0.90 \rightarrow$ seçim HMS'den \rightarrow (9,10,11,3)

3 değeri seçildi.

PAR için tesadüfi değer 0.36 \rightarrow $0.36 < 0.40 \rightarrow$ ton ayarlanmalı.

Belirlenen m değeri -1

$x_i(k+m)$ formülüne göre yeni değer (3-1) 2. konumdaki değer oldu.

$$x'_{10} = 2$$

x'_{11} değerinin belirlenmesi;

Tesadüfi sayı 0.60 \rightarrow $0.60 < 0.90 \rightarrow$ seçim HMS'den \rightarrow (17,11,12,3)

11 değeri seçildi.

PAR için tesadüfi değer 0.21 \rightarrow $0.21 < 0.40 \rightarrow$ ton ayarlanmalı.

Belirlenen m değeri -1

$x_i(k+m)$ formülüne göre yeni değer (11-1) 10. konumdaki değer oldu.

$$x'_{11} = 10$$

Bütün karar değişkenleri için yeni değerler belirledikten sonra çözüm alternatifi şu şekildedir: $x' = (11,14,7,3,9,23,1,8,13,2,10)$ Bu çözüm alternatifinde mükerrer atama yapılmamıştır. Bu nedenle ceza puanı indirimi yapılmayacaktır. Amaç fonksiyonu değeri Oyuncu-Pozisyon matrisi verilerine göre şöyle hesaplanır: $2734 + 2906 + 1391 + 3032 + 2729 + 1586 + 2283 + 2228 + 2600 + 2788 + 1320 = 25597$

3.3.4. Armoni Belleğinin Güncellenmesi

Yeni armoni oluşturma süreci sonucunda elde edilen vektörün amaç fonksiyonu değeri bu aşamada armoni belleğindeki en kötü çözüm alternatifinin sonucu ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucunda yeni vektör daha iyi bir çözümü sunduğu için bellekteki en kötü vektör silinecek, yerine yeni geliştirilen vektör eklenecek ve amaç fonksiyonu değerine göre tekrar sıralama işlemi yapılacaktır. Tablo 13'te güncelleme işlemi öncesindeki armoni belleği, Tablo 14'te ise güncelleme işlemi sonucunda oluşan armoni belleği gösterilmiştir.

Tablo 13. Yeni Armoni Geliştirme Öncesi Armoni Belleği - Kayserispor

X	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	$x_{11(n)}$	$f(x)$
1	11	19	2	3	24	20	21	23	23	9	17	29368
2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	24810
3	23	19	2	5	8	4	6	6	1	11	12	24067
4(HMS)	12	5	7	7	8	21	25	14	11	3	3	23719

Tablo 14. Yeni Armoni Geliştirme Sonrası Armoni Belleği - Kayserispor

x	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	$x_{11(n)}$	$f(x)$
1	11	19	2	3	24	20	21	23	23	9	17	29368
2	11	14	7	3	9	23	1	8	13	2	10	25597
3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	24810
4(HMS)	23	19	2	5	8	4	6	6	1	11	12	24067

Tablo 13'ün son satırındaki 23719 değerindeki vektör bellekten silinip yerine yeni geliştirilen 25597 değerindeki vektör eklenerek Tablo 14 elde edilmiştir. Tablo 14'te koyu renkle belirtilen satır yeni geliştirilen vektörü göstermektedir.

3.3.5. Durma Koşullarının Kontrolü

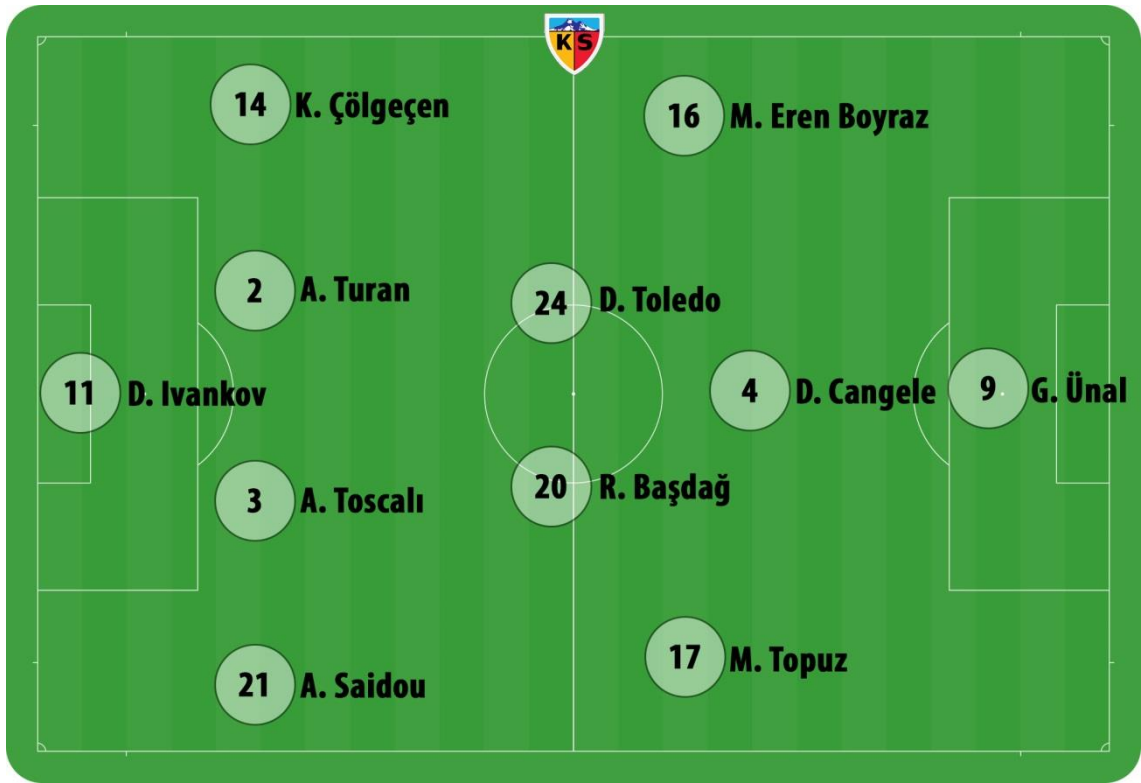
Birinci aşamada belirlenen maksimum iterasyon sayısına ulaşılması durumunda süreç durdurulur ve mevcut armoni belleği içerisinde yer alan en büyük değer AAA'nın sonucu olarak kabul edilir.

