



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HEMŞİRE ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN
BİR METASEZGİSEL YAKLAŞIM

ECE ÇETİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım-2015
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ece ÇETİN tarafından hazırlanan “Hemşire Çizelgeleme Problemi için Bir Metasezgisel Yaklaşım” adlı tez çalışması 30/11/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Mehmet AKTAN

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Ahmet SARUCAN

Üye


Doç. Dr. İsmail KARAOĞLAN

İmza



İsmail K.

Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Prof. Dr. Aşır GENÇ
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ece ÇETİN

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HEMŞİRE ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN BİR METASEZGİSEL YAKLAŞIM

Ece ÇETİN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet SARUCAN

2015, 74 Sayfa

Jüri

Yrd. Doç. Dr. Ahmet SARUCAN

Prof. Dr. Mehmet AKTAN

Doç. Dr. İsmail KARAOĞLAN

Hizmet sunumunun etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi için insan kaynağının yönetilmesi adına yapılan çalışmalardan birisi işgücü çizelgelerinin oluşturulmasıdır. Bu kapsamda özellikle sağlık personelinin çoğunluğunu oluşturması açısından hemşire çizelgelerinin hazırlanması ön plana çıkmaktadır. Hemşire Çizelgeleme Problemleri (HÇP), hemşireler için uygun bir çizelgenin oluşturulmasında karar vermeyi sağlayan ve bunu yaparken de yasal düzenlemeler, hemşire tercihleri, hastane politikaları ve ihtiyaçları gibi sistem kısıtlarını göz önünde bulunduran çözümü oldukça zor karmaşık optimizasyon problemleridir. Problemin çözülmesi için literatürde kesin çözüm algoritmaları, sezgisel ve metasezgisel yöntemlerin kullanıldığı pek çok çalışma bulunmaktadır. Özellikle büyük boyutlu problemlerde deterministik yöntemler çözüme ulaşmada çok fazla zaman ve maliyet gerektirebileceğinden gözler sezgisel ve metasezgisel yöntemlere çevrilmiştir.

Yapılan tez çalışmasının ilk aşamasında literatürde yer alan bir veri seti için son zamanlarda gelişim gösteren ve pek çok probleme uyarlanabilen Harmoni Arama Algoritması (HAA) uygulanmış ve sonuçlar aynı veri setine uygulanan diğer sezgisel yöntemlerle karşılaştırılarak algoritmanın performansı değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda klasik HAA'nın performansı diğer sezgisel yöntemlerle kıyaslandığında yetersiz bulunmuştur. Çalışmanın ikinci aşamasında ise HAA için literatürde önerilen yeni yaklaşımlar göz önüne alınarak bu yaklaşımların algoritmanın performansı üzerindeki etkileri araştırılmış ve algoritmanın performansı iyileştirilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile HÇP için geliştirilen ve paralel HAA olarak adlandırılan bu algoritmanın etkin bir şekilde kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Harmoni Arama Algoritması, Hemşire Çizelgeleme Problemi, Metasezgiseller

ABSTRACT

MS THESIS

A METAHEURISTIC APPROACH FOR NURSE SCHEDULING PROBLEM

Ece ÇETİN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Ahmet SARUCAN

2015, 74 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Ahmet SARUCAN

Prof. Dr. Mehmet AKTAN

Doç. Dr. İsmail KARAOĞLAN

One of the researches made on behalf of the management of human resources for the effective implementation of service delivery is the creation of personnel schedules. In this context, especially in terms of creating the majority of health care systems, creating nurse schedules comes to the fore. Nurse scheduling problem (NSP) provides a decision in the creation of an appropriate schedule for nurses, and in doing so, takes the system constraints such as legal regulations, nurses' preferences, hospital policies and requirements into account, which are complex optimization problems quite difficult to solve. There are many studies in the literature which uses exact solution algorithms, heuristics and metaheuristics approaches. Especially in large scale problems, deterministic methods may be required too much time and cost to reach solution, so heuristic and metaheuristic approaches come to the fore instead of exact methods.

In the first phase of the thesis work, Harmony Search Algorithm (HSA), which can be adapted to many problems and showed progress recently, was applied on a dataset in the literature and algorithm performance was evaluated by comparing the results with the other heuristics that were applied on the same dataset. As a result of the evaluations the performance of the Classical HSA was inadequate when compared to other heuristics. In the second phase of the study, by considering new approaches proposed by the literature for HSA, the effects of these approaches on the algorithm's performance were investigated and the target was to improve the performance of the algorithm. According to the results, it has been determined that the improved algorithm which is called as parallel HSA can be used effectively for nurse scheduling problems.

Keywords: Harmony Search Algorithm, Nurse Scheduling Problem, Metaheuristics

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam süresince bölümümüzde rahat ve huzurlu bir çalışma ortamı sağlayan başta Endüstri Mühendisliği Bölümü Başkanı Sayın Prof. Dr. Ahmet PEKER olmak üzere tüm bölüm hocalarıma; gösterdiği sabır ve anlayışla desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen öneri ve bilgilerini benimle paylaşan değerli hocam ve kıymetli danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet SARUCAN'a; programlama konusunda önyargılarımı kıran Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail KARAOĞLAN' a; manevi olarak her türlü yardım ve fedakârlığı sağlayarak bugünlere gelmemde çok büyük emeği olan ve her kalkıştığım işten başarılı çıkmamı sağlayacak olan azmi bana veren canım aileme; ve tez çalışmam boyunca desteğini esirgemeyerek beni motive eden Sercan YAĞMUR'a bu çalışmanın diğer akademik çalışmalarına basamak olması dileğiyle sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ece ÇETİN
KONYA-2015

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
3.1. Materyal	8
3.1.1. İşgücü çizelgeleme problemleri	8
3.1.2. Hemşire çizelgeleme problemleri	9
3.1.3. Hemşire çizelgeleme problemlerinin modellenmesi.....	10
3.1.4. Araştırmada kullanılan test problemleri	16
3.2. Metot	20
3.2.1. Harmoni arama algoritması	20
3.2.2. Harmoni arama algoritması için kaynak araştırması	23
3.2.2. Paralel harmoni arama algoritması	27
4. HAA’NIN HÇP’YE UYGULANMASI.....	30
4.1. Klasik Harmoni Arama Algoritmasının HÇP’ ye Uygulanması	30
4.2. Paralel Harmoni Arama Algoritmasının HÇP’ ye Uygulanması.....	40
4.3. Önerilen Paralel Harmoni Arama Algoritmasının HÇP’ ye Uygulanması.....	42
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	47
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR	68

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

N_i	: Hemşireler $\{i = 1, 2, \dots, n\}$,
D_j	: Günler $\{j = 1, 2, \dots, d\}$,
S_k	: Vardiyalar $\{k = 1, 2, \dots, s\}$,
n	: Hemşire sayısı,
d	: Çizelgeleme periyodundaki gün sayısı,
s	: Vardiya tipi sayısı,
HM	: Harmoni belleği,
HMS	: Harmoni belleği boyutu,
sub_HM	: Gruplandırılmış harmoni belleği,
sub_HMS	: Gruplandırılmış harmoni belleği boyutu,
g	: Grup sayısı,
$HMCR$: Harmoni belleğini dikkate alma oranı,
PAR	: Ton ayarlama oranı,
NI	: Maksimum iterasyon sayısı,

Kısaltmalar

HÇP	: Hemşire Çizelgeleme Problemleri
HAA	: Harmoni Arama Algoritması

1. GİRİŞ

Hizmet sektörü içerisinde yer alan ve ülke ekonomisinde önemli bir paya sahip olan sağlık sektörünün insan sağlığına ve ekonomiye olumlu etkileri sağlık hizmetlerinin topluma verimli ve yeterli biçimde ulaştırılmasıyla sağlanabilir. Sağlık hizmetleri sisteminin gereken değişimleri sağlayabilmesi, toplumun beklentilerini karşılayabilmesi, etkili ve verimli bir sağlık hizmeti sunabilmesi için olması gereken en önemli kaynak insan kaynağıdır (Sayan ve Uluç, 2013). Bu nedenle sağlık sektöründe insan kaynağının yönetilmesi ve geliştirilmesi çok önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Hizmet sunumunun etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi için insan kaynağının yönetilmesi adına yapılan çalışmalardan birisi işgücü çizelgelerinin oluşturulmasıdır. Bu kapsamda özellikle sağlık personelinin çoğunluğunu oluşturması açısından hemşire çizelgelerinin hazırlanması ön plana çıkmaktadır.

Hemşire Çizelgeleme Problemleri (HÇP), hemşireler için uygun bir çizelgenin oluşturulmasında karar vermeyi sağlayan ve bunu yaparken de yasal düzenlemeler, hemşire tercihleri, hastane politikaları ve ihtiyaçları gibi sistem kısıtlarını göz önünde bulunduran karmaşık optimizasyon problemleridir. Osogami ve Imai (2000) yapmış oldukları çalışmada hemşire çizelgeleme probleminin NP-zor yapısını kanıtlamışlardır. Tüm bu çerçevede incelendiğinde HÇP; hasta taleplerindeki değişkenlik, hemşirelerin uzmanlık seviyeleri, organizasyonel özellikler, öngörülemeyen devamsızlıklar ve personelin kişisel istekleri gibi faktörler ilave edilerek daha da karmaşık bir hale gelmiştir. Ayrıca personel istekleri ve iş yükünü dengelemek için gereken ihtiyaçlar gibi bazı durumlar da birbiriyle çelişmektedir (Azaies ve Sharif, 2005). Özellikle büyük boyutlu problemlerde göz önünde bulundurulan kısıt sayısı çok fazla olduğundan HÇP zor ve zaman alan bir görev olarak nitelendirilebilir.

Belirtilen özellikleri dikkate alındığında HÇP uzun yıllar önemini kaybetmeyen bir araştırma konusu olmuştur. Literatürde hemşire çizelgeleme problemleri için geliştirilen pek çok çözüm yaklaşımı bulunmaktadır. HÇP adına yapılan ilk çalışmalarda geleneksel matematiksel modeller önerilse de gerçek hayat problemlerinde bu modeller, problemin zor ve karmaşık yapısı sebebiyle etkin olarak kullanılamamıştır. Özellikle büyük boyutlu problemlerde kısıt sayısının fazlalığı ve birbiriyle çelişen kısıtlara rastlanması nedeniyle deterministik yöntemler çözüme ulaşmada çok fazla zaman ve maliyet gerektirebilirler. Çözüm uzayının büyüklüğünden dolayı optimal

çözümler her zaman makul zaman zarfında elde edilememektedir. Bu nedenle diğer pek çok NP-zor sınıfına giren problemlerde olduğu gibi son yıllarda HÇP'nin çözümü için sezgisel yöntemler üzerine yoğunlaşmıştır. Bu şekilde büyük boyuttaki problemler için makul bir zamanda optimal ya da optimale yakın çözümler bulunabilmektedir. Sezgisel algoritmalar, genellikle, optimumu tam bulan algoritmalara göre daha hızlı çalışma avantajına sahiptir (Taha, 2000). Hızlı ve doğru karar vermenin hayati öneme sahip olduğu sağlık sektörü ile problemin NP-zor yapısı göz önüne alındığında yapılacak olan çalışmada sezgisel algoritmaların kullanılması daha uygun bulunmuştur.

Bu çalışmada 24 saat kesintisiz hizmet veren sağlık kuruluşlarında vardiya sistemi ile çalışan hemşirelerin çizelgelenmesi için son zamanlarda gelişim gösteren ve pek çok probleme uyarlanabilen Harmoni Arama Algoritması (HAA) önerilmiştir. Bu çalışmanın amacı, HAA'yı tüm yönleriyle incelemek ve HAA'nın hemşire çizelgeleme problemi konusunda ortak bir problem seti üzerindeki başarısını değerlendirmektir. Geliştirilen algoritmanın etkinliğini artıracak faktörleri belirlemeye yönelik araştırma ve çalışmalar da, amaç kapsamına dâhil edilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, HAA tabanlı bir algoritma önerilmiş ve önerilen algoritmanın çözüm başarısı literatürden seçilen çok sayıda test problemine uygulanarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda HAA'nın performansı aynı test problemlerine uygulanan diğer sezgisellerle kıyaslandığında yetersiz bulunmuştur. Bu sebeple HAA'nın HÇP üzerindeki performansını artırmak amacıyla paralel HAA yaklaşımı önerilmiştir. Yapılan çalışma paralel HAA algoritmasının HÇP'ye uygulandığı ilk çalışma olması nedeniyle önem arz etmektedir. Elde edilen sonuçlar ile HÇP için önerilen paralel HAA yaklaşımının etkin bir şekilde kullanılabileceği belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde HÇP ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde HÇP'nin özelliklerine değinilerek çözüm yöntemi olarak kullanılan HAA ile ilgili açıklayıcı bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde önerilen yaklaşımların HÇP'ye uygulama çalışması ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Beşinci bölümde klasik HAA, paralel HAA ve önerilen paralel HAA yaklaşımları olmak üzere üç farklı yaklaşımın performansı değerlendirilmiştir. Son bölümde ise araştırma sonuçlarının genel bir değerlendirmesi yapılarak, gelecekte yapılabilecek çalışmalara yönelik öneriler sunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde hemşire çizelgeleme problemi için kullanılan sezgisel ve metasezgisel yöntemlerle ilgili kaynak araştırması sunulmuştur.

Osogami ve Imai (2000), hemşire çizelgeleme problemlerinin çözümünde yerel arama yaklaşımından yararlanmışlardır. Çalışmada komşuluk operatörü ve çözüm uzayına bağlılığına göre dört farklı komşuluk yapısı karşılaştırılmıştır.

Jan ve ark.'nın (2000), yapmış oldukları çalışmada çok amaçlı programlama modeli geliştirilmiş ve çözümünde işbirlikçi genetik algoritma yaklaşımı kullanılmıştır. Bunun sebebi işbirlikçi genetik algoritma yaklaşımının rekabetçi genetik algoritmanın aksine eş zamanlı olarak hem hemşirelerin bireysel çizelgelerini hem de ele alınan problemin son çözümü olan bütünsel çizelgeyi incelemesidir. Önerilen algoritmanın çok ajanlı evrimsel bir algoritma olan karınca kolonisi yaklaşımı ile karşılaştırılarak etkinliği kanıtlanmıştır.