3.3.6. Armoni Arama Algoritması'na Göre Çözüm Sonucu

Matlab programı ile AAA Intel(R) Core(TM) i5-2400 CPU @ 3.10GHz işlemci ve 6 GB RAM'a sahip bir bilgisayarda çalıştırılmıştır. 1 dakikadan daha kısa sürede 34011 puana sahip $x^* = (11, 21, 3, 2, 14, 20, 24, 4, 17, 16, 9)$ çözümüne HMS=10, HMCR=0,90 ve PAR=0,40 parametreleri ile ulaşılmıştır. Ulaşılan bu sonuca göre AAA'nın önerdiği Kayserispor takım kadrosu ve saha içi dizilişi Tablo 15 ve Şekil 8'de gösterildiği gibidir.

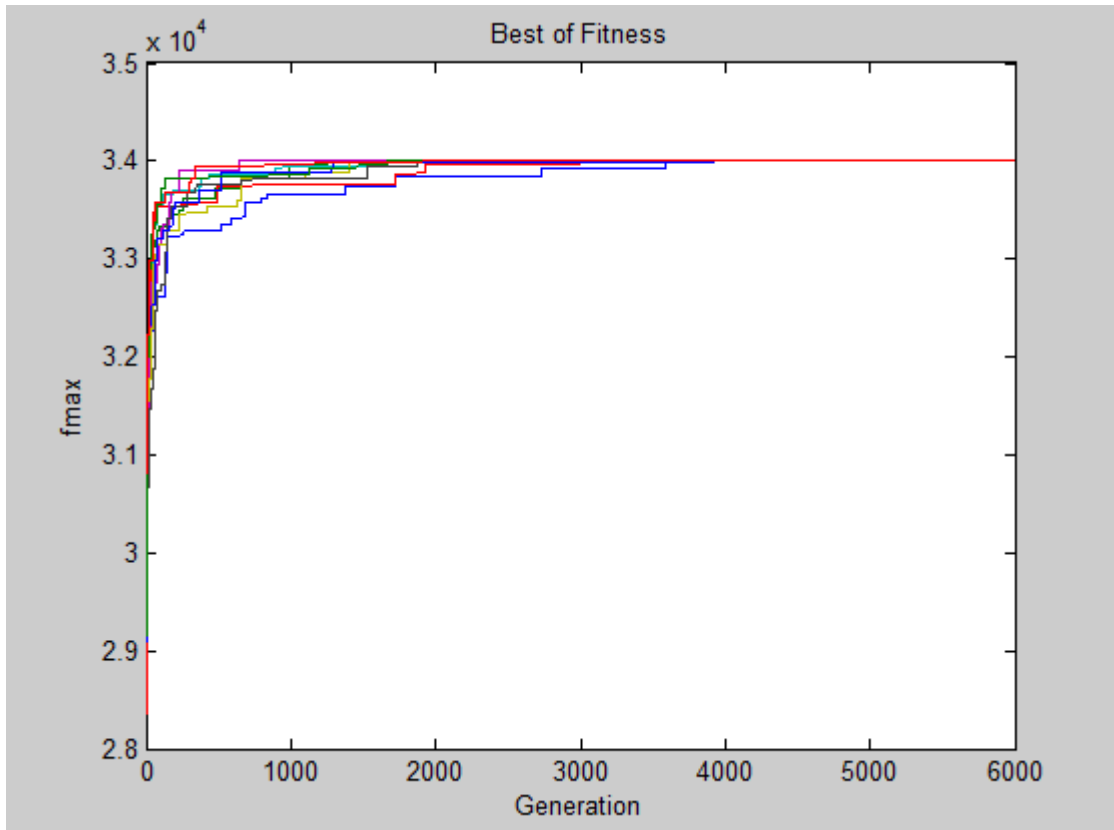
Tablo 15. Armoni Arama Algoritması'na Göre Kayserispor Kadrosu

Pozisyon Numarası	Oyuncu Numarası	Oyuncunun Adı
1	11	Dimitar Ivankov
2	21	Alioum Saidou
3	3	Aydın Toscalı
4	2	Ali Turan
5	14	Koray Çölgeçen
6	20	Ragıp Başdağ
7	24	Delio Toledo
8	4	Dario Cangele
9	17	Mehmet Topuz
10	16	Mehmet Eren Boyraz
11	9	Gökhan Ünal



Şekil 8. Armoni Arama Algoritması'na Göre Kayserispor Kadrosu

AAA'nın problem üzerindeki tutarlılığını test etmek için program ardarda 10 defa çalıştırılarak amaç fonksiyonu değerlerinin izlediği seyir incelenmiştir. İnceleme sonucunda AAA'nın problem üzerinde tutarlı bir şekilde çalıştığı ve her seferinde aynı sonuca ulaştığı belirlenmiştir. Şekil 9'da yer alan grafik bu incelemeyi aktarmaktadır. Grafikte her deneme farklı renklerle ifade edilecek şekilde gösterilmiştir. Belirtilen parametrelerle ortalama 3000 iterasyonda 10 denemenin 9'unda ulaşılan en iyi çözüm elde edilebilmektedir. 4000 iterasyonda bütün denemelerde en iyi çözüm elde edilebilmektedir.



Şekil 9. Armoni Arama Algoritması Sonuçlar Grafiği

AAA'nın parametrelerinin sonuç üzerindeki etkisini belirlemek için yapılan parametre hassasiyet analizi çalışmasına göre bütün parametre bileşenleri bulunan en iyi sonuca ulaşabilmektedir. Bununla birlikte HMS, PAR ve HMCR parametre değerlerindeki değişim sonuca ulaşma süresini etkilemektedir. Tablo 16'da parametre analiz çalışmasının sonuçları yer almaktadır. Arama sürecinde armoni belleğinin 5 gibi küçük bir değer olarak alınması en iyi sonuca ulaşmak için ihtiyaç duyulan iterasyon sayısının artmasına neden olmaktadır. Buna rağmen armoni belleğinin küçüklüğü bir iterasyonun daha hızlı tamamlanmasını sağlamaktadır. HMS'nin 5 olarak belirlenmesi durumunda en iyi sonuca PAR=0,40 ve HMCR=0,90 bileşeniyle ortalama 6500 iterasyonda ulaşılmaktadır. PAR oranının artması, HMCR oranının azalması ihtiyaç duyulan iterasyon sayısını arttırmaktadır. HMCR'nin 10 olarak belirlenmesi durumunda ise en iyi sonuca yine PAR=0,40 ve HMCR=0,90 bileşenleriyle ortalama 3000 iterasyonda ulaşılmaktadır. Yine PAR oranının artması ve HMCR oranının azalması ihtiyaç duyulan iterasyon sayısını arttırmaktadır. Parametre hassasiyet raporu

tablosunda yer alan değerler en iyi sonuca ulaşılan ortalama iterasyon sayısını ifade etmektedir.

Tablo 16. Armoni Arama Algoritması – Parametre Hassasiyet Analizi

HMS: 5			
HMCR\PAR	0.40	0.50	0.60
0.90	6500	8000	7500
0.80	6500	14000	15000
0.70	13000	14500	27500
HMS: 10			
HMCR\PAR	0.40	0.50	0.60
0.90	3000	3500	3500
0.80	3500	4000	5500
0.70	6500	12000	16000

3.4. Problemin Matematiksel Modelinin Çözümü

Problemin çözümü için gerekli amaç fonksiyonu ve kısıtlar futbol oyun kuralları çerçevesinde Boon ve Sierksma'nın çalışmalarında ortaya koydukları şekliyle aşağıdaki gibi belirlenerek problem matematiksel olarak modellenmiştir (Boon ve Sierksma, 2003, 277-292).

$$\begin{aligned}
 & \max \sum_{i=1, \dots, t} \sum_{j=1, \dots, n} W_{ij} x_{ij} \\
 \text{s. t. } & \sum_{j=1, \dots, n} x_{ij} \leq 1 \quad \rightarrow \quad i = 1, \dots, t, \\
 & \sum_{i=1, \dots, t} x_{ij} \leq 1 \quad \rightarrow \quad j = 1, \dots, n, \\
 & x_{ij} \in \{0,1\} \quad \rightarrow \quad i = 1, \dots, t,
 \end{aligned}$$

Amaç fonksiyonu 11 pozisyona yerleştirilen futbolcuların Oyuncu-Pozisyon matrisi puanları toplamını maksimize etmeyi hedeflemektedir. n takımdaki pozisyon sayısını ifade etmektedir ve $n=11$ 'dir. t ise takımdaki pozisyonlara atanabilecek

kadrodaki oyuncu sayısını ifade eder ve $t=25$ 'dir. Modeldeki ilk kısıt ile her oyuncunun en fazla bir pozisyona atanabilmesi, birden fazla pozisyona atanamaması sağlanmaktadır. İkinci kısıt ise her pozisyona sadece bir oyuncunun atanmasını sağlamaktadır. W_{ij} değişkeni, i oyuncusunun j pozisyonu için puanını ifade etmektedir. x_{ij} değişkeni ile i oyuncusunun j pozisyonuna atanıp atanmadığını ifade edilmektedir. 1 atama işleminin yapıldığı, 0 ise yapılmadığını ifade etmektedir (Boon ve Sierksma, 2003, 277-292).

Ele alınan problem DP ile yukarıda belirtilen amaç fonksiyonu, kısıtlarla ve Oyuncu-Pozisyon matrisi verilerine göre çözülmüş ve optimum çözüm şöyle bulunmuştur:

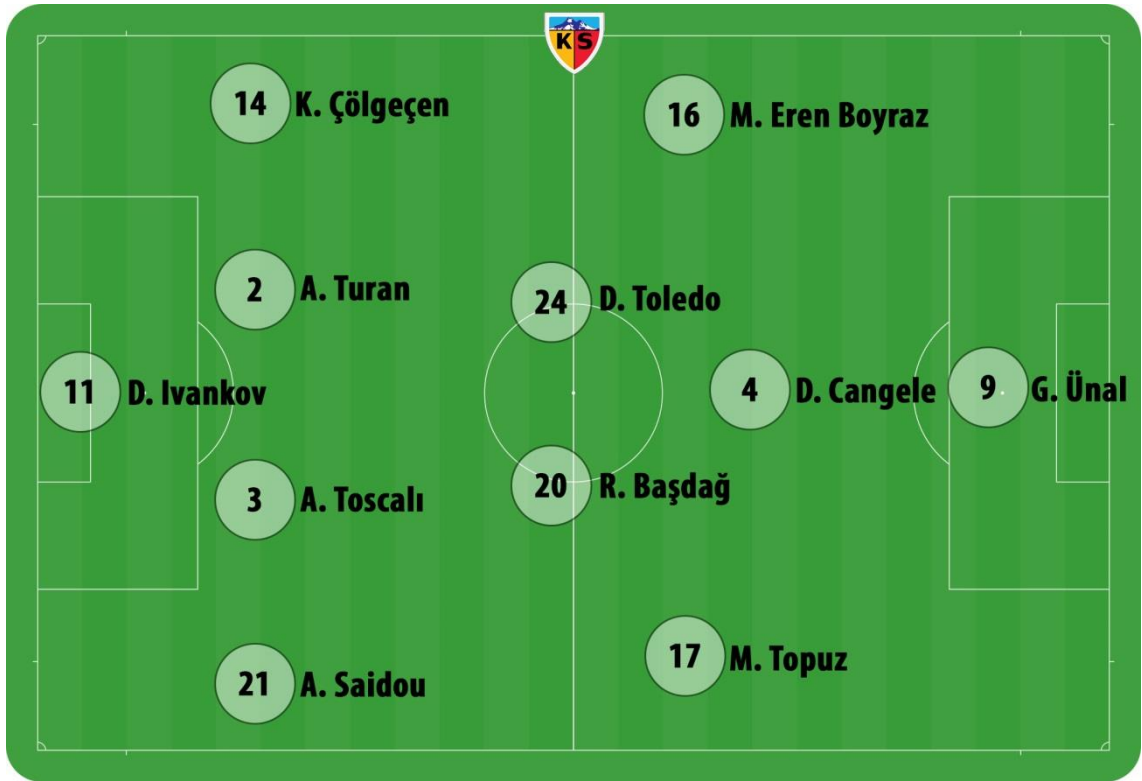
$$f(x) = 34011$$

$$x_{11,1} = x_{21,2} = x_{3,3} = x_{2,4} = x_{14,5} = x_{20,6} = x_{24,7} = x_{4,8} = x_{17,9} = x_{16,10} = x_{9,11} = 1$$

Ulaşılan bu sonuca göre; futbol takımında yer alan oyuncuların sahaya Tablo 17 ve Şekil 10'da gösterildiği gibi çıkması durumunda takım performansının en üst seviyeye çıkacağı öngörülmektedir.

Tablo 17. Matematiksel Model Sonucuna Göre Optimum Takım Kadrosu

Pozisyon Numarası	Oyuncu Numarası	Oyuncunun Adı
1	11	Dimitar Ivankov
2	21	Alioum Saidou
3	3	Aydın Toscalı
4	2	Ali Turan
5	14	Koray Çölgeçen
6	20	Ragıp Başdağ
7	24	Delio Toledo
8	4	Dario Cangele
9	17	Mehmet Topuz
10	16	Mehmet Eren Boyraz
11	9	Gökhan Ünal



Şekil 10. Matematiksel Model Sonucuna Göre Optimum Takım Kadrosu

Ulaşılan bu çözümün amaç fonksiyonu değeri ise 34011'dir. Ele alınan Kayserispor örneği için ulaşılabilecek en iyi çözümü temsil eden bu değer aynı zamanda AAA ile yaklaşmaya çalışılan global optimum değerdir.