Burke ve Cowlig (2001), çalışmalarında tabu arama yaklaşımının küçük boyutlu problemler için oldukça etkin olduğunu göstererek daha büyük boyutlu gerçek hayat problemleri için sağlamlığını tartışmışlardır. Hem tabu arama hem de memetik algoritmanın avantaj ve dezavantajlarını göz önünde bulundurarak bu iki yaklaşımı içeren yeni bir melez yaklaşım sunmuşlardır. Önerilen yeni yaklaşımın başlangıç çözümlerden ve parametre değişikliklerinden kısmen daha az etkilendiği ve diğer iki yönteme göre daha iyi sonuçlara ulaştığı kanıtlanmıştır.

Dias ve ark. (2003), problemin çözümünde hem genetik algoritmadan hem de tabu aramadan yararlanmışlardır. İki algoritmada kullanıcı dostu bir ara yüzle desteklenerek Brezilya'da bir üniversite hastanesinde uygulanmıştır. Sonuçlar iki yöntemin de başarılı olduğunu göstermiştir. Genetik algoritmayla elde edilen çözümler daha iyi olsa da tabu arama algoritması zaman açısından daha etkin olduğunu kanıtlamıştır.

Bellantı ve ark. (2004), uygun olmayan çizelgelerin üretilmesini önlemek için kısmi çözümler üzerinde komşuluk arama sürecine dayanan ağgözlü bir algoritma önermişlerdir. Geliştirilen model İtalya'da bir hastanede uygulanmıştır. Önerilen modelin hastanede bulunan mevcut çizelgeden daha iyi olduğu kanıtlanmıştır.

Özcan (2005), çalışmasında problemin çözümü için sapmayla yönlendirilmiş hiyerarşik tepe tırmanmaya dayalı memetik algoritmayı kullanmıştır. Çalışmada

algoritmanın performansını değerlendirmek için farklı mutasyon ve çaprazlama operatörleri denenmiştir.

Burke ve ark. (2006), çalışmalarını Belçika'da bulunan çok sayıdaki hastanede uygulamışlardır. Çalışma, başlatma algoritması ve metasezgisel süreç olmak üzere iki aşamalıdır. Başlatma algoritması gevşek kısıtları göz önüne almadan sadece sıkı kısıtları sağlayan uygun bir çizelgenin oluşturulmasında kullanılmaktadır. Çalışmada literatürde sıklıkla kullanılan sabit zaman aralıklı vardiya kapsamının yerine gerçek hayat problemlerinde daha çok kullanılan ve daha esnek olan değişken zaman aralıklı kapsama problemleri incelenmiştir.

Maenhout ve ark. (2007), hemşire çizelgeleme problemleri için elektro manyetizma isimli yeni bir sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Önerilen algoritma gelecek vadede çözümlere doğru hareket etmek için parçaların itme ve çekme fonksiyonunu kullanan fizik teorisine dayanmaktadır. Algoritma farklı problemler üzerinde denenmiş ve sağlamlığı kanıtlanmıştır.

Aickelin ve Li (2007), problemin çözümünde evrimsel bir algoritma olan dağılım tahmin algoritmasını kullanmışlardır. Çalışmada bayes ağlarına dayalı yeni bir çizelgeleme algoritması geliştirilmiştir. Çalışma Bayes ağlarının personel çizelgeleme problemlerine uyarlandığı ilk çalışmadır. Diğer kural tabanlı yaklaşımların aksine çalışmada kullanılan kurallar sabit değil esnek yapıdadır.

Bester ve ark. (2007), yeniden çizelgeleme durumunda mevcut çizelgedeki eksiklikleri minimize etmek amacıyla farklı tabu arama hamlelerini test ettikten sonra birleşik hareketin daha iyi sonuçlar elde ettiğini gözlemlemişlerdir. Bu hareket tipi NuRoDSS isimli bir karar destek sistemine entegre edilerek çözüme ulaşılmıştır.

Aickelin ve ark. (2007), dağılım tahmini yönteminde her bir iterasyonda oluşturulan çözümleri geliştirmek için karınca kolonisi algoritmasını kullanmışlardır. Araştırmanın uzun dönemli amacı insan öğrenmesini modelleyebilmektir.

Parr ve Thompson (2007), yerel arama süreci olan Sawing ve Noising modellerini karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışmada tavlama benzetimi algoritmasının genel özelliklerini taklit eden Noising süreci daha iyi sonuçlar elde etmiştir.

Gutjahr ve Rauner (2007), karınca kolonisi optimizasyonu yaklaşımını hemşire çizelgeleme problemi için ilk kez kullanmışlardır. Çalışmada literatürde sıklıkla yer alan sabit parametrelili problemlerin aksine dinamik parametrelili bir problem yapısı ele alınmıştır. Önerilen yöntemin, açgözlü atama algoritmasına göre daha iyi sonuçlar elde ettiği belirlenmiştir.

Moz ve Pato (2007), yapmış oldukları çalışmada genetik algoritmadan yararlanmışlardır. Çalışmada kodlama ve genetik operatörlerde farklılığa giderek algoritmanın farklı versiyonları geliştirilmiştir. Lizbon'da bir hastanede uygulanan yaklaşımda iki farklı sezgisel yapı kullanılmıştır. İlkinde görevler hemşirelere doğal sırasıyla atanırken ikincisinde rassal yapı kullanılmıştır. Rassal yapı kullanıldığında daha iyi sonuçların elde edildiği gözlenmiştir.

Burke ve ark. (2008), başlangıç çözümlerin oluşturulmasında ceza puanlarını göz önüne alan sezgisel sıralama algoritmasını kullanmışlardır. Başlangıç çözüm oluşturulduktan sonra değişken komşuluk arama yöntemi uygulanan çalışmada iki farklı komşuluk yapısı kullanılmıştır. Önerilen yöntem genetik algoritmayla karşılaştırılmış ve daha iyi sonuçlar elde ettiği gözlenmiştir.

Maenhout ve Vanhoucke (2008), genetik algoritma yaklaşımından yararlanmışlardır. Çalışmada başlangıç popülasyonunun oluşturulmasında ceza puanlarını göz önüne alan yapıcı bir sezgisel kullanılmıştır. Farklı çaprazlama operatörlerinin karşılaştırıldığı çalışmada hemşire-gün tabanlı çaprazlama operatörünün diğer operatörlere göre daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

Beddoe ve ark. (2009), farklı yöneticiler tarafından kullanılmak üzere esnek olarak tasarlanan CABAROST (Case Based Rostering) sistemini kullanmışlardır. Sistem kısıtlardan sapmaları iteratif olarak onarmaktadır. Bu onarımların sırası son çizelgenin kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Makalede sistem tarafından üretilen onarımların optimal sıralamalarını araştıran genetik algoritma ve CABAROST sisteminin hibritlendiği memetik bir algoritma önerilmiştir. Yazarlar memetik algoritma ile CABAROST sisteminin ürettiği kayıtları kullanarak, bir hastanedeki gerçek problemler için kabul edilebilir sonuçlara ulaşmışlardır.

Brucker ve ark. (2010), problemin çözümünde iki aşamalı bir yaklaşım kullanmışlardır. İlk aşamada sadece sıralama kısıtları göz önüne alınarak hemşireler için bireysel olarak kaliteli sıralamaların oluşturulması sağlanmıştır. İkinci aşamada ise tüm kısıtlar göz önünde bulundurularak iteratif olarak tüm hemşireler için bütünsel bir çizelge oluşturulmuştur. Hem kısmi çizelgelerin iyileştirilmesinde hem de bütünsel çizelge yapılandırıldıktan sonra, açgözlü yerel arama stratejisi kullanılmıştır. Yöntem mevcut veri seti ile sınanmış ve çizelgenin oluşturulmasında yerel arama sezgiselinin kullanılmasının çözüm kalitesini iyileştirdiği belirtilmiştir.

Burke ve ark. (2010), dağınık arama yaklaşımını kullanmışlardır. Araştırmacılar başlangıç çözümlerin oluşturulmasında nesil çeşitlendirme yöntemi kullanırken çözümler arasındaki benzerliğin ölçülmesinde ortak vardiya sayılarından yararlanmışlardır.

Maenhout ve Vanhoucke (2011), herhangi bir beklenmeyen durum meydana geldiğinde çizelgelerin uygunluğunu koruyabilmek adına tüm kısıtları göz önünde bulunduran yeni bir uygun çizelgenin yapılandırılmasında evrimsel bir algoritma önermişlerdir.

Lu ve Hao (2012), hemşire çizelgeleme problemi için iki farklı komşuluk hamlesi kullanan ve arama geçmişine göre üç farklı arama stratejisi arasında geçiş yapabilen bir komşuluk arama stratejisi geliştirmişlerdir.

Li ve ark.'nın (2012) yapmış oldukları çalışmada hedef programlama yöntemi ile metasezgisel yöntemler hibritlenmiştir. Hedef programlama ile sadece sıkı kısıtların sağlandığı bir başlangıç çözümü elde edilmiştir. Bu şekilde sonraki metasezgisel aramaların yakınsaması hızlandırılmıştır.

Hadwan ve ark. (2013), hemşire çizelgeleme problemleri için harmoni arama algoritmasını kullanmışlardır. Algoritma öncelikle literatürden elde edilen bir probleme uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar genetik algoritmayla kıyaslandığında daha başarılı bulunmuştur. Çalışmanın ikinci aşamasında ise algoritma parametrelerinin algoritmaya etkisi araştırılmak üzere Malezya'da bulunan bir hastaneden elde edilen gerçek veri seti kullanılmıştır.

Constantino ve ark. (2013), MAPA (multi assignment problem based algorithm) olarak adlandırılan atama problemlerinin ardışık çözümüne dayalı bir algoritma geliştirmişlerdir. Algoritma yapılandırma ve iyileştirme aşaması olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Yapılandırma aşamasında planlama periyodundaki her bir gün için atama problemi ardışık olarak çözümlenerek bütünsel bir çizelge oluşturulurken, iyileştirme aşamasında daha iyi çizelgeler elde edilmesi amacıyla sezgisel süreçlerden yararlanılmıştır.

Wong ve ark. (2014), yapmış oldukları çalışmada tablolarla tabanlı iki aşamalı bir sezgisel yaklaşım önermişlerdir. Önerilen model Hong Kong'da bir hastanenin acil servisinde uygulanmıştır. İlk aşamada sadece sıkı kısıtlar göz önüne alınarak başlangıç uygun çözüm elde edilmiştir. İkinci aşamada hemşire tercihlerinden oluşan gevşek kısıtları iyileştirmek için sıralı yerel arama algoritması uygulanmıştır. Sezgiselin uygulanmasında arka planında VBA (Visual Basic for Applications) çalışan Excel

tablolama kullanılmıştır. Bu nedenle programlama ile ilgisi çok az olan kişiler bile kolaylıkla algoritmada değişiklik yapabilmektedir. 0-1 programlama yöntemiyle kıyaslandığında önerilen yöntem kesin çözümü garanti edemese de çok kısa sürede kolaylıkla optimale yakın çözüme ulaştığından ve problem yapısı üzerinde kolaylıkla değişiklik yapılabilirdiğinden oldukça kullanışlı bulunmuştur.

Smet ve ark. (2014), hemşire çizelgeleme probleminde amaç fonksiyonunu tüm kısıtları göz önünde bulundurarak sunulan hizmeti aksatmayacak şekilde çalışan sayısını minimize etmek olarak belirlemişler ve problemin çözümünde iki aşamalı sezgisel bir yaklaşım önermişlerdir. Karma tamsayılı programlama ve sezgisel yaklaşımın kullanıldığı çalışmanın başarısı kanıtlanmıştır.

Wu ve ark. (2015), problemin çözümü için öncelikle matematiksel bir model önermişler ardından problemin karmaşık yapısını vurgulayarak parçacık sürüsü optimizasyonu yaklaşımından yararlanmışlardır. Hemşireler arasında adil vardiya dağıtımının hedef alındığı problemde önerilen yöntemin tüm gerçek test problemlerinde optimal sonuca ulaştığı görülmüştür.

Tassopoulos ve ark. (2015), literatürde sıklıkla kullanılan bir problem seti üzerinde iki aşamalı değişken komşuluk arama yaklaşımından yararlanmışlardır. Önerilen yaklaşım beş farklı yöntemle kıyaslanmış ve problemlerin büyük çoğunluğunda bulunan en iyi çözümleri geçtiği belirtilmiştir.

Chiaromonte ve ark. (2015), iteratif yerel arama tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen sistem büyük bir hastanede test edilmiş ve hem literatürdeki tamsayılı programlama çözümleri hem de hastanede kullanılan mevcut sistemle karşılaştırılmıştır. Öncelikli amacı hemşire tercihlerinin karşılanması olan problemde hastanede uygulanan anket sonuçları hemşirelerin önerilen sistemi daha başarılı bulduğunu göstermiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. İşgücü çizelgeleme problemleri

Günümüzde hizmet sektörünün ülke ekonomileri içindeki yeri, kalkınmışlık ölçütü olarak değerlendirilmekte ve hizmet endüstrilerine, gelişmenin ekonomik lideri olarak bakılmaktadır. Bu nedenle küreselleşen dünyamızda bu sektörün değişen rekabet stratejileri ve verimlilik açısından önemle ele alınması gerekmektedir.

Hizmet sektöründe verimliliği ölçmedeki en önemli faktör, kalitedir. Bu sektörde kullanılan en temel kaynak insan kaynağı olduğundan hizmet kalitesinin artırılması için işgücünün etkin bir şekilde kullanılması önem arz etmektedir. İnsan kaynağının etkin bir şekilde kullanılması adına yapılan çalışmalardan birisi işgücü çizelgelerinin oluşturulmasıdır.