3.5. Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

Problemin matematiksel model ile çözümü sonucunda ulaşılan 34011 değerine AAA ile de ulaşılmıştır. Bu sonuç önerilen meta sezgisel yöntemin takım kurma problemlerinin çözümündeki başarısını göstermektedir. Meta sezgisel algoritmalar her ne kadar en iyi sonuca ulaşmayı değil, en iyi sonuca yakın bir sonuca ulaşmayı taahhüt etse de ele alınan problemin çözümünde AAA en iyi çözüme ulaşabilmiştir. Bir futbol takımı için başarıyla uygulanan AAA'nın milli takımlar gibi çok daha büyük ölçekli problemlerin çözümünde de iyi sonuçlar vermesi beklenebilir.

Ulaşılan sonuçlar, sezon boyunca teknik ekibin herhangi bir sakatlık ya da cezalı oyuncu olmaması durumunda kullanmayı tercih ettiği kadroya benzemektedir. Teknik ekibin sezon genelinde tercih ettiği takım dizilişi Ivankov, Koray, Ali, Aydın, Toledo, Ragıp, Saidou, Cangele, Mehmet, M. Eren ve Gökhan'dır. Bu dizilişin Oyuncu-Pozisyon matrisine göre puanı 33972'dir. AAA aynı oyunculardan oluşan farklı bir saha içi diziliş ile toplam puanı 34011'e yükseltmeyi başarmıştır. AAA'nın önerdiği diziliş ise; Ivankov, Saidou, Ali, Aydın, Koray, Ragıp, Toledo, Cangele, Mehmet, M. Eren ve Gökhan şeklindedir.

Teknik ekibin tercih ettiği ve AAA'nın önerdiği dizilişler arasındaki farklılık 2 numaralı pozisyondan kaynaklanmaktadır. Sezon boyu yapılan karşılaşmalar incelendiğinde bu bölgede görevlendirilen oyuncu performanslarından memnun kalınmadığı için sürekli farklı oyuncular denenmiştir. AAA ile bulunan çözüm 7 numaralı pozisyondaki oyuncunun 2, 2 numaralı pozisyondaki oyuncunun 5 ve 5 numaralı pozisyondaki oyuncunun da 7 numaralı pozisyona kaydırılması ile daha iyi bir sonuç elde etmiştir. Teknik ekibin sezon boyu kullanmayı tercih ettiği kadro ve pozisyon dizilişi ile AAA'nın ulaştığı çözümün karşılaştırması Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Kayserispor Kadro Karşılaştırması

3.6. Önerilen Yöntemin Uygulamaya Katkıları

Bu çalışmada futbol için önerilen karar destek sistemi karar verici pozisyondaki profesyonellere aşağıda sıralanan konularda destek verebilecek niteliktedir.

- i. Kadroda yer alan oyunculardan hangileri ile bir sonraki karşılaşmaya başlanılacağı ve belirlenen oyuncuların hangi pozisyonlarda oynatılacağı tespit edilebilir.
- ii. Teknik ekibin istekleri doğrultusunda transferi düşünülen potansiyel bir oyuncunun verileri sisteme eklenerek, potansiyel oyuncunun yeterlilik düzeyi takım içerisinde benzer pozisyonda oynayan oyuncularla karşılaştırılarak transferin takıma olası katkısı öngörülebilir.
- iii. Takımın bütün pozisyonlarında elde edilen oyuncu performanslarının karşılaştırması yapılarak hangi pozisyon açısından takım için bir yetersizlik olduğu tespit edilerek transfer çalışmalarındaki öncelikler belirlenebilir.
- iv. Karar destek sistemi çevrimiçi kullanılarak devam eden oyundaki mevcut koşullara göre alınabilecek oyuncu değişikliği ya da oyuncuların takım içi pozisyon değişikliği gibi kararların alınmasına destek olabilir.
- v. Karşılaşma öncesinde, maç oynanırken olağan dışı durumların meydana gelmesi halinde (takım için önemli bir oyuncunun sakatlanıp oyun dışı kalması ya da oyundan ihraç edilmesi) hangi stratejinin uygulanması gerektiği belirlenebilir.
- vi. Oyuncu izleme ekibi açısından bir oyuncu bilgi havuzu niteliğinde de kullanılabilir bu sisteme istenildiğinde bir oyuncu eklenip istenildiğinde çıkarılabilir, oyuncular arası kıyaslama yapılabilir.
- vii. Teknik direktörün elindeki oyuncu kadrosuna göre kullanması en ideal oyun planının belirlenmesi amacıyla da bu sistem kullanılabilir. Teknik direktörün oynatabileceği birden fazla taktik anlayış varsa, her birine göre takım değerlendirilip toplam katkının en fazla olduğu sistem takım için ideal oyun sistemi olarak belirlenebilir.
- viii. Sadece oyuna başlayacak 11 oyuncuyu belirleme amacıyla değil, yedek kulübesinden oyuna girebilecek durumdaki 7 oyuncunun da belirlenmesi amacıyla problem kapsamı genişletilebilir. Mevcut haliyle 25 kişilik bir oyuncu

grubundan 11 oyuncunun belirlenmesi $P(25,11) = 177.925.144.320.000$ farklı şekilde belirlenebilir. Yedek kulübesinin de belirlenmesi sürece katılacak olursa 25 kişilik bir oyuncu grubundan 18 oyuncunun belirlenmesi toplamda $P(25,18) = 3.077.621.040.343.450.000.000$ farklı şekilde yapılabilmektedir. Alternatif sayılarının bu derece fazla olması aslında tek başına bu kararı alma pozisyonunda olan kişilerin kişisel deneyimleriyle yetinmeyip bunların çeşitli karar destek sistemleri ile desteklenmesi gerçeğinin altını çizmeye fazlasıyla yeterlidir.

SONUÇ

Ele alınan Kayserispor futbol takımı kurma problemi Armoni Arama Algoritması ile çözümlenerek teknik ekip tarafından belirlenen taktik anlayışa göre gelecek karşılaşmaya takımın hangi kadro ile sahaya çıkması gerektiği belirlenebilmiştir. Elde edilen sonuçlar matematiksel modelin ulaştığı sonuçlar ile karşılaştırılmış, AAA ile matematiksel modelin ulaştığı sonuçların aynı olduğu tespit edilmiştir. Algoritma parametrelerinin hassasiyet analizi ile en ideal HMCR değeri 0,90 ve PAR değeri 0,40 olarak belirlenmiştir. Ulaşılan en iyi çözüm alternatifi teknik ekibin sezon boyu kullanmayı tercih ettiği takım ile aynı, ancak farklı bir saha içi dizilişi önerecek niteliktedir. Ulaşılan bu sonuçlar AAA'nın takım kurma problemlerinin çözümünde kullanılabilecek bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Çözülen takım kurma problemi yapısı itibariyle bir atama problemidir. Bu nedenle ulaşılan sonuçlar aynı zamanda AAA'nın atama problemlerinin çözümünde de kullanılabileceğini göstermektedir.

Neredeyse bütün profesyonel oyuncuların oynadığı karşılaşmaların istatistikî verilerine ulaşmanın mümkün olduğu düşünüldüğünde milli takımlar için problemin boyutu hem alternatif oyuncu bakımından hem de pozisyon bakımından çok daha büyük olacaktır. Bu bakımdan ele alınan futbol takımı kurma probleminin çözümünde AAA'nın ulaştığı başarılı sonuçlar çok daha büyük ölçekli milli takım kadrosu belirleme probleminin çözümünde daha objektif bir yaklaşım sergilemek adına kullanılabilir.

Mevcut çalışmada kararların sadece kişilerin görüş ve deneyimlerine göre değil, objektif faktörlere göre verilmesini sağlamak amacıyla oyuncu performansları çeşitli kriterlere göre değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Bu değerlendirme işleminde belirlenen 75 kriterden 26 tanesi objektif kriterlere göre, 49 tanesi ise teknik direktörün görüşleriyle belirlenmiştir. Benzer amaçlı yeni çalışmalarda oyuncuları değerlendirmek için kullanılan Oyuncu-Puan tablosundaki kriterlerden daha fazlasının objektif

yaklaşım ile belirlenmesi sağlanmalıdır. Oyuncu performans verileriyle değerlendirilen kriter oranını hırs ve liderlik gibi ölçmenin mümkün olmadığı kriterlerin varlığı nedeniyle %100'e çıkartmak mümkün değildir. Fakat bu çalışmada %35 olarak sağlanabilen bu oranın gelecek çalışmalarda daha yukarıya çekilmesi mümkündür. Bu amaçla takım istatistikleri sezon boyu toplanırken ihtiyaç duyulan ek verilerin temin edilmesi teknik direktör ve analiz ekibinden talep edilmelidir.

Elde edilen başarılı sonuçlar karar verici konumdaki kişilerin bu çalışmalara daha fazla ilgi göstermesine neden olacaktır. Teknik ekiplerin daha fazla ilgi göstermesiyle kaliteli veri temini daha kolay hale gelecektir. Dolayısıyla bu çalışmanın başarılı sonuçları objektif kriter belirleme imkanının artmasına katkıda bulunacaktır.

Oyuncuları değerlendirirken temel etken niteliğinde kullanılan Kriter Listesi'nin standart hale getirilmesi için profesyonel teknik direktörlerin hepsinin görüşü alınarak ortak bir kriter havuzu oluşturulup, bu liste standartlaştırılabilir. Yine bütün teknik direktörlerin hayallerindeki ideal takıma oynatmak istedikleri taktik anlayışlara göre Pozisyon-Puan tabloları oluşturularak teknik direktörlere farklı sistem alternatiflerinin sonuçları verilebilir. Bu sonuçları değerlendirerek mevcut kadro açısından takım için en uygun sistemin belirlenmesi mümkündür.

Gelecek çalışmalarla AAA'nın takım kurma problemleri üzerindeki performansı AAA'nın geliştirilmiş türevleri ile ya da farklı meta sezgisel yöntemlerle kıyaslanabilir.

Altyapı takımlarının performansları bu sistemle takip edilerek, hangi oyuncunun profesyonel takım için değerlendirmeye uygun bir aday olduğu kararı verilebilir.

Bu çalışmada futbol için önerilen yöntem basketbol ya da voleybol gibi diğer popüler takım sporları açısından da uygulanabilir.

KAYNAKÇA

- Agustin, L. L., S. Sancho-Sanz, E. G. Ortiz-Garcia, A. Portilla-Figueras, A. M. Perez-Bellido ve S. Jimenez-Fernandez. (2011). "Team Formation Based on Group Technology: A Hybrid Grouping Genetic Algorithm Approach". *Computers & Operations Research*, (38), 484-495.
- Al-Betar, M. A., A. T. Khader ve I. Y. Liao. (2010). "A Harmony Search with Multi-Pitch Adjusting Rate for The University Course Timetabling". Z. W. Geem içinde, *Recent Advances in Harmony Search Algorithm*, Cilt 270, s. 147-161.
- Al-Betar, M. A., A. T. Khader ve T. A. Gani. (2012). "A Harmony Search Algorithm for University Course Timetabling". *Annals of Operations Research*, (194), 3-31.
- Atkinson, J. ve D. Rojas. (2009). "On-the-fly Generation of Multi-Robot Team Formation Strategies Based on Game Conditions". *Expert Systems With Applications*, (36), 6082-6090.
- Ayvaz, M. T. (2007). "Simultaneous Determination of Aquifer Parameters and Zone Structures With Fuzzy C-mean Clustering and Meta-Heuristic Harmony Search Algorithm". *Advances in Water Resources*, (30), 2326-2338.
- Ayvaz, M. T. (2009a). "Identification of Groundwater Parameter Structure Using Harmony Search Algorithm". Z. W. Geem içinde, *Music-Inspired Harmony Search Algorithm, Theory and Applications*, Cilt 191, s. 129-140.
- Ayvaz, M. T. (2009b). "Application of Harmony Search Algorithm to the Solution of Groundwater Management Models". *Advances in Water Resources*, (32), 916-924.
- Ayvaz, M. T. (2010). "Solution of Groundwater Management Problems Using Harmony Search Algorithm". Z. W. Geem içinde, *Recent Advances in Harmony Search Algorithm*, Cilt 270, s. 110-122.
- Ayvaz, M. T., A. H. Kayhan, H. Ceylan ve G. Gürarlan. (2009). "Hybridizing the Harmony Search Algorithm with a Spreadsheed "Solver" for Solving