Literatürde işgücü çizelgeleme problemleri ile ilgili çok sayıda çalışma mevcuttur. Baker (1976), işgücü çizelgeleme problemlerini üç gruba ayırmıştır. Bunlar: “İzin Günü Çizelgeleme Problemleri” (days-off scheduling), “Vardiya Çizelgeleme Problemleri” (shift scheduling) ve “Tur Çizelgeleme Problemleri”dir (tour scheduling). İzin günü çizelgeleme problemlerinde izin günleri ve mola zamanları belirlenirken bu problemler görev tabanlı talebin olduğu durumlardan ziyade vardiya tabanlı veya esnek talebin olduğu durumlar için kullanılmaktadır. Tur çizelgeleme problemleri vardiya çizelgeleme ve izin çizelgeleme problemlerinin bütünleştirilmiş halini kapsamaktadır. Tur çizelgeleme problemlerinde amaç günün her saatindeki talebi mümkün olan en düşük sayıda işgücü ile karşılayabilmek için gerekli işgücünün turlara atanmasını sağlamaktır (Sungur, 2007). Vardiya çizelgeleme problemi ise çalışanların her bir vardiya için talebi karşılayacak şekilde uygun vardiyalara atanması problemidir ve ilk olarak 1954’ te Edie tarafından otoyol ücret standında çalışan operatörleri çizelgelemek için geliştirilmiştir. Çalışma, Dantzig (1954) tarafından doğrusal programlama yaklaşımı ile modellenmiş ve çeşitli vardiya çizelgeleme problemleri için temel oluşturmuştur.

3.1.2. Hemşire çizelgeleme problemleri

İşgücü çizelgeleme problemlerinin uygulama alanlarından birisi sağlık sektörüdür. 7 gün 24 saat kesintisiz hizmet veren sağlık kuruluşlarında süreç çıktısının insan hayatı olduğu göz önüne alındığında verilen hizmetin etkili ve verimli bir şekilde sunulması hayati önem taşımaktadır. Bunu sağlamak için yeterli nicelik ve nitelikte sağlık personelinin doğru zamanda ve doğru yerde istihdam edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda vardiya sistemiyle çalışılan hastanelerde sağlık personelinin çoğunluğunu oluşturması açısından hemşire çizelgeleme problemleri ön plana çıkmaktadır.

Hemşire çizelgeleme problemleri NP-zor yapısı kanıtlanan ve kırk yılı aşkın bir süredir çalışılan karmaşık optimizasyon problemleridir. Hemşire çizelgeleme problemi ile ilgili olarak yapılan ilk çalışmalardan biri 1976'da Warner tarafından gerçekleştirilmiştir. Hemşire çizelgeleme problemlerinin temeli için önemli bir kaynak olan bu çalışmada çizelgeleme yapılırken göz önünde bulundurulması gereken beş farklı ölçüt tanımlanmıştır. Bunlar:

- Belirli bir görev için gereksinim duyulan personel sayısı ile ifade edilen kapsama (coverage) ölçütü,
- Çizelgelerin hemşireler açısından adil olmasıyla ilgilenen kalite (quality) ölçütü,
- Hemşireler tarafından öngörülen durumlar ile gerçekleşen durumlar arasındaki farkı ifade eden istikrar (stability) ölçütü,
- Sistemin çevresel değişimlere ne kadar adapte olabileceğiyle ilgilenen esneklik (flexibility) ölçütü ve
- Karar vermek için ne kadar kaynak kullanıldığı ile ilgilenen yani çizelgelerin hazırlanması için kullanılan zaman ve işgücü ile ifade edilen maliyet (cost) ölçütü 'dür.

Literatürde yapılan pek çok çalışmada çizelgelerin hazırlanmasında karar vericinin öncelikleri ve problem yapısına göre şekillenen bu ölçütler göz önünde bulundurulmuştur.

Sonuç olarak hemşire çizelgeleme problemleri yasal sınırlandırmalar, hastanelerin personel politikaları, hemşire tercihleri ve problem yapısına bağlı olarak değişebilen pek çok diğer kısıt göz önünde bulundurularak, hemşirelerin belirli bir dönem boyunca verilen hizmeti karşılayabilecek düzeyde en uygun şekilde görevlendirilmesi sürecidir.

Yapılan araştırmalarda hastanelerde genellikle, birimin sorumlu hemşiresi tarafından hasta yoğunluğu dikkate alınarak aylık veya haftalık periyotlar için manuel olarak çizelgelerin hazırlandığı görölmektedir. Uygulamada çizelgeler yasal düzenlemelere bağlı olarak personel ihtiyaçlarını karşılayacak ve hastane açısından da işgücü maliyetlerini minimize edecek şekilde hazırlanmaya çalışılmaktadır. Bu noktada göze çarpan en büyük eksiklik çizelgeler hazırlanırken vardiyalı ve nöbetli çalışan hemşirelerin tercih ve isteklerinin yeterince göz önünde bulundurulmamasıdır. Özellikle iş doyumunda azalma ve tükenmişlik nedenlerinden birisi olarak görölen vardiyalı çalışma ve nöbetli çalışmanın etkilerinin araştırılması ve bu etkilerle baş edebilmek için gerekli önlemlerin alınması hemşireler ve yöneticiler için büyük bir önem taşımaktadır (ILO, 2001).

Tüm bu çerçeve incelendiğinde hem çalışanların istek ve beklentilerini göz önünde bulundurarak onların tatmin seviyesini artıracak hem de yasal kısıtlamaları düşünerek hastane talebini karşılayacak bir çizelgenin oluşturulması, zaman alıcı zor bir iş haline gelmektedir. Gerçek hayat problemleri ise hasta taleplerindeki değişkenlik, hemşirelerin uzmanlık seviyeleri, organizasyonel özellikler, öngörülemeyen devamsızlıklar ve personelin kişisel istekleri gibi faktörlerle karşı karşıya kaldığı için daha da karmaşık bir hale gelmiştir.

Bu nedenle hızlı ve doğru karar vermenin hayati önem taşıdığı hastanelerde istenilen kalitede uygun bir çizelgenin oluşturulması için geleneksel manuel yaklaşımdan ziyade bilgisayar destekli çalışmalar önem kazanmıştır. Önceki bölümde değinildiği gibi hemşire çizelgeleme problemi için önerilmiş pek çok yaklaşım bulunmaktadır. Çalışmanın bundan sonraki bölümünde hemşire çizelgeleme problemi farklı yönleriyle incelenmeye çalışılmıştır.

3.1.3. Hemşire çizelgeleme problemlerinin modellenmesi

3.1.3.1. HÇP için kullanılan karar değişkenleri ve parametreler

Cheang ve ark. (2003), hemşire çizelgeleme problemi için geliştirilen modelleri üç başlık altında incelemişlerdir:

i) Hemşire- Gün Yapısı Modeli için kullanılan karar değişkeni izleyen şekildedir. Vardiya sayısı (Z) problem yapısına göre değişkenlik gösterebilmektedir.

$$v_{ij} = \begin{cases} 0, & i. \text{ hemşire } j. \text{ gün çalışmıyorsa,} \\ 1, & i. \text{ hemşire } j. \text{ gün 1. vardiyada çalışıyorsa,} \\ Z, & i. \text{ hemşire } j. \text{ gün Z. vardiyada çalışıyorsa} \end{cases}$$

0-1 Programlama yapısı için karar değişkeni izleyen şekilde de kullanılmaktadır.

$$v_{ijk} = \begin{cases} 1, & i. \text{ hemşire } j. \text{ gün } k. \text{ vardiyada çalışıyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

ii) Hemşire- Görev Yapısı Modeli hemşire-gün yapısı modelinin benzeridir. İki model arasındaki tek fark hemşire-görev modelindeki vardiya tanımı bir güne karşılık gelmek zorunda değildir, bir günün herhangi bir zaman diliminde başlayıp diğer gün bitebilir. Modelde kullanılan karar değişkeni izleyen şekilde tanımlanmıştır.

$$v_{is} = \begin{cases} \text{çizelgelenmiş,} & i. \text{ hemşire } s. \text{ görevde çalışıyorsa,} \\ \text{boşta,} & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

iii) Hemşire- Vardiya Yapısı Modeli önceki iki yaklaşımdan farklıdır. Her bir vardiya modeli bir hemşirenin planlama dönemi boyunca çalışabileceği vardiya desenlerini göstermektedir. Hemşireler çizelgelerinin daha yalın yapıda olmasını tercih edeceklerinden modelde az sayıda vardiya deseninin olması tercih edilmektedir. Bu model için kullanılan karar değişkeni izleyen şekildedir.

$$v_{ip} = \begin{cases} 1, & i. \text{ hemşire } p. \text{ vardiya deseninde çalışıyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

Hemşire çizelgeleme problemlerinde literatürde sıklıkla karşılaşılan parametreler ise çizelgeleme periyodu büyüklüğü, çizelgelenecek çalışan sayısı, sistemdeki vardiya tipi sayısı, yasal kısıtlar ve hastane politikalarına göre hafta bazında bir hemşirenin çalışması gereken vardiya sayısı, hemşirelerin atandıkları vardiya desenlerine göre şekillenen tercih maliyetleri, hastane talepleri dikkate alınarak belirli vardiyalarda belirli yetkinlikteki hemşirelere ihtiyaç duyulan sayı vb. olarak çoğaltılabilir.

3.1.3.2. Hemşire çizelgeleme probleminde kısıtlar

Diğer pek çok problemde olduğu gibi hemşire çizelgeleme problemlerinde de kısıtlar sıkı ve gevşek kısıtlar olmak üzere iki ana başlıkta incelenebilir. Kısıtların sıkı ve gevşek olarak gruplandırılması problem yapılarına ve sistem özelliklerine göre farklılık gösterebilmektedir. Cheang ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada belirtilen ve literatürde sıklıkla karşılaşılan kısıtlar izleyen şekildedir:

- Hemşirelerin iş yükleri (minimum, maksimum)
- Ardışık aynı vardiyada çalışma sayısı (minimum, maksimum veya belirli bir sayıda)
- Ardışık çalışılan vardiya sayısı, ardışık çalışılan gün sayısı (minimum, maksimum)
- Hemşirelerin etkinlik düzeyleri
- Hemşire tercihleri veya gereksinimleri
- Hemşirelerin izinli olma durumları veya ardışık izinli olma durumları (minimum, maksimum)
- Çalışma vardiyaları arasındaki boş geçen dinleme süreleri (minimum)
- Vardiya tiplerine göre atamalar (her bir vardiya tipi için gereksinim duyulan hemşire sayıları)
- Tatiller ve bayramlar (tahmin edilebilen izin günleri)
- Hafta sonlarında çalışma durumları
- Hemşire grupları arasındaki kısıtlamalar (birlikte çalışmasına izin verilmeyen ya da birlikte çalışmak zorunda olan hemşireler)
- Vardiya desenleri
- Geçmiş kayıtlar (önceki dönem atamaları)
- Planlama sürecinden daha kısa veya daha uzun dönemler için diğer ihtiyaçlar
- Vardiyalar arasındaki kısıtlar (aynı anda aynı hemşireye tek bir vardiya atanabilmesi durumu)
- Talep olarak ifade edilen, herhangi bir vardiya için gereksinim duyulan hemşire sayısı (minimum, maksimum veya belirli bir sayıda)

Hafta sonları belirli vardiyalarda çalışma, iş yükleri arasındaki denge, cumartesi ve pazarı kapsayacak şekilde tam bir hafta sonu (iki gün) izinli olma veya çalışma ve periyodik kısıtlamalar karşılaşılan diğer gevşek kısıtlardan bazılarıdır.

3.1.3.3. Hemşire çizelgeleme probleminde amaç fonksiyonları

Optimizasyon problemi olarak ele alınan matematiksel programlama modellerinde sistemi en iyileyecek performans ölçütü olarak maksimizasyon veya minimizasyon tabanlı standart amaç fonksiyonu yaklaşımı kullanılmaktadır.

Diğer modellerde sonuçları değerlendirmek için literatürde sıklıkla kullanılan yaklaşımlardan biri olan cezalandırma yaklaşımına başvurulmaktadır. Ceza fonksiyonunun ana mantığı kısıtların dışında kalan çözümlerin amaç fonksiyonunu büyüterek, problemin ideal çözüme ulaşmasına yardımcı olmaktır. Yani en az ceza alan çözüm en iyi çözüm olarak nitelendirilmektedir. Ceza yaklaşımı uygun çözümün garanti edilemediği durumlar için kullanışlıdır. Fonksiyonlarının karmaşıklığı ve kısıtlardan sapmalar için atanan ceza değerleri problem yapısına göre değişebilmektedir. Genellikle sıkı kısıtlar için gevşek kısıtlara oranla daha yüksek bir ceza değeri atanarak problem çözümüne gidilmektedir.

3.1.3.4. Hemşire çizelgeleme problemi tipleri

Cheang ve ark. (2003) hemşire çizelgeleme problemleri için geliştirilen modelleri ve kısıtları göz önünde bulundurarak bu problemleri iki başlık altında incelemiştir. Bunlar optimizasyon problemleri ve karar problemleridir.

Yapılan ilk çalışmalarda hemşire çizelgeleme problemleri optimizasyon problemi olarak ele alınmış ve matematiksel programlama teknikleri kullanılarak minimizasyon veya maksimizasyon problemi olarak formüle edilmiştir. Matematiksel programlama yaklaşımları kombinatoriyal optimizasyon problemleri için kullanılan kesin yaklaşımlardır. Doğrusal programlama, tamsayılı programlama ve hedef programlama yaklaşımları bu problemleri çözmek için literatürde sıklıkla kullanılan yaklaşımlardandır.

Hemşire çizelgeleme problemlerinde kısıt sayısının fazlalığı dikkate alındığında optimizasyon yaklaşımları yetersiz kalmış ve gözler diğer yaklaşımlara çevrilmiştir. Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalarda kısıt programlama yaklaşımı zor problemleri çözümedeki yeteneği sayesinde büyük önem kazanmıştır. Kısıt sağlama problemlerini çözmek için pek çok yazılım ve paket program geliştirilmiştir. Bu yazılım ve programlar zor problemleri hızlı ve etkin bir şekilde çözebilen ve kullanıcı tarafından

şekillendirilen oldukça esnek yapıdadır. Bunun dışında sezgisel ve metasezgisel yöntemler de kısıt sağlama problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılmaktadır.

Standart kısıt sağlama problemi ile birlikte bir amaç fonksiyonunu içeren problemler ise kısıt sağlama optimizasyon problemleri olarak adlandırılmaktadır. Kısıt sağlama optimizasyon problemlerinde optimal çözümün bulunmasında dal-sınır algoritmaları yaygınlıkla kullanılmaktadır.