- Continuous Engineering Optimization Problems”. *Engineering Optimization*, 12(41), 1119-1144.
- Ayvaz, M. T., H. Karahan ve G. Gürarlan. (2007). “Su Dağıtım Şebekelerinin Armoni Araştırması Optimizasyon Tekniği ile Optimum Tasarımı”, (5. *Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu, 1-2 Kasım 2007*), Hatay, s. 188-202.
- Badenhausen, K. (2014). “The World's 50 Most Valuable Sports Teams 2014”. *Forbes Dergisi Web Sayfası: <http://www.forbes.com/sites/kurtbadenhausen/2014/07/16/the-worlds-50-most-valuable-sports-teams-2014/>*, (Erişim Tarihi: 23.06.2015)
- Başkan, Ö. ve S. Haldenbilen. (2011). “Stokastik Kullanıcı Dengesi Trafik Atama Problemlerinin Sezgisel Metodlar Kullanılarak Çözümü”. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1), 55-74.
- Bo, G., M. Huang, W. H. Ip ve X. Wang. (2010).” The Application of Harmony Search in Fourth-Pary Logistics Routing Problems”. Z. W. Geem içinde, *Recent Advances in Harmony Search Algorithm*, Cilt 270, s. 135-145.
- Boon, B. H. ve G. Sierksma. (2003). “Team Formation: Matching Quality Supply and Quality Demand”. *European Journal of Operation Research*, (148), 277-292.
- Ceylan, H. ve H. Ceylan. (2009). “Harmony Search Algorithm for Transport Energy Demand Modeling”. Z. W. Geem içinde, *Music-Inspired Harmony Search Algorithm, Theory and Applications*, Cilt 191, s. 163-172.
- Ceylan, H., H. Ceylan, S. Haldenbilen ve Ö. Başkan. (2008). “Transport Energy Modeling with Meta-Heuristic Harmony Search Algorithm, An Application to Turkey”. *Energy Policy*, 36(7), 2527-2535.
- Chakraborty, P., G. G. Roy, S. Das ve D. Jain. (2009). “An Improved Harmony Search Algorithm with Differential Mutation Operator”. *Fundamenta Informaticae*, 4(95), 401-426.
- Cheng, Y. M. (2009). “Modified Harmony Search Methods for Slope Stability Problems”. Z. W. Geem içinde, *Music-Inspired Harmony Search Algorithm, Theory and Applications*, Cilt 191, s. 141-162.

- Cheng, Y.M., L. Li, T. Lansivaara, S. C. Chi ve Y. J. Sun. (2008). “An Improved Harmony Search Minimization Algorithm Using Different Slip Surface Generation Methods for Slope Stability Analysis”. *Engineering Optimization*, 40(2), 95-115.
- Cisty, M. (2010). “Application of The Harmony Search Optimization in Irrigation”. Z. W. Geem içinde, *Recent Advances in Harmony Search Algorithm*, Cilt 270, s. 123-134.
- Cobos, C., D. Estupinan ve J. Perez. (2011). “GHS+LEM: Global Best Harmony Search using Learnable Evolution Models”. *Applied Mathematics and Computation*, (218), 2558-2578.
- Coelho, L. dos S. ve D. L. de A. Bernert. (2009). “An Improved Harmony Search Algorithm for Synchronization of Discrete-time Chaotic Systems”. *Chaos, Solitions and Fractals*, (41), 2526-2532.
- Coelho, L. dos S. ve D. L. de A. Bernert. (2010). “A Harmony Search Approach Using Exponential Probability Distribution Applied to Fuzzy Logic Control Optimization”. Z. W. Geem içinde, *Recent Advances in Harmony Search Algorithm*, Cilt 270, s. 77-88.
- Değertekin, S. O. (2008). “Optimum Design of Steel Frames Using Harmony Search Algorithm”. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 36 (4), 393-401.
- Değertekin, S. O. (2012). “Improved Harmony Search Algorithm for Sizing Optimization of Truss Structures”. *Computers and Structures*, (92-93), 229-241.
- Enrique Alexandre, L. Cuadra ve R. Gil-Pita. (2009). “Sound Classification in Hearing Aids by The Harmony Search Algorithm”. Z. W. Geem içinde, *Music-Inspired Harmony Search Algorithm, Theory and Applications*, Cilt 191, s. 173-188.
- Fesanghary, M. (2009). “Harmony Search Applications in Mechanical, Chemical and Electrical Engineering”. Z. W. Geem içinde, *Music-Inspired Harmony Search Algorithm, Theory and Applications*, Cilt 191, s. 71-86.

- Fesanghary, M. (2010). "An Introduction to The Hybrid HS-SQP Method and Its Applications". Z. W. Geem içinde, *Recent Advances in Harmony Search Algorithm*, Cilt 270, s. 99-109.
- Fesanghary, M., M. Mahdavi, M. Minary-Jolandan ve Y. Alizadeh. (2008). "Hybridizing Harmony Search Algorithm with Sequential Quadratic Programming from Engineering Optimization Problems". *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, (197), 3080-3091.
- Fesanghary, M., E. Damangir ve I. Soleimani. (2009). "Design Optimization of Shell and Tube Heat Exchangers Using Global Sensitivity Analysis and Harmony Search Algorithm". *Applied Thermal Engineering*, (29), 1026-1031.
- Forsati, R. ve M. Mahdavi. (2010). "Web Text Mining Using Harmony Search". Z. W. Geem içinde, *Recent Advances in Harmony Search Algorithm*, Cilt 270, s. 51-64.
- Forsati, R., M. Mahdavi, M. Kangavari ve B. Safarkhani. (2008). "Web Page Clustering Using Harmony Search Optimization". (*Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, CCECE 2008, 4-7 May 2008*), IEEE, Niagara Falls, Ontario, Kanada, s. 1601-1604.
- Fourie, J., S. Mills ve R. Green. (2010). "Visual Tracking Using Harmony Search". Z. W. Geem içinde, *Recent Advances in Harmony Search Algorithm*, Cilt 270, s. 37-50.
- Gao, X. Z., X. Wang ve S. J. Ovaska. (2009). "Harmony Search Methods for Multi-Modal and Constrained Optimization". Z. W. Geem içinde, *Music-Inspired Harmony Search Algorithm, Theory and Applications*, Cilt 191, s. 39-52.
- Geem, Z. W. (2005). "School Bus Routing Using Harmony Search". *GECCO*, s. 25-29.
- Geem, Z. W. (2006a). "Optimal Cost Design of Water Distribution Networks using Harmony Search". *Engineering Optimization*, 3(38), 259-280.
- Geem, Z. W. (2006b). "Improved Harmony Search from Ensemble of Music Players". *Lecture Notes in Computer Science*, (4251), 86-93.

- Geem, Z. W. (2008). "Novel Derivative of Harmony Search Algorithm for Discrete Variables". *Applied Mathematics and Computation*, (199), 223-230.
- Geem, Z. W. (2009b). "Harmony Search Optimization to the Pump-Included Water Distribution Network Design". *Civil Engineering and Environmental Systems*, 3(26), 211-221.
- Geem, Z. W. (2009c). "Particle-Swarm Harmony Search for Water Network Design". *Engineering Optimization*, (4), 297-311.
- Geem, Z. W. (2010b). "State-of-the-Art in the Structure of Harmony Search Algorithm". *Studies in Computational Intelligence*, (270), 1-10.
- Geem, Z. W. (2010c). "Multiobjective Optimization of Time-Cost Trade-Off Using Harmony Search". *Journal of Construction Engineering and Management*, 6(136), 711-716.
- Geem, Z. W. ve J. C. Williams. (2007). "Harmony Search and Ecological Optimization". *International Journal of Energy and Environment*, (1), 150-154.
- Geem, Z. W., C. L. Tseng ve J. C. Williams. (2009). "Harmony Search Algorithms for Water and Environmental Systems". Z. W. Geem içinde, *Music-Inspired Harmony Search Algorithm, Theory and Applications*, Cilt 191, s. 113-128.
- Geem, Z. W., J. H. Kim ve G. V. Loganathan. (2001). "A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search". *Simulation*, 76(2), 60-68.
- Geem, Z. W., K. S. Lee ve C. L. Tseng. (2005). "Harmony Search for Structural Design". (*Genetic and Evolutionary Computation Conference, 2005*), Washington: GECCO, s. 651-652.
- Geem, Z. W., K. S. Lee ve Y. Park. (2005). "Application of Harmony Search to Vehicle Routing". *American Journal of Applied Sciences*, 2(12), 1552-1557.
- Geem, Z. W., M. Fesanghary, J. Y. Choi, M. P. Saka, J. C. Williams, M. T. Ayvaz, L. Li, S. Ryu ve A. Vesabi. (2008). "Recent Advances in Harmony Search". *Advances in Evolutionary Algorithms*, s.468.

- Geem, Zong Woo (2009a). *Music-Inspired Harmony Search Algorithm*, (Cilt 191). Berlin, Heidelberg, Almanya: Studies in Computational Intelligence.
- Geem, Zong Woo (2010a). *Recent Advances in Harmony Search Algorithm*, (Cilt 270). Berlin, Heidelberg, Almanya: Studies in Computational Intelligence.
- Hasançebi, O., F. Erdal ve M. P. Saka. (2010). "Adaptive Harmony Search Method for Structural Optimization". *Journal of Structural Engineering*, ASCE(136), 419-431.
- Hong-Qi, L., L. Li, T. H. Kim ve X. Shao-Long. (2008). "An Improved PSO-Based Harmony Search for Complicated Optimization Problems". *International Journal of Hybrid Information Technology*, 1(1), 57-64.
- Ingram, G. ve T. Zhang. (2009). "Overview of Applications and Developments in The Harmony Search Algorithm". Z. W. Geem içinde, *Music-Inspired Harmony Search Algorithm, Theory and Applications*, Cilt 191, s. 15-38.
- Jager, J. M., ve W. I. Schöllhorn. (2012). "Identifying Individuality and Variability in Team Tactics by Means of Statistical Shape Analysis and Multilayer Perceptrons". *Human Movement Science*, (31), 303-317.
- Jang, W. S., H. I. Kang ve B. H. Lee. (2008). "Hybrid Simplex-Harmony Search Method for Optimization Problems". (*IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2008*), Hong Kong 2008, s. 4157-4164.
- Kattan, A., R. Abdullah ve R. A. Salam. (2010). "Harmony Search Based Supervised Training of Artificial Neural Networks". *International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation*, Liverpool: ISMS, s. 105-110.
- Kaveh, A. ve S. Talatahari. (2009). "Particle Swarm Optimizer, Ant Colony Strategy and Harmony Search Scheme Hybridized for Optimization of Truss Structures". *Computers and Structures*, (87), 267-283.
- Kaveh, A., A. S. M. Abadi, ve S. Z. Moghaddam. (2012). "An Adapted Harmony Search Based Algorithm for Facility Layout Optimization". *International Journal of Civil Engineering*, 1(10), 37-42.

- Kayhan, A. H. (2011). “Eurocode-8 ile Uyumlu Ölçeklendirilmemiş İvme Kaydı Setlerinin Armoni Araştırması Tekniği ile Elde Edilmesi”. (1. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim 2011*), ODTÜ, Ankara.
- Kayhan, A. H. (2012). “Armoni Araştırması ile İvme Kaydı Seçimi ve Ölçeklendirme”. *İMO Teknik Dergisi*, (368), 5751-5775.
- Kougias, I. ve N. Theodosiu. (2010). “A New Music-Inspired Harmony Based Optimization Algorithm. Theory and Applications”. *International Conference on Protection and Restoration of the Enviroment*, X. Corfu.
- Lee, K. S. ve Z. W. Geem. (2004). “A New Structural Optimization Method Based On The Harmony Search Algorithm”. *Computers and Structures*, (82), 781-798.
- Lee, K. S. ve Z. W. Geem. (2005). “A New Meta-Heuristic Algorithm for Continuous Engineering Optimization: Harmony Search Theory and Practice”. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, (194), 3902-3933.
- Lee, K. S., Z. W. Geem, S. H. Lee ve K. W. Bae. (2005). “The Harmony Search Heuristic Algorithm for Discrete Structural Optimization”. *Engineering Optimization*, 7(37), 663-684.
- Mahdavi, M. (2009). “Solving NP-Complete Problems by Harmony Search”. Z. W. Geem içinde, *Music-Inspired Harmony Search Algorithm, Theory and Applications*, Cilt 191, s. 53-70.
- Mahdavi, M., M. Fesanghary ve E. Damangir. (2007). “An Improved Harmony Search Algorithm for Solving Optimization Problems”. *Applied Mathematics and Computation*, (188), 1567-1579.
- Mashinchi, M. H., M. A. Orgun, M. Mashinchi ve W. Pedrycz. (2011). “A Tabu-Harmony Search Based Approach to Fuzzy Linear Regression”. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 19(3), 432-448.
- Mohsen, A. M., A. T. Khader ve D. Ramachandram. (2010). “An Optimization Algorithm Based on Harmony Search for RNA Secondary Structure Prediction”. Z. W. Geem içinde, *Recent Advances in Harmony Search Algorithm*, Cilt 270, s. 163-174.