Pek çok hemşire çizelgeleme problemi çok kısıtlı yapıdadır ve herhangi bir kısıttan sapma olmadan çözüme ulaşmak oldukça zordur. Bu nedenle kısıtlara göreceli önem düzeyi verilerek kısıtların öncelik sıralamalarına göre bazı kısıtlardan saparak çözüme ulaşılabılır. Bu problemlerde kısmi kısıt sağlama problemleri olarak ele alınır ve kısıt sağlama problemlerinden her kısıtı sağlamak zorunda olmaması yönüyle ayrılır.

Sonuç olarak karar problemleri başlığı altında incelenen daha karmaşık yapıdaki problemler kısıt sağlama problemi algoritmaları, dal-sınır algoritması ve dal-sınır algoritması ile yapay zekâ tekniklerinin birlikte kullanılmasıyla çözülebilmektedir.

3.1.3.5.Hemşire çizelgeleme problemi için çözüm yaklaşımları

Burke ve ark. (2004) tarafından yapılan araştırmada çözüm yaklaşımları, genellikle tek hedefli modeller için geliştirilen matematiksel programlama yaklaşımları, birden fazla hedef olması durumunda kullanılan çok amaçlı yaklaşımlar ve hedef programlama, karar destek sistemlerini de içinde barındıran yapay zekâ yöntemleri, problem yapısı karmaşıklıktıkça kullanılan sezgiseller ve metasezgisel yöntemler olmak üzere beş başlık altında incelenmiştir.

Literatürde hemşire çizelgeleme problemi adına yapılan ilk çalışmalar matematiksel programlamaya dayanmaktadır. Araştırmacılar problemin çözümü için doğrusal ve tamsayı programlama yaklaşımlarından yararlanmışlardır. Warner ve Pravda (1972), gün bazında belirli miktar vardiyayı garanti eden belirli yetkinlik düzeyindeki hemşirelerin sayısını belirlemek için karma tamsayı kuadratik programlama formülasyonu geliştirmişlerdir. Amaç hemşire sayısı için belirlenen alt limit ile gerçekleşen hemşire ataması arasındaki farkın minimizasyonudur. Önerilen modelle hemşire eksikliğinden kaynaklanan hizmet kalitesinin azalma maliyetinde yaklaşık %70 oranında iyileşme sağlanmıştır. Trivedi ve Warner (1976), personel yetersizliği durumunda farklı birimlerden kısa dönemli hemşire atamalarını düzenlemek için dal-sınır algoritmasından yararlanmışlardır. Rosenbloom ve Goertzen (1987),

döngüsel çizelgeleme problemi için tamsayılı matematiksel programlama modeli geliştirmişlerdir. Millar ve Kiragu (1998), döngüsel ve döngüsel olmayan problem tipleri için her bir düğümü uygun bir çalışma desenini ifade eden bir ağ yapısı geliştirmişlerdir. Moz ve Pato (2004), yeniden çizelgeleme (re-rostering) problemini ele almışlar ve problem için sadece sıkı kısıtları göz önünde bulunduran iki farklı tamsayılı akış modeli geliştirerek modellerin sonuçlarını birbirleriyle kıyaslamışlardır.

Gerçek hayat problemlerinin yapısında birden fazla hedef barındırması sonucu bu yaklaşımlar yetersiz gelerek çok kriterli karar verme teknikleri ve hedef programlama yaklaşımı ön plana çıkmıştır. Arthur ve Ravidran (1981) hemşire çizelgeleme problemi için iki aşamalı bir hedef programlama yaklaşımı önermişlerdir. İlk aşamada hemşireler iki haftalık çizelgeleme periyodu boyunca çalışma ve izin günlerine hedef programlama modeli ile atanmakta, ikinci aşamada ise sezgisel bir süreç kullanılarak vardiyalara atama işlemi gerçekleştirilmektedir. Özkarahan (1991) bir karar destek sistemi için hedef programlama yaklaşımı önermiştir. Model tam zamanlı çalışan personelden yararlanmayı maksimum düzeye çıkarmayı, fazla ve eksik çalışmayı minimize etmeyi ve bu şekilde personel maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamaktadır. Azaiez ve ark. (2005), hemşire çizelgeleme problemine, 0-1 hedef programlama yaklaşımı uygulamışlardır. Geliştirilen modelde hem hastane isteklerine hem de hemşire tercihlerine yer verilmiştir. Hastane hedefleri, yeterli donanım ve sayıdaki hemşirelerle gereksiz fazla mesaiden kaynaklanan ek maliyetlerden kaçınarak sürekli hizmetin sağlanmasıdır. Gece nöbeti oranı, hafta sonları izni gibi özellikle görevlerin adil dağıtılmasını içeren hemşire tercihleri ise makale için yürütülen bir anket çalışmasından elde edilmiştir.

Bilgisayar dünyasının gelişim göstermesiyle karar verme problemlerinde yapay zekâ sistemlerine ve uzman sistemlere başvurulmuştur. Okada ve Okada (1988) vardiya atamasında kullanılmak üzere Prolog isimli mantık programlama dilinde bir bakım sistemi geliştirmişlerdir. Darmoni ve ark. (1995) kısıt tabanlı programlama yaklaşımından yararlanan Horoplan isimli bir yazılım geliştirmişlerdir. Abdennadher ve Schlenker (1999) yine kısıt programlamaya dayalı Interdip isimli interaktif bir program kullanmışlar ve önerilen programı gerçek bir hastanede uygulayarak test etmişlerdir. Petrovic ve ark. (2003) çalışmalarında durum tabanlı düşünme (case based reasoning) yaklaşımını sunmuşlardır. Önerilen sistem bireysel çizelgeleme yaklaşımını otomatikleştirmeye dayanmakta ve İngiltere’de bazı hastanelerde günümüzde de uygulanmaktadır. İnsan tarzını taklit etmeye yönelik olan sistem benzer problemlere

benzer çözümler gerekir yaklaşımından yola çıkarak geçmiş deneyimleri kullanmaktadır.

Doğası gereği hemşire çizelgeleme problemleri çok kısıtlı ve karmaşık yapıdadır. Bu nedenle son yıllarda yapılan çalışmalarda gerçek hayat problemlerinin boyutu düşünüldüğünde kesin yöntemlerle çözülemeyen problemler için tatmin edici sürede optimale yakın sonuçlar veren sezgisel ve metasezgisel yöntemler yaygınlıkla kullanılmıştır. Hemşire çizelgeleme problemi için kullanılan bu yaklaşımlara çalışmanın literatür araştırması kısmında yer verilmiştir. Yapılan çalışmada Harmoni Arama Algoritması sezgiselinden yararlanılmıştır. İzleyen bölümde araştırmada kullanılan test problemlerine değinildikten sonra önerilen algoritmaya ayrıntılı olarak yer verilecektir.

3.1.4. Araştırmada kullanılan test problemleri

Maenhout ve Vanhoucke (2005) yapmış oldukları çalışmada hemşire çizelgeleme problemleri ile ilgili çok sayıda çalışma olmasına rağmen sonuçların karşılaştırıldığı bir araştırma çalışmasına literatürde henüz rastlamadıklarını belirtmişlerdir. Bunun sebebi olarak da çalışmaların uygulandıkları hastanelerin gereksinimlerine bağlı olarak modellerin oldukça değişkenlik göstererek karşılaştırmaya olanak tanımaması gösterilmiştir. Hem Cheang (2003), hem de Burke (2004) tarafından yapılan araştırma çalışmasında farklı yaklaşımların kıyaslanabilmesi ve araştırmacıların daha iyi çözümlere ulaşmada motive edilmesi için ortak bir problem setinin gerekliliği vurgulanmıştır. Maenhout ve Vanhoucke (2005) bu amaçla hemşire çizelgeleme problemi için NSPLIB (Nurse Scheduling Library) olarak adlandırılan bir veri kütüphanesi oluşturmuşlardır. Araştırma kapsamında kullanılan veri setine; http://www.projectmanagement.ugent.be/?q=research/personnel_scheduling/nsp adresinden ulaşmak mümkündür. Hemşire çizelgeleme probleminin boyutu üç göstergeyle ölçülmüştür. Bunlar:

- Çizelgelenecek hemşire sayısı,
- Çizelgeleme periyodundaki gün sayısı,
- Çalışılabilecek farklı vardiya çeşitlerinin sayısıdır.

Oluşturulan veri setleri;

- Hemşirelerin belirli bir gün veya vardiyada çalışmak istemeleri veya çalışmaktan kaçınmalarıyla ilgili bilgileri içeren tercih matrisi,

- Belirli bir günde belirli bir vardiyada gereksinim duyulan hemşire sayılarını ifade eden kapsama kısıtları ve
- Hastane politikaları, çalışma şartları, genel yasalar vb. içinde bulunulan duruma göre değişiklik gösteren diğer duruma özel kısıtlar göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur.

Yukarıdaki üç temel ölçütü şekillenen veri setlerinde;

Tercih bilgilerini içeren tercih matrisinin yapılandırılmasında;

- Tercihlerin hemşireler arasındaki dağılım oranını ifade eden hemşire-tercih dağılımı,
- Hemşire tercihlerinin vardiyalar arasındaki dağılımını ifade eden vardiya-tercih dağılımı,
- Hemşire tercihlerinin günler arasındaki dağılımını ifade eden gün-tercih dağılımı kullanılmıştır.

Kapsama gereksinimlerinin yapılandırılmasında;

- Gereksinim duyulan toplam hemşire sayısını ifade eden toplam talep değeri,
- Taleplerin vardiyalar arasındaki dağılımını ifade eden vardiya-talep dağılımı,
- Taleplerin günler arasındaki dağılımını ifade eden gün-talep dağılımı kullanılmıştır.

Diğer duruma özel kısıtlar ise;

- Toplam atamaların sayısı,
- Vardiya bazında atamaların sayısı,
- Ardışık atanma sayısı ve
- Ardışık aynı vardiyaya atanma sayısı ile şekillenmiştir.

Vanhoucke ve Maenhout (2009) yukarıda tanımlanan değişkenleri girdi olarak kullanan bir bilgisayar programıyla veri setlerini otomatik olarak oluşturmuşlardır.

Yazarlar on altı farklı örnek üretmişlerdir. Bu örneklerden ilk sekizi çeşitlendirilmiş verilerdir. Çeşitlendirilmiş veriler grubunda bulunan örnekler yedi günlük bir çizelgeleme periyodu ve sayıları 25, 50, 75 ve 100 olarak değişen hemşire sayılarına sahiptir. Diğer sekiz örnek ise gerçeğe uygun olarak oluşturulan daha büyük boyutlu problemlerdir. Gerçeğe uygun veri seti grubunda bulunan bu örnekler yirmi sekiz günlük bir planlama periyodu içermekte olup çizelgelenecek hemşire sayıları 30 ve 60 olarak ele alınmıştır.

Çalışma kapsamında 25 hemşire için haftalık çizelgelemeyi konu edinen çeşitlendirilmiş veriler incelenmiştir.

Hemşire tercihleri ve taleplerin dağılımının ayarlanmasını sağlayan parametreler Çizelge 3. 1.'de verilmiştir.

Çizelge 3. 1. Çeşitlendirilmiş veri seti için karakteristik değerler (Vanhoucke ve Maenhout, 2009)

Çeşitlendirilmiş Veriler	
Problem Boyutu	
N (hemşire sayısı)	25, 50, 75 veya 100
S (vardiya sayısı)	4
D (gün sayısı)	7
Tercih Dağılımı	
Hemşire- Tercih Dağılımı	0.25, 0.50 veya 0.75
Vardiya- Tercih Dağılımı	0.25, 0.50 veya 0.75
Gün- Tercih Dağılımı	0.25, 0.50 veya 0.75
Talep Kısıtı	
Toplam Talep Değeri	0.25, 0.35 veya 0.50
Vardiya- Talep Dağılımı	0.25, 0.50 veya 0.75
Gün- Talep Dağılımı	0.25, 0.50 veya 0.75

Hemşire tercihlerini içeren tercih matrisi örneğine Çizelge 3.2.' de yer verilmiştir. 1, 2 ve 3 numaralı vardiyalar sırasıyla gündüz, akşam ve gece vardiyasında çalışmayı ifade ederken 4 numaralı vardiya belirtilen gün çalışmama durumunu ifade etmektedir. Tercih matrisi ceza puanlarından oluşmaktadır. Örneğin 2 numaralı hemşire 1.gün gündüz vardiyasında çalışması durumunda 1 puan; akşam veya gece vardiyasında çalışması ile o gün çalışmaması durumunda 2 puan ceza alacaktır.

Çizelge 3. 2. Örnek tercih matrisi

Gün	1.gün			
	Vardiya1	Vardiya2	Vardiya3	Vardiya4
1.hemşire	2	4	4	4
2.hemşire	1	2	2	2
3.hemşire	3	4	4	4

Belirli bir gün için vardiya bazında atanması gereken minimum hemşire sayısını içeren kapsama matrisi örneğine Çizelge 3.3.' de yer verilmiştir. Örneğin 2.gün 1 numaralı gündüz vardiyasında minimum çalışması gereken hemşire sayısı 1'ken, 4.gün 3 numaralı gece vardiyasında minimum çalışması gereken hemşire sayısı 2'dir.

Çizelge 3. 3. Örnek kapsama matrisi

	Vardiya1	Vardiya2	Vardiya3	Vardiya4
1.gün	2	1	1	0
2.gün	1	1	1	0
3.gün	2	2	1	0
4.gün	1	1	2	0

Ve son olarak problemlerin oluşturulmasında kullanılan duruma özel kısıtlara ise Çizelge 3.4' de yer verilmiştir. Örneğin 7 numaralı durumda; bir hemşire bir haftalık periyot boyunca 5 gün çalışmalı, bir hemşire gündüz, akşam ve gece vardiyalarına sırasıyla maksimum 5,5 ve 3 kez atanmalı, hemşireler ardışık minimum 2 maksimum 5 gün çalışmalı ve aynı vardiyada minimum 2 ve maksimum 3 gün çalışmalıdır. Duruma özel kısıtlara ek olarak tüm durumlar için geçerli olan akşam vardiyasından sonra gündüz; gece vardiyasından sonra akşam veya gündüz vardiyasında çalışmak dinlenme faktörü gözetilerek yasaklanmıştır.