- Mughal, K. U. (2015). "Top 10 Most Popular Sports In The World". Sporteology Web Sayfastı: <http://sporteology.com/top-10-popular-sports-world/>, (Erişim Tarihi: 23.06.2015)
- Omran, M. G. H. ve M. Mahdavi. (2008). "Global-best Harmony Search". *Applied Mathematics and Computation*, (198), 643-656.
- Osama, M. A. ve R. Mandava. (2011). "The Variants of Harmony Search Algorithm: An Overview". *Artificial Intelligence Review*, (36), 49-68.
- Pan, Q. K., P. N. Suganthan, J. J. Liang ve M. F. Taşgetiren. (2010). "A Local-Best Harmony Search Algorithm With Dynamic Subpopulations". *Engineering Optimization*, 2(42), 101-117.
- Panchal, A. (2009). "Harmony Search in Therapeutic Medical Physics". Z. W. Geem içinde, *Music-Inspired Harmony Search Algorithm, Theory and Applications*, Cilt 191, s. 189-204.
- Panigrahi, B. K. , V. R. Pandi, S. Das ve A. Abraham. (2010). "Population Variance Harmony Search Algorithm to Solve Optimal Power Flow With Non-Smooth Cost Function". Z. W. Geem içinde, *Recent Advances in Harmony Search Algorithm*, Cilt 270, s. 65-75.
- Saka, M. P. (2009). "Optimum Design of Steel Skeleton Structures". Z. W. Geem içinde, *Music-Inspired Harmony Search Algorithm, Theory and Applications*, Cilt 191, s. 87-112.
- Strnad, D. Ve N. Guid. (2010). "A Fuzzy-Genetic Decision Support System for Project Team Formation". *Applied Soft Computing*, (10), 1178-1187.
- Şahin, Y. G. (2011). "A Team Building Model for Software Engineering Courses Term Projects". *Computers & Education*, (56), 916-922.
- Tangpattanakul, P., A. Meesomboon ve P. Artrit. (2010). "Optimal Trajectory of Robot Manipulator Using Harmony Search Algorithm". Z. W. Geem içinde, *Recent Advances in Harmony Search Algorithm*, Cilt 270, s. 23-36.

- Tavana, M., F. Azizi, F. Azizi ve M. Behzadian. (2013). "A Fuzzy Inference System with Application to Player Selection and Team Formation in Multi-Player Sports". *Sport Management Review*, (16), 97-110.
- Wang, C. M. ve Y. F. Huang. (2010). "Self-Adaptive Harmony Search Algorithm for Optimization". *Expert Systems With Applications*, (37), 2826-2837.
- Wang, L., Q. K. Pan ve M. F. Taşgetiren. (2011). "A Hybrid Harmony Search Algorithm for The Blocking Permutation Flow Shop Scheduling Problem". *Computers & Industrial Engineering*, (61), 76-83.
- WEB_1. (2015). Biggest Global Sports İnternet Sitesi - World's Biggest Sports Web Sayfası: <http://biggestglobalsports.com/worlds-biggest-sports/4580873435> (Erişim Tarihi: 23.06.2015)
- WEB_2. (2015). Biggest Global Sports İnternet Sitesi - World's Biggest Sports / By Country/Region (Turkey) Web Sayfası: <http://biggestglobalsports.com/by-countryregion/4585580681> (Erişim Tarihi: 23.06.2015)
- WEB_3. (2015). Türkiye Futbol Federasyonu İnternet Sitesi – Futbol Oyun Kuralları Web Sayfası: http://www.tff.org.tr/Resources/TFF/Images/000000014/TFF/MHK/kural_kitap_14_15_son.pdf (Erişim Tarihi: 23.06.2015)
- WEB_4. (2015). Türkiye Futbol Federasyonu İnternet Sitesi – Süper Lig 2007-2008 Sezonu Web Sayfası: <http://www.tff.org/Default.aspx?pageID=752> (Erişim Tarihi: 23.06.2015)
- WEB_5. (2015). Türkiye Futbol Federasyonu İnternet Sitesi – Türkiye Kupası 2007-2008 Sezonu Web Sayfası: <http://www.tff.org/Default.aspx?pageID=819> (Erişim Tarihi: 23.06.2015)
- Xu, H., X. Z. Gao, T. Wang ve K. Xue. (2010). "Harmony Search Optimization Algorithm: Application to a Reconfigurable Mobile Robot Prototype". Z. W. *Geem içinde, Recent Advances in Harmony Search Algorithm*, Cilt 270, s. 11-22.

- Yadav, P., R. Kumar, S. K. Panda ve C. S. Chang. (2012). “An Intelligent Tuned Harmony Search Algorithm for Optimisation”. *Information Sciences*, (196), 47-72.
- Yang, X. S. (2009). “Harmony Search as a Metaheuristic Algorithm”. Z. W. Geem içinde, *Music-Inspired Harmony Search Algorithm, Theory and Applications*, Cilt 191, s. 1-14.
- Yıldız, A. R. ve F. Öztürk. (2010). “Hybrid Taguchi-Harmony Search Approach for Shape Optimization”. Z. W. Geem içinde, *Recent Advances in Harmony Search Algorithm*, Cilt 270, s. 89-98.
- Zarei, O., M. Fesanghary, B. Farshi, R. J. Saffar ve M. R. Razfar. (2009). “Optimization of Mult-Pass Face-Milling via Harmony Search Algorithm”. *Journal of Materials Processing Technology*, (209), 2386-2389.
- Zou, D., L. Gao ve L. J. Wu. (2011). “An Effective Global Harmony Search Algorithm for Reliability Problems”. *Expert Systems with Applications*, (38), 4642-4648.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı soyadı: Sabri GÜNGÖR

Doğum Tarihi ve Yeri: 05.08.1982 / KAYSERİ

Adres: ERÜ İİBF İşletme Bölümü D-317 Melikgazi / KAYSERİ

Telefon: 0352 207 66 66 Dahili: 30154

E-posta: sgungor@erciyes.edu.tr

İş Denevimleri

Uzman – Erciyes Üniversitesi İİBF Sayısal Yöntemler ABD (2012-)

Arş. Gör. – Bozok Üniversitesi İİBF Üretim Yönetimi ve Paz. ABD (2011-2012)

Bilgi İşlem Sorumlusu – Kayserispor Futbol Kulübü (2007-2009)

Eğitim

Yüksek Lisans – Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme (2008-2015)

Lisans – Erciyes Üniversitesi İİBF, İşletme (2003-2007)

Önlisans – Erciyes Üniversitesi Kayseri MYO, Bilgisayar D. Muhasebe (2001-2003)

Lise – Kayseri Ticaret Meslek Lisesi, Muhasebe (2000)

Yabancı Diller

İngilizce: İyi

Macarca: Başlangıç