Çizelge 3. 4. Çeşitlendirilmiş veri seti için duruma özel kısıtlar

Durum No	Toplam Atanma Sayısı	Vardiya Bazında Atanma Sayısı	Ardışık Atanma Sayısı	Ardışık Aynı Vardiyaya Atanma Sayısı
1	5-5	X	X	X
2	4-6	X	X	X
3	5-5	1-3, 1-3, 1-2	X	X
4	4-5	0-5, 0-5, 0-4	X	X
5	5-5	X	2-5	X
6	4-6	X	1-5	X
7	5-5	0-5, 0-5, 0-3	2-5	2-3, 2-3, 2-3
8	2-6	0-6, 0-6, 0-3	2-4	1-4, 1-4, 2-4

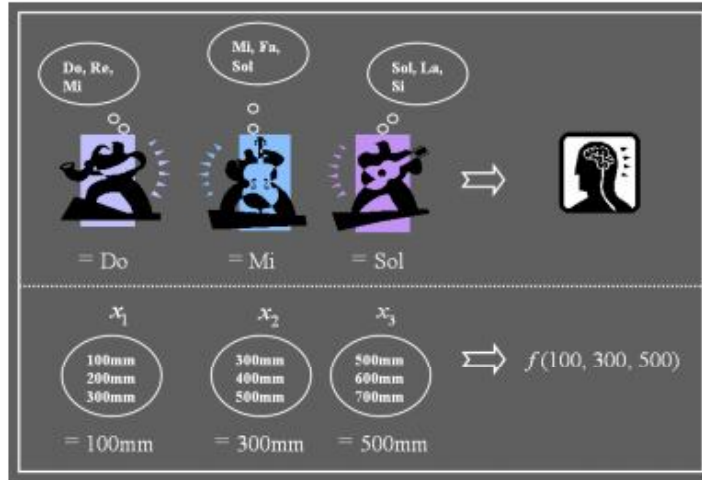
Araştırma kapsamında önerilen Harmoni Arama Algoritması, C# programlama dilinde kodlanmış ve Intel Pentium T3400 2,16 GHz işlemci, 3 Gb RAM'e sahip bir bilgisayarda çözüme ulaştırılmıştır.

3.2. Metot

3.2.1. Harmoni arama algoritması

Bu çalışmada ele alınan problemin çözümünde Harmoni Arama Algoritması (HAA) adı verilen metasezgisel bir metot kullanılmıştır.

Literatürde yer alan pek çok sezgisel algoritmanın doğada var olan sistemleri ve olayları temel alarak oluşturulduğu gözlenmiştir. Bunlardan biri de bir müzik eserinde oluşan harmoniden esinlenilerek geliştirilen HAA'dır. Müzikte harmoni kavramı iki ya da daha çok sesin aynı anda kullanılmasıyla ortaya çıkan kulağa hoş gelen ses uyumunu ifade etmektedir. HAA bir orkestradaki müzisyenlerin çaldıkları notalar ile harmonik açıdan en iyi melodinin elde edilmesi prensibine dayanmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Harmoni geliştirme ve optimizasyon süreci arasındaki bağlantı (Geem, 2010).

Geem ve ark. (2001) müzikte performans geliştirme üzerine temellenen bu algoritmanın mantığını şu şekilde ifade etmişlerdir: “Optimizasyon sürecinde karar değişkenlerinin almış oldukları değere göre amaç fonksiyonlarının değerlendirilerek bütünsel en iyi durumun araştırılması ile müzikal performans değerlendirme sürecinde enstrümanlardan çıkan sesler kümesi ile algılanan estetik kavramın değerlendirilerek mükemmel harmoninin araştırılması benzer süreçlerdir.”

HAA'nın temel mantığı izleyen şekilde açıklanmıştır.

Adım1: Ele alınan problem ve kullanılan algoritmaya ait parametrelerin tanımlanması

Bu aşamada incelenmekte olan optimizasyon problemine yön veren özellikler ve probleme ait formülasyon tanımlandıktan sonra HAA'da kullanılan parametreler belirlenmektedir. HAA'ya yön veren üç temel parametre vardır. Bunlar:

- HMS :Harmoni belleği kapasitesi,
 HMCR :Harmoni belleğini dikkate alma oranı ve
 PAR :Ton ayarlama oranıdır.

Bunun dışında durma kriteri olarak kullanılan maksimum iterasyon sayısı (NI) da bu adımda belirlenmektedir.

Adım2: Harmoni belleğin oluşturulması

Harmoni belleği (HM), HMS göz önünde bulundurularak oluşturulan ve içerisinde uygun çözüm kümelerini barındıran matris yapısıdır (Şekil 3.2). Bu adımda harmoni belleği matrisi rassal olarak üretilen çözüm vektörleriyle doldurulmakta ve bu vektörler harmoni belleğin içerisinde amaç fonksiyonlarının almış olduğu değere göre saklanmaktadır.

$$HM = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_{N-1}^1 & x_N^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_{N-1}^2 & x_N^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS-1} & x_2^{HMS-1} & \dots & x_{N-1}^{HMS-1} & x_N^{HMS-1} \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \dots & x_{N-1}^{HMS} & x_N^{HMS} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} f(x^1) \\ f(x^2) \\ \vdots \\ f(x^{HMS-1}) \\ f(x^{HMS}) \end{bmatrix}$$

Şekil 3.2. Harmoni belleği matrisi

Adım3: Yeni harmoninin oluşturulması

Müzikte yeni bir harmoninin yaratılması sürecinde izleyen üç kuraldan biri uygulanmaktadır (Raouf ve Metwally,2013).

Müziyen, yeni harmoni yaratılırken,

- i) Belleğindeki herhangi bir sesi kullanabilir.
- ii) Ton ayarlaması yaparak kendi ses belleğinden seçtiği bir sesin belirli bir perde genişliği (bw) uzaklığındaki bir sesi kullanabilir.
- iii) Kendi ses belleğini kullanmadan uygun ses aralığından rassal olarak seçtiği herhangi bir sesi kullanabilir.

HAA' da ise yeni çözüm oluşturulurken bir karar değişkeninin değeri olarak,

- i) HMCR olasılığıyla harmoni bellekte saklanan değerlerden herhangi biri seçilebilir.

- ii) Harmoni bellekten seçilen bir değerin PAR olasılığıyla ton ayarlaması yapılabilir.
- iii) (1-HMCR) olasılığı ile harmoni belleği göz önüne almadan olası aday değerler kümesinden rassal bir değer seçilebilir.

Tüm bu durumlar göz önüne alındığında yeni harmoninin yaratılması sürecinde belleğin göz önüne alınıp alınmayacağı [2] numaralı denklemle kontrol edilmektedir.

$$x'_i = \begin{cases} x'_i \in \{x_i^1, x_i^2, x_i^3, \dots, x_i^{HMS}\} & , HMCR \text{ olasılığı ile} \\ x'_i \in X_i & , (1 - HMCR) \text{ olasılığı ile} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad [2]$$

Eğer harmoni bellekten seçilme durumu gerçekleşmişse [3] numaralı denklemle ton ayarının yapılıp yapılmayacağına karar verilir.

$$x'_i = \begin{cases} x'_i \mp Rnd(0,1).bw & , PAR \text{ olasılığı ile} \\ x'_i & , (1 - PAR) \text{ olasılığı ile} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad [3]$$

HMCR ve PAR parametreleri aramanın bütünsel çeşitlendirilmesi (global diversification) ve yerel yoğunlaştırılmasındaki (local intensification) temel faktörlerdir. Bu aşamada algoritma parametreleri, algoritmanın performansında önemli rol oynamaktadır. HMS, HMCR ve PAR parametreleri için sırasıyla 10-50, 0.7-0.95 ve 0.2-0.5 aralığındaki değerlerin seçilmesi önerilmektedir (Lee ve ark., 2005).

Mahdavi ve ark. (2007) yapmış oldukları çalışmada “Gelişmiş HAA” olarak adlandırdıkları bir algoritma önermişlerdir. Klasik HAA’ da PAR ve bw parametreleri sabitken önerilen algoritmada minimum ve maksimum PAR ve bw oranları kullanılarak bu parametreler iterasyondan iterasyona geçecek şekilde dinamik olarak hesaplanmaktadır. Geem ve Sim (2010) yapmış oldukları çalışmada “Parametre Ayarı Gerektirmeyen HAA” olarak adlandırdıkları yeni bir teknik önermişlerdir. Önerilen algoritmada her bir karar değişkeninin maruz kaldığı operatör tipini belleğinde barındıran ek bir matris geliştirmişlerdir. HMCR ve PAR parametreleri bu matristeki bilgilere göre her bir iterasyonda yeniden hesaplanmıştır.

Adım4: Harmoni belleğin güncellenmesi

3.adımda oluşturulan yeni harmoni vektörü amaç fonksiyonuna göre harmoni belleği içerisindeki en kötü vektörden daha iyi bir sonuç veriyorsa belleğe dâhil edilir, yerine geçtiği en kötü vektör de bellekten çıkarılır. Tersisi durum geçerliyse bellekte güncelleme yapılmaz ve oluşturulan yeni vektör göz ardı edilir.

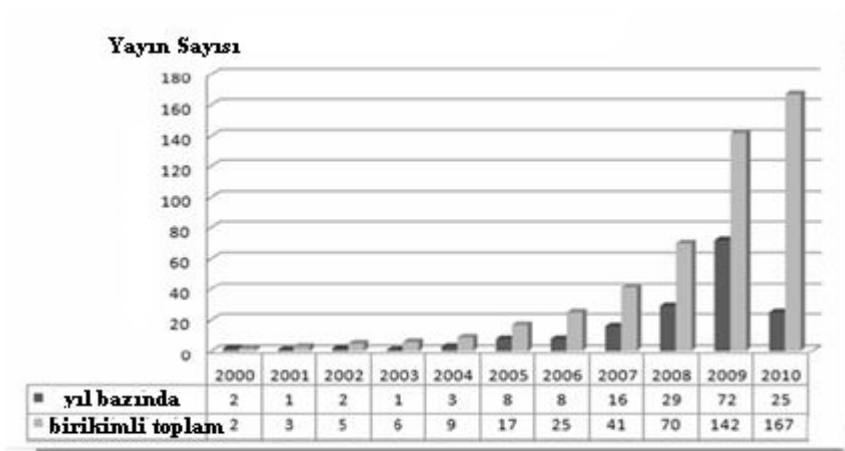
Adım5: Durma kriteri sağlanana kadar 3. ve 4. adımların tekrar edilmesi

Bu adımda durma kriterinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Eğer sağlanmadıysa 3. ve 4. adımlar tekrar edilir. Durma kriteri maksimum iterasyon sayısına ulaşıncaya sağlanmaktadır.

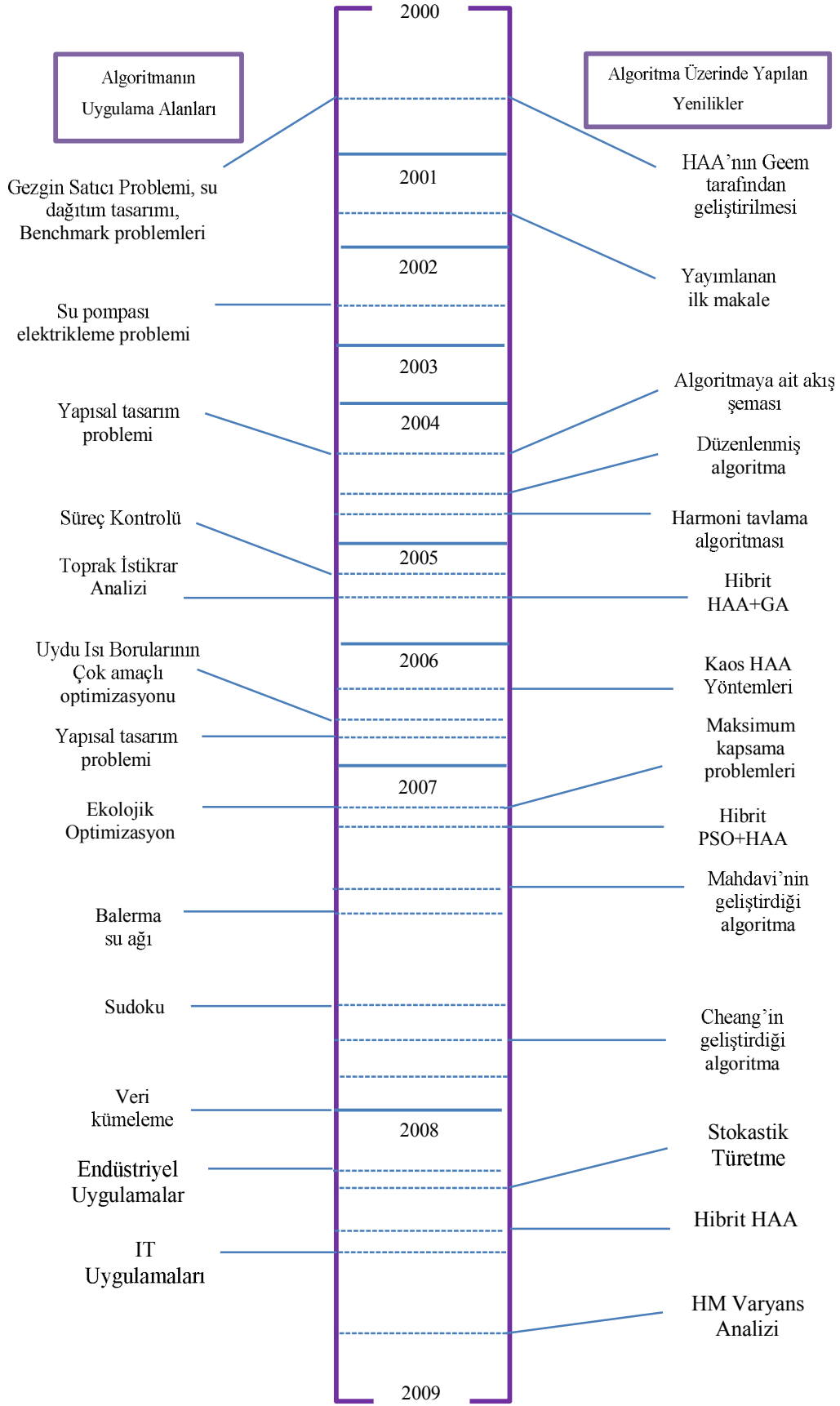
3.2.2. Harmoni arama algoritması için kaynak araştırması

HAA, Geem' in Kore Üniversitesi Çevre ve İnşaat Mühendisliği Bölümündeki doktora çalışmaları sürecinde geliştirilmiştir. Çalışma Gezgin Satıcı Problemi (GSP) ve su dağıtım şebekelerinin tasarımıyla ilgilenmektedir. Geliştirilen bu yöntem 2001' de Geem ve ark. tarafından literatüre sunulmuştur. Ingram ve Zhang yapmış oldukları çalışmada algoritmanın uygulama alanlarını ve algoritmanın ortaya çıkmasından itibaren algoritmaya yapılan katkıları incelemiştirler (Şekil 3.3.).

HAA'nın ilk olarak 2001' de ortaya çıkmasından itibaren HAA uygulamalarına olan ilgi giderek artmıştır. Kougias ve Theodosiou (2010) literatürde daha önce Ingram ve Zhang, (2009) tarafından yapılmış olan araştırma çalışmasını güncellemek amacıyla çeşitli bilimsel veri tabanlarında kapsamlı bir analiz yürütmüş ve bazı ilginç sonuçlar ortaya çıkarmışlardır (Şekil 3.4). Elde edilen sonuçlara göre 2004 yılına kadar HAA'yı konu edinen yayın sayısı mütevazı bir seviyede iken 2005 yılı ve sonrasında yayın sayısında ciddi bir artış gözlenmiştir. Araştırmanın diğer ilgi çekici sonucu ise 2005 yılına kadar yayınlanan HAA çalışmalarının yarısı su dağıtım şebekelerinin tasarımı ile ilgilendirken 2005 yılından itibaren HAA'nın uygulanmış olduğu problem yelpazesi önemli oranda genişlemiştir.



Şekil 3.4. Algoritmanın ortaya çıkmasından itibaren yıllara göre HSA ile ilgili yapılan yayınların analizi (Kougias ve Theodosiou , 2010)



Şekil 3.3. Kasım 2008'e kadar algoritma üzerinde yapılan yenilikler ve uygulama alanları (Ingram ve Zhang 2009)

Müzikte performans geliştirme üzerine temellenen bu algoritma bilgisayar bilimi, inşaat mühendisliği, makine mühendisliği, biyomedikal, ulaştırma, çizelgeleme, ekoloji ve pek çok diğer alanda uygulanma fırsatı bulmuştur. Bunlardan birisi de NP-zor sınıfta yer alan hemşire çizelgeleme problemleridir. İzleyen bölümde HAA'nın HÇP' ye uygulanmış olduğu literatürdeki çalışmalara yer verilmiştir.

HAA'nın hemşire çizelgeleme problemi üzerinde denenmesi için yapılan ilk çalışma Awadallah ve Khader (2011) tarafından gerçekleştirilmiştir. Algoritma 2010 Uluslararası Hemşire Çizelgeleme Yarışması (International Nurse Rostering Competition INRC)'nda kullanılan 33 problemlilik bir veri setine uygulanmıştır. Sonuçlar yarışmacılar tarafından bulunan sonuçları geçemese de bu sonuçlara çok yakın çıkmıştır. Bu durum algoritmanın hemşire çizelgeleme problemine ilk uyarlanması olmasına bağlanmıştır.

Awadallah ve Khader (2012)'in yapmış oldukları bir diğer çalışmada HAA ile açgözlü karıştırma hareketini (greedy shuffle move) hibritlenmiştir. Önerilen hibrit algoritma Uluslararası Hemşire Çizelgeleme Yarışması (INRC)'nda kullanılan veri seti üzerinde değerlendirilmiş ve dört veri setinde diğer yöntemlere göre en iyi sonuç elde edilmiştir.

Hadwan ve ark. (2013), yapmış oldukları çalışmada çoğu algoritmanın performansının probleme hatta örnekleme bağlı olduğunu öne sürmüş ve HAA'nın farklı problemler üzerindeki etkisini araştırmak üzere çok farklı yapıdaki iki hemşire çizelgeleme problemini incelemişlerdir. İlk problem Malezya'da büyük bir hastaneden elde edilen gerçek verileri içermektedir. HAA kendisi gibi popülasyon tabanlı bir metasezgisel yöntem olan Genetik Algoritma (GA) ile kıyaslanmış ve deneysel sonuçlarla tüm örnekler için HAA'nın GA'dan daha iyi performans gösterdiği kanıtlanmıştır. Aynı problem seti için HAA'nın başarısında parametrelerin etkisini göstermek amacıyla farklı parametreler denenmiştir. Sonuçlar yeni harmoni vektörünün oluşturulması sürecinde yüksek HMS oranının iyi bir başlangıç çözüme uygulanmasıyla tatmin edici çözümler elde edilebileceğini göstermiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında literatürde araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılan bir örnek problem seti incelenmiştir. Önerilen algoritmanın sonuçları literatürde bu problem için kullanılan farklı metasezgisellerle karşılaştırılmış ve iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu problem seti için HM'nin oluşturulmasında daha önceki bir çalışmada geliştirilen komşuluk operatöründen yararlanılmıştır. Ayrıca çalışmada çok kısıtlı NP-zor yapıdaki problemlerde çözüm uzayının çok büyük, olası çözümlerin de çok farklı olmasından

dolayı problemin çözümü için böl ve fethet politikası önerilmiştir. Yani problem alt problemlere bölünerek her biri ayrı ayrı iyileştirilmiş ve en son bu parçalar birleştirilmiştir. Makalede ele alınan problemde bu durum sıkı kısıtlar göz önüne alınarak iki ve üç günlük geçerli vardiya desenlerinin oluşturulmasıyla başlamış ve ardından bu geçerli desenler iki adet ikili desen ve bir adet üçlü desenin birleştirilmesiyle bir haftalık geçerli desenlerin oluşturulmasıyla devam etmiştir. Bu sayede çözüm uzayı önemli oranda küçülmüştür.

Awadallah ve Khader (2013), çalışmalarında klasik HAA için iki büyük yenilik önermişlerdir. Bunlardan biri algoritmanın yakınsama hızını iyileştirmek için HM' den seçim yapılırken rassal seçim yerine parçacık sürüsü optimizasyonunun global en iyi seçim yaklaşımının kullanılmasıdır. Diğeri ise algoritmanın yerel aramadaki başarısını iyileştirmek için farklı ton ayarlama süreçlerinin önerilmesidir. Çalışma ile elde edilen çözümler 1.Uluslararası Hemşire Çizelgeleme Yarışması (INRC)'nda kazanan beş farklı yöntemle karşılaştırılmış ve HAA ile elde edilen çözümlerin bu çözümlerle rekabet edebileceği gözlenmiştir. Aynı zamanda HAA için önerilen bu iki gelişimin her biri farklı parametre ayarına sahip sekiz deneysel durum üzerinde deneyerek algoritma parametrelerinin algoritmanın başarısına etkileri tartışılmıştır. Harmoni belleğini dikkate alma süreci ile global en iyi seçim stratejisinin birleştirilmesiyle sonuçlar önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Özellikle orta ve büyük olarak adlandırılan veri setlerinde Global En İyi HAA, Klasik HAA' ya göre daha iyi sonuçlara ulaşmıştır. Global En İyi HAA'nın yakınsama hızı, yeni çizelgenin yaratılması sürecinde değişkenlere harmoni belleğindeki en iyi çizelgelerden değerlerin aktarılması sebebiyle Klasik HAA' dan daha hızlıdır. Bunun yanı sıra çoklu ton ayarlama süreçleri ve büyük oranlı PAR parametresi ile de hemşire çizelgeleme probleminde yerel arama başarısı artırılmıştır.

Awadallah ve Khader'in (2013) yapmış oldukları çalışmada klasik HAA' ya iki güçlü kavramın eklenmesiyle algoritma Hibrit HAA olarak ele alınmıştır. Bu kavramlardan ilki algoritmanın yoğunlaşma yeteneğini geliştirmek için tepe tırmanma algoritması ile hibritlenmesidir. İkincisi ise yakınsama hızını iyileştirmek amacıyla parçacık sürüsü optimizasyonunun global en iyi kavramının kullanılmasıdır. Çalışma, kombinatoriyal optimizasyon problemleri için evrimsel hesaplama teknikleri içerisine yerel aramanın entegre edilmesini destekleyici yönde sonuçlar üretmiştir. Çalışmada global en iyi belleği dikkate alma süreci şu şekilde işlemektedir: Yeni harmoni vektörünün oluşturulması sürecinde karar değişkeni HM'den bir değer alınacaksa

öncelikle harmoni bellek içerisindeki amaç fonksiyonuna göre en iyi çözümden bu değeri almalıdır. Bu durumda çizelgenin uygunluğu kontrol edilir çizelge uygun bir çözüm oluşturuyorsa HM'deki ikinci en iyi çizelgeden değeri atanır, süreç bu şekilde devam eder. Tepe tırmanma algoritması ise HAA'ya yeni harmoninin oluşturulması sürecinden sonra dâhil olmaktadır. Oluşturulan yeni çizelge HCR (hill climbing rate) olarak adlandırılan tepe tırmanma oranı olasılığıyla tepe tırmanma algoritması ile yerel olarak iyileştirilmektedir. Problem yapısına göre tepe tırmanma algoritmasında kullanılmak üzere dört farklı komşuluk yapısı tanımlanmıştır.

Geliştirilen hibrit algoritma farklı parametre değerlerine sahip olan on durum üzerinde denenmiştir. Bu on durum beş gruba ayrılmıştır. İlk grupta arama uzayını kapsamak için HMS'nin en iyi değerinin bulunması için çalıştırılmıştır. İkinci grupta farklı HMCR oranlarının algoritmaya etkisi gözlenmiştir. Üçüncü grupta en iyi PAR değerini bulmak için çalışılmıştır. Dördüncü grupta HCR'nin hibrit algoritmaya etkileri belirlenmeye çalışılmış ve son olarak beşinci grupta seçim rassal olarak yapılmış ve global en iyi seçimle karşılaştırılmıştır. Çalışmada ayrıca önerilen hibrit algoritmanın başarısı Uluslararası Hemşire Çizelgeleme Yarışması (INRC)'nda geliştirilen bir veri seti üzerinde değerlendirilmiştir ve sonuçlar algoritmanın gücünü kanıtlayan yönde olmuştur. Bunun yanı sıra aynı veri setine daha önce uygulanan global en iyi harmoni arama algoritması ve ağırlıklı karışık harmoni arama algoritmasına göre tüm veri setlerinde daha iyi sonuçlara ulaşılmıştır.

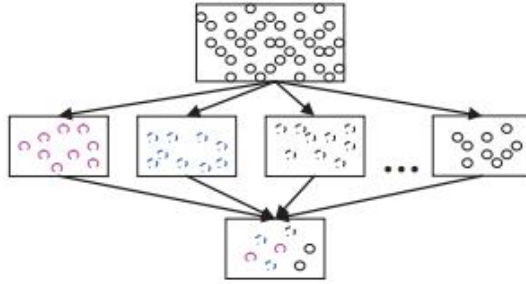
Awadallah ve ark. (2014), algoritmanın yakınsama hızını artırmak amacıyla belleği dikkate alma durumunda klasik HAA'daki rassal seçim yerine bir grup seçim yöntemi önermişlerdir. Bu seçim yöntemleri GA'da kullanılan turnuva tekniği, orantılı seçim yöntemi ve parçacık sürüsü optimizasyonunda kullanılan global en iyi seçim yöntemidir. Önerilen farklı seçim yöntemleri değerlendirilmiş ve turnuva seçim yönteminin diğer yöntemlerle kıyaslandığında en iyi yakınsama hızına ulaştığı ve aynı zamanda en iyi çözümü elde ettiği kanıtlanmıştır.

3.2.2. Paralel harmoni arama algoritması

Klasik HAA yaklaşımında HM sadece bir gruptan oluşmakta ve HM içerisindeki herhangi bir harmoni yeni harmoninin yaratılması sürecinde aday olabilmektedir. Yani HM içerisindeki iyi ve kötü harmonilerin seçilme olasılığı eşittir. Pan ve ark. (2010) bu nedenle yeni harmoninin yaratılması sürecinde HM içerisindeki en iyi harmoniyi

kullanan yaklaşımı önermişlerdir. Ancak problem boyutu büyüdüğünde çok fazla yerel optimal olması nedeniyle algoritma hızlı yakınsama dezavantajı ile karşı karşıya kalmaktadır. Askarzadeh ve ark. (2011) yapmış oldukları çalışmada HM' yi çözüm kalitelerine göre üç eşit gruba ayırmışlardır. Yeni harmoninin yaratılması sürecinde harmoninin bu üç gruptan hangisinden seçileceğine karar vermek için turnuva seçim yöntemini kullanmışlar ve en çok seçilme olasılığını en iyi harmonilerden oluşan gruba vermişlerdir. Seçim yapılacak olan grup belirlendikten sonra bu gruptan seçilecek olan harmoniye karar vermek için rulet tekeri tekniğini kullanmışlardır.

Wei ve ark. (2013) çalışmalarında, HAA 'nın en etkin şekilde çalışması için HM içerisindeki saklı bilgilerin hepsinden tam olarak yararlanmanın gerekliliğini vurgulamışlar ve paralel HAA'nın Askarzadeh ve ark. (2011)'nin yaklaşımından daha esnek olduğunu belirtmişlerdir. Bu yaklaşımda HM rassal olarak küçük boyutlu alt gruplara ayrılmakta ve her bir alt grup arama uzayında daha iyi bölgelere ulaşmak için kendi belleğindeki harmonileri kullanmaktadır (Şekil 3.5). Alt gruplar bu süreçte yerel optimale takılabilir. Süreç tamamlandığında her bir alt grupta kalan en iyi harmoniler yeniden rassal olarak gruplandırılır bu şekilde algoritmanın çeşitlendirme yeteneği de artırılmış olur. Araştırmacılar gruplandırmadaki temel amacın harmoni çeşitliliğini ve aynı zamanda arama hızını artırmak olduğunu belirtmişlerdir.

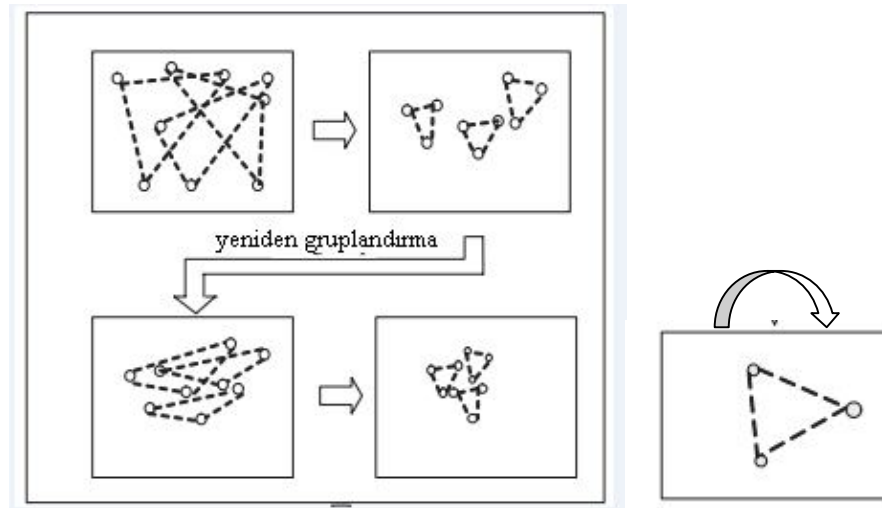


Şekil 3.5. Paralel arama ve gruplandırma süreci

Pan ve ark. (2011) yapmış oldukları çalışmada Omran ve Mahdavi (2008)'ye atıfta bulunarak HAA'da küçük boyutlu HM'nin büyük boyutlu HM'ye oranla daha iyi çalıştığını ve yine Liang ve Suganthan (2005)'in parçacık sürüsü optimizasyonu yaklaşımı için önceki çalışmalarında önermiş oldukları gibi dinamik oluşturulan alt popülasyonların algoritmanın hızlı yakınsama ve çeşitlendirme stratejisi üzerinde bir denge sağladığını vurgulamışlardır. Her bir alt HM çok küçük bir popülasyonu barındırmakta olup birbirinden bağımsız olarak iyileştigiinden algoritmanın

çeşitlendirme yeteneğine bağlı olarak yerel optimal çözümlere takılma durumu gözlenebilmektedir. Bu dezavantajın üstesinden gelebilmek için her bir R iterasyonda alt HM'ler arasında bilgi transferine olanak sağlanmalıdır.

Şekil 3.6' da görüldüğü gibi HM başlangıçta dokuz adet harmoni vektörden oluşmaktadır. Ardından her biri üç vektör içerecek şekilde rassal olarak üç alt HM yaratılır. Bu alt grupların her biri daha iyi çözümlere ulaşmak için birbirinden bağımsız olarak kendi bireylerini kullanır. Güncelleştirme adımından sonra kalan en iyi dokuz bireyi içeren bütünsel HM oluşturulur ve bu HM rassal olarak yeniden gruplandırılır. Yeni alt HM'ler yine kendi arama süreçlerini başlatırlar ve bu süreç maksimum iterasyona ulaşana kadar devam eder.



Şekil 3.6. Dinamik Komşuluk Topolojisi Ve Paralel Arama Süreci

Wei ve ark. (2013) yapmış oldukları çalışmada bazı mühendislik problemlerinde kullanılan çeşitli karşılaştırma fonksiyonları için yine paralel arama yaklaşımından yararlanmışlar ve paralel HAA'nın klasik HAA ve daha önce önerilen GHAA(Global Best HAA) ve IHAA(Improved HAA)'ya göre daha iyi sonuçlara ulaştığını kanıtlamışlardır.

Literatürde HAA adına yapılan iyileştirmeler incelenerek çalışma kapsamında ele alınan HÇP için paralel HAA yaklaşımının kullanılması uygun bulunmuştur. Yapılan çalışma paralel HAA'nın HÇP üzerine ilk uygulamasıdır.

4. HAA'NIN HÇP'YE UYGULANMASI

4.1. Klasik Harmoni Arama Algoritmasının HÇP' ye Uygulanması

Klasik HAA yaklaşımının, materyal kısmında detayı verilmiş olan problem setine uygulanması izleyen şekilde gerçekleşmektedir:

Adım1: Ele alınan problem ve kullanılan algoritmaya ait parametrelerin tanımlanması

Bu aşamada HAA'nın performansına etki eden üç adet parametre incelenmiştir. Bunlar harmoni belleğini dikkate alma oranı olarak adlandırılan HMCR, ton ayarlama oranı olarak adlandırılan PAR ve harmoni belleği kapasitesini ifade eden HMS'dir. Parametreler incelenirken veri setindeki 1 nolu durumdan seçilen 30 adet örnek problemin 3 kez çalıştırılmasıyla elde edilen ortalama sonuçlar göz önünde bulundurulmuştur. En etkin parametre düzeylerini belirlemek için faktöriyel varyans analizinden yararlanılmıştır.

i) HMCR oranının etkisi:

Khadwilard ve ark. (2012), HMCR oranının çok düşük olması durumunda sadece birkaç iyi harmoninin bilgileri kullanılacağından yakınsamanın çok yavaş olacağını, bunun aksine bu oranın çok yüksek olması durumunda ise neredeyse tüm harmonilerin harmoni bellekten seçilerek diğer harmonilerin yeterince araştırılmaması sonucu algoritmanın yerel optimum noktalara takılabileceğini belirtmişlerdir. Bu nedenle HMCR olarak literatürde önerilen oranlar göz önünde bulundurularak 0,8-0,99 aralığında bulunan HMCR parametreleri incelenmiştir.

Ayrıca HMCR oranının iterasyondan iterasyona değişiklik gösterdiği Daham ve ark. (2014) tarafından önerilen dinamik yaklaşım da göz önünde bulundurulmuştur. Bu yaklaşıma göre HMCR oranı [4] numaralı denkleme göre hesaplanmaktadır.

$$HMCR = HMCR_{min} + (((HMCR_{max} - HMCR_{min}) / \maxIter) * iter) \quad [4]$$

(HMCR_{min}=0,80 ; HMCR_{max}=0,99)

ii) PAR oranının etkisi:

HAA'da bulunan ton ayarlama operatörü ile GA'da bulunan mutasyon operatörü benzer süreçlerdir. Sriharsha ve Reddy (2014), düşük PAR oranının, çözüm uzayının sadece kısıtlı bir alt bölgesini araması sebebiyle yavaş yakınsamayla sonuçlanacağını bunun aksine yüksek PAR oranının ise rassal aramada olduğu gibi çözümün bazı potansiyel optimumlar etrafında dağılmasıyla sonuçlanacağını belirtmişlerdir. İncelenen

çalışmada ton ayarlama operatörü HMCR oranıyla harmoni bellekten seçilen bir desenin rassal olarak seçilen herhangi bir hemşirenin sahip olduğu desenle yer değiştirmesi şeklinde uygulanmaktadır. Bu durum yerel arama süreçlerinde “swap operatörü” olarak adlandırılmaktadır. Yapılan çalışmada PAR oranının 0,01 ile 0,2 arasında değiştiği durumlar incelenmiştir.

iii) HMS etkisi:

Khadwilard ve ark. (2012), HAA’ya etki eden parametreler için literatürde sıklıkla kullanılan bir fonksiyonu göz önüne alarak tam faktöriyel deney tasarımı yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre HMS çok küçük olduğunda erken yakınsama durumu gözlenirken HMS çok büyük olduğunda ise hesaplama süresi artmaktadır. Bu nedenle ideal HMS büyüklüğü maksimum iterasyon sayısına göre değişiklik göstermektedir. Araştırma kapsamında 5000 iterasyon için HM’ nin 1, 50 ve 100 birey içerdiği durumlar incelenmiştir.

Bu bilgiler ışığında çok faktörlü varyans analizinde kullanılan faktörler ve düzeyleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4. 1. HAA’ ya etki eden parametreler ve seviyeleri

Faktörler	Faktör Düzeyleri	N	
hms	1,00	1	48
	2,00	50	48
	3,00	100	48
par	1,00	0,01	36
	2,00	0,05	36
	3,00	0,1	36
	4,00	0,2	36
hmcr	1,00	0,8	36
	2,00	0,9	36
	3,00	0,99	36
	4,00	dinamik	36

Sonuç olarak 3 x 4 x 4 x 3 x 30 olmak üzere (hms_düzeyi x hmcr_düzeyi x par_düzeyi x tekrar_sayısı x problem_sayısı) 4320 çözüm üzerinden yapılan tam faktöriyel denemeler sonucunda elde edilen ceza değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçlarına Çizelge 4.2’de yer verilmiştir.

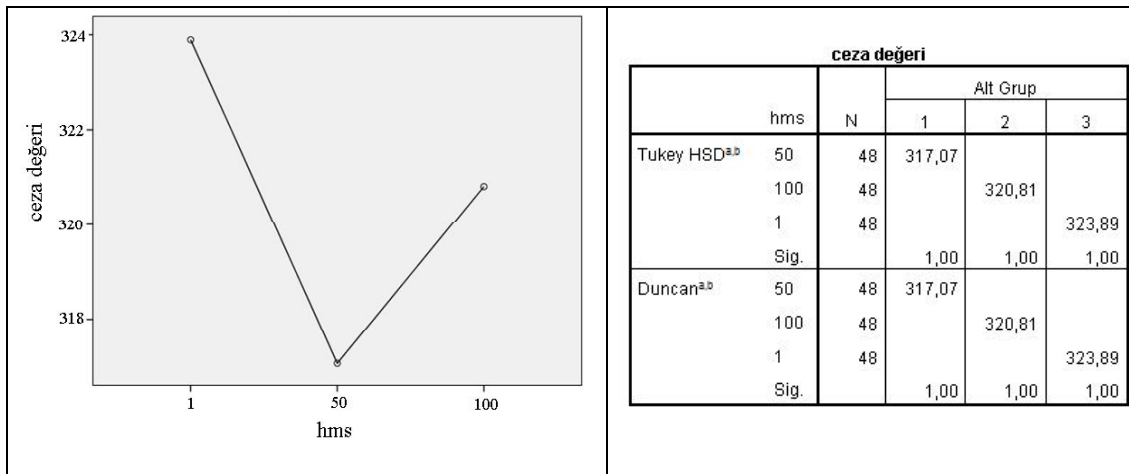
Çizelge 4. 2. Varyans Analizi Sonuçları

Bağımlı Değişken: ceza değeri

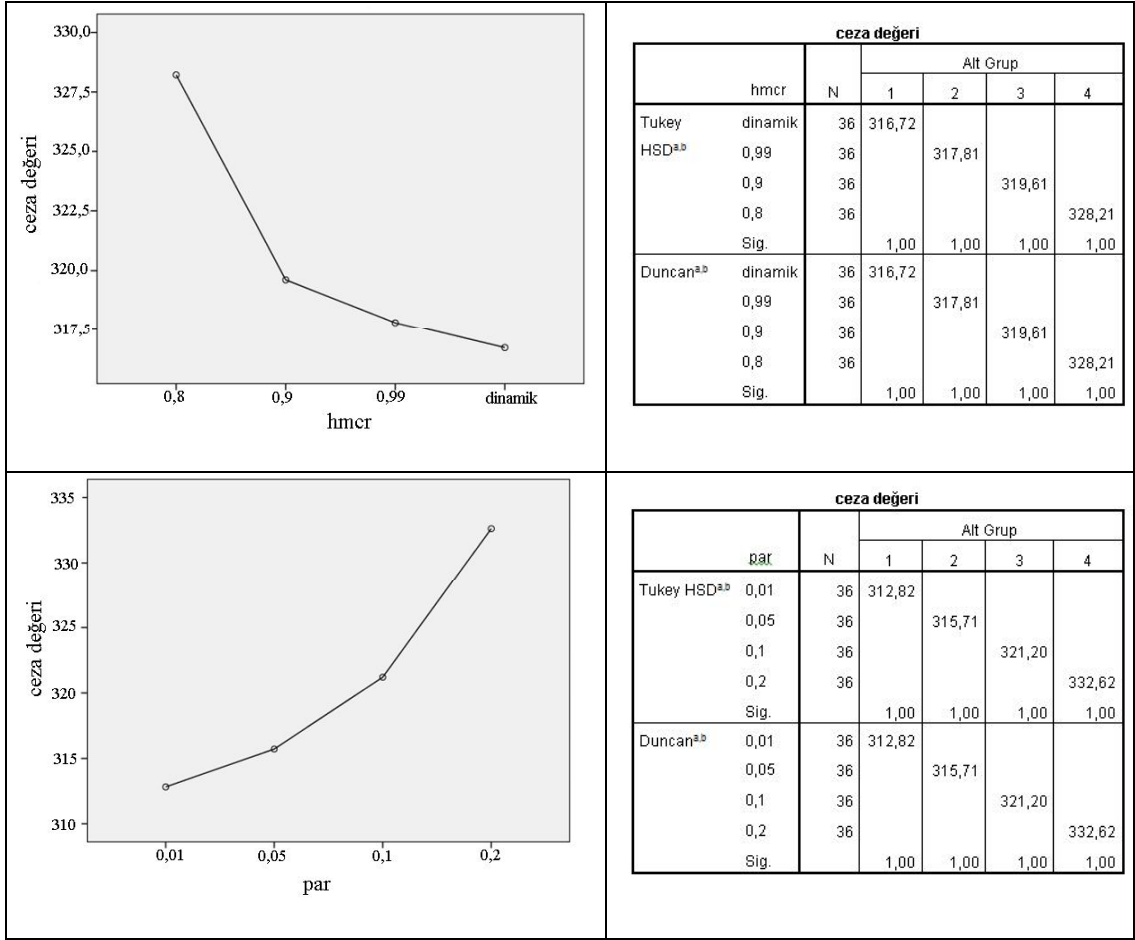
Kaynak	Tip III Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Doğrulanmış Model	13227,315 ^a	47	281,432	541,738	,000
Sabit	14800434,884	1	14800434,884	28489853,246	,000
hms	1121,036	2	560,518	1078,960	,000
par	8250,605	3	2750,202	5293,955	,000
hmcr	2944,877	3	981,626	1889,564	,000
hms * par	125,346	6	20,891	40,214	,000
hms * hmcr	506,375	6	84,396	162,456	,000
par * hmcr	184,089	9	20,454	39,373	,000
hms * par * hmcr	94,988	18	5,277	10,158	,000
Hata	49,872	96	,519		
Toplam	14813712,071	144			
Doğrulanmış Toplam	13277,187	143			

a. $R^2 = ,996$ (Ayarlı $R^2 = ,994$)

SPSS paket programı aracılığıyla gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları incelendiğinde dikkate alınan tüm faktörlerin amaç fonksiyonu üzerinde etkili olduğu görülmektedir ($p < 0,05$).

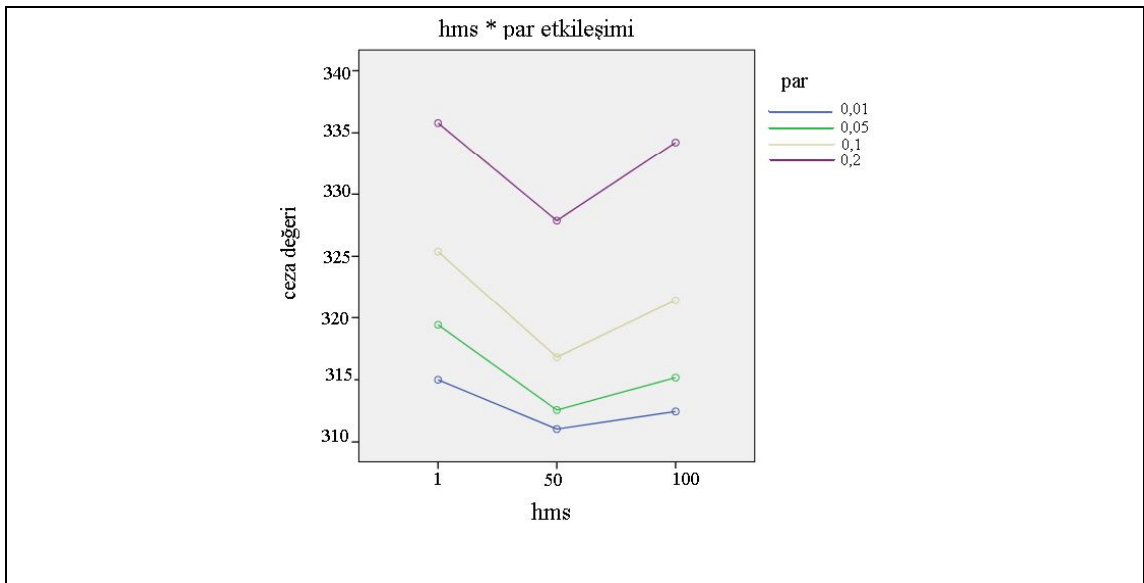


Şekil 4. 1. Faktörlerin Temel Etkileri

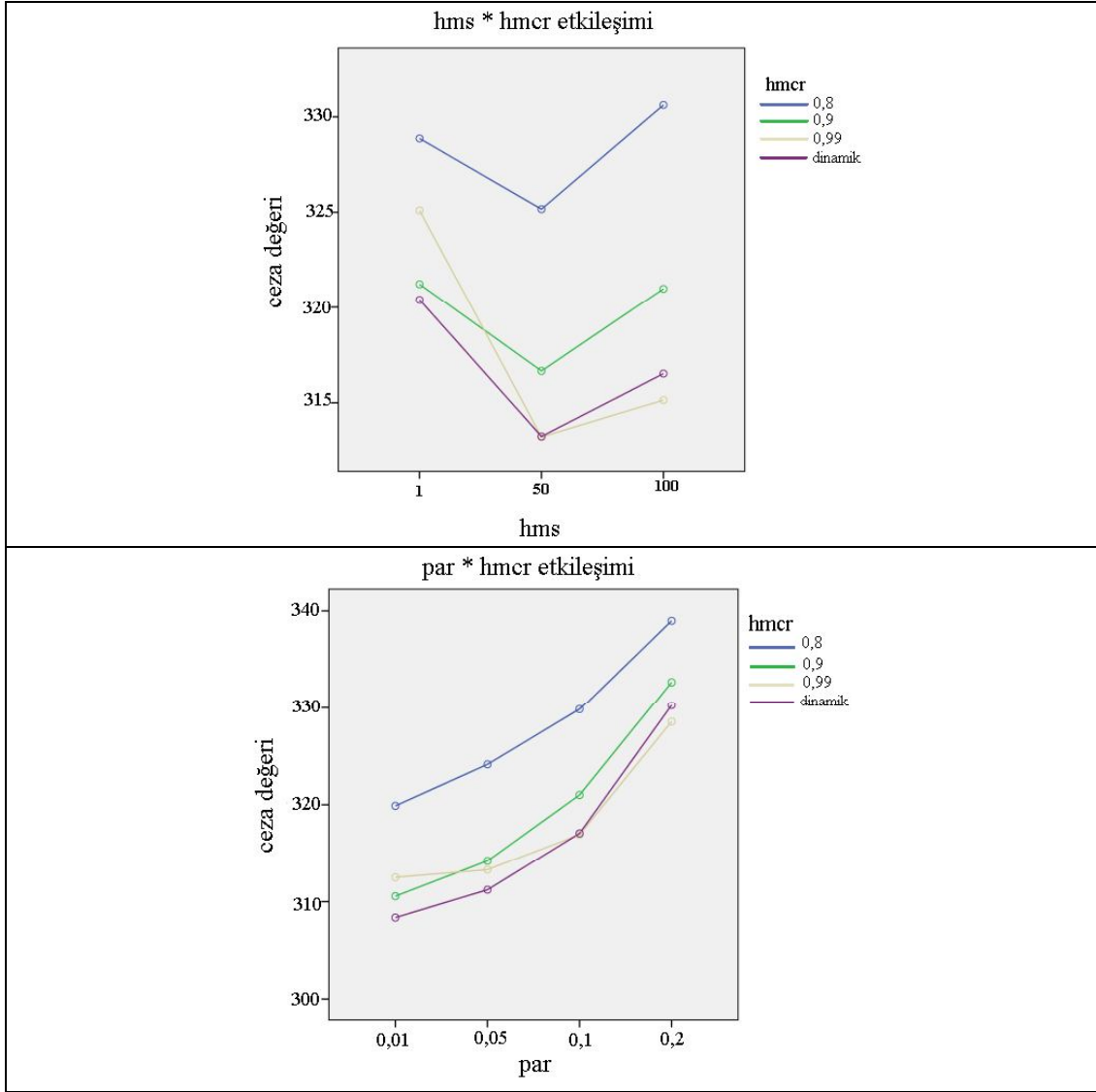


Şekil 4. 1. Faktörlerin Temel Etkileri (Devamı)

Şekil 4. 1. 'de temel faktörlerin etkileri gösterilmektedir. Parametreler arası etkileşimlere ise Şekil 4. 2. 'de yer verilmiştir.



Şekil 4. 2. Faktörler Arası Etkileşimler



Şekil 4. 2. Faktörler Arası Etkileşimler (Devamı)

Yapılan varyans analizi sonucuna göre hms * par * hmcrcr etkileşimi anlamlı bulunmuştur ($p < 0,05$). Bu durumda faktör seviyeleri ortalamaları arasındaki farklılık değil, üçlü etkileşim kombinasyonu ortalamaları arasındaki farklılığın araştırılması gerekmektedir. Bu amaçla gerçekleştirilen Duncan testiyle elde edilen kesit Çizelge 4.3’ de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre (HMS: 100, HMCR: dinamik, PAR: 0,01) (HMS: 50, HMCR: dinamik, PAR: 0,01) ve (HMS: 50, HMCR: dinamik, PAR: 0,02) en düşük ceza değerini veren faktör kombinasyonları olup aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur. Bu nedenle yapılan çalışmada HAA’nın en etkin şekilde çalışması amacıyla gerçekleştirilen parametre optimizasyonu sonucunda HMS: 50; HMCR: dinamik ve PAR: 0,01 olacak şekilde ayarlanmıştır.

Çizelge 4. 3.Üçlü etkileşim için Duncan Testi Sonucu

Duncan ^a						
İTERAKSİYON	N					
		1	2	3	4	5
341,00	3	307,1333				
241,00	3	307,2889				
242,00	3	308,1667	308,1667			
221,00	3		308,9444	308,9444		
332,00	3		309,1556	309,1556	309,1556	
232,00	3			309,4667	309,4667	309,4667
342,00	3			309,8222	309,8222	309,8222
331,00	3				310,2778	310,2778
141,00	3					310,6444
321,00	3					310,7222

Adım2: Harmoni belleğin oluşturulması

HM, içerisinde uygun çözüm kümelerini barındıran matris yapısıdır. Matrisin boyutu HMS ile ifade edilmektedir, yani HM matrisi, içerisinde HMS kadar uygun çözüm vektörü barındırmaktadır. Bir çözümün uygun bir çözüm olarak nitelendirilebilmesi için elde edilen çözümün sıkı kısıtları sağlaması gerekmektedir. İncelenen problem göz önünde bulundurulduğunda duruma özel kısıtlar ve kapsama gereksinimleri sıkı kısıt olarak ele alınırken hemşirelerin tercihleri gevşek kısıt olarak gruplandırılmıştır.

Bu aşamada özellikle vurgulanması gereken nokta çözüm uzayının boyutunun büyük olması sebebiyle tam bir çizelgenin yaratılması sürecini iki aşamada gerçekleştirmenin daha etkin olacağıdır. Bu sebeple çalışmanın ilk aşamasında hemşire bazında uygun bireysel çizelgelerin yaratılması gerçekleştirilirken ikinci aşamasında kapsama gereksinimleri de göz önüne alınarak bütünsel uygun bir çizelgenin oluşturulması sağlanmaktadır.

İncelenen problemde daha öncede belirtildiği gibi sekiz farklı durum bulunmaktadır. Çizelge 4.4. incelendiğinde örneğin 1 numaralı durumda; herhangi bir hemşirenin bir haftalık çizelgelenme periyodu boyunca tam olarak 5 gün çalışmak zorunda olduğu görülmektedir. 8 numaralı durumda; bir hemşire bir haftalık periyot boyunca minimum 2 maksimum 6 gün çalışmalı, bir hemşire gündüz, akşam ve gece vardiyalarına sırasıyla maksimum 6,6 ve 3 kez atanmalı, hemşireler ardışık minimum 2 maksimum 4 gün çalışmalı ve aynı vardiyada maksimum 4 gün çalışmalıdır. Duruma özel kısıtlara ek olarak tüm durumlar için geçerli olan akşam vardiyasından sonra

gündüz; gece vardiyasından sonra akşam veya gündüz vardiyasında çalışmak dinlenme faktörü gözetilerek yasaklanmıştır.

Çizelge 4.4. Çeşitlendirilmiş veri seti için özel kısıtlar

Durum No	Toplam Atanma Sayısı	Vardiya Bazında Atanma Sayısı	Ardışık Atanma Sayısı	Ardışık Aynı Vardiyaya Atanma Sayısı
1	5-5	X	X	X
2	4-6	X	X	X
3	5-5	1-3, 1-3, 1-2	X	X
4	4-5	0-5, 0-5, 0-4	X	X
5	5-5	X	2-5	X
6	4-6	X	1-5	X
7	5-5	0-5, 0-5, 0-3	2-5	2-3, 2-3, 2-3
8	2-6	0-6, 0-6, 0-3	2-4	1-4, 1-4, 2-4

İlk aşamada sözü edilen bireysel çizelgelerin oluşturulması için tüm bu durum tabanlı kısıtları sağlayan 7 günlük değerli desenler kullanılmıştır. Her bir durum için herhangi bir hemşirenin sahip olabileceği yani çözümün uygunluğunu bozmayan desenler Visual Studio C# 'da string fonksiyonlarıyla filtrelenerek oluşturulmuştur. Her bir durum için oluşturulan değerli desen sayıları Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Durum tabanlı kısıtları sağlayan değerli desen sayıları

Durum No	Değerli Desen Sayıları
1	1287
2	3114
3	504
4	2631
5	621
6	3058
7	127
8	789

7 günlük bir periyot boyunca 4 vardiya tipi için 1 hemşirenin atanabileceği desen sayısı $4^7=16384$ 'tür. Çalışmanın ilk aşamasında bireysel çizelgeler oluşturulurken yalnızca değerli desenlerin göz önünde bulundurulması çözüm uzayını büyük ölçüde daraltmıştır.

İncelenen problemde 25 hemşire bulunmaktadır. HM içerisinde bulunan çözüm vektörleri 25 hemşirenin her biri için tamamen rassal olarak seçilen değerli desenlerin birleştirilmesiyle oluşmaktadır. Bu şekilde HM matrisi HMS sayısı kadar rassal oluşturulan çözüm matrisleriyle doldurulmaktadır.

HM içerisindeki çizelgeler oluşturulurken diğer bir sıkı kısıt olan kapsama gereksinimleri göz önünde bulundurulmamıştır. Kapsama gereksinimlerinin kontrolü bu kısıtların ihlali halinde gevşek kısıtlara oranla çok daha yüksek ceza puanları almasıyla sağlanmaktadır.

Adım3: Yeni harmoninin oluşturulması

HAA' da yeni çözüm oluşturulurken bir hemşire için;

- i) HMCR olasılığıyla HM' de saklanan 7 günlük desenlerden biri seçilebilir,
- ii) HM' den seçilen desen PAR olasılığıyla rassal olarak seçilen başka bir hemşirenin sahip olduğu desenle yer değiştirebilir,
- iii) (1-HMCR) olasılığı ile olası tüm değerli desenler kümesinden rassal bir desen seçilebilir.

Adım4: Harmoni belleğin güncellenmesi

Oluşturulan yeni çizelgenin amaç fonksiyonu HM içerisindeki en kötü çizelgenin amaç fonksiyonuna göre daha iyi bir sonuç veriyorsa belleğe dâhil edilir, yerine geçtiği en kötü çizelge de bellekten çıkarılır. Tersisi durum geçerliyse bellekte güncelleme yapılmaz ve oluşturulan yeni çizelge göz ardı edilir.

Adım5: Durma kriteri sağlanana kadar 3. ve 4. adımların tekrar edilmesi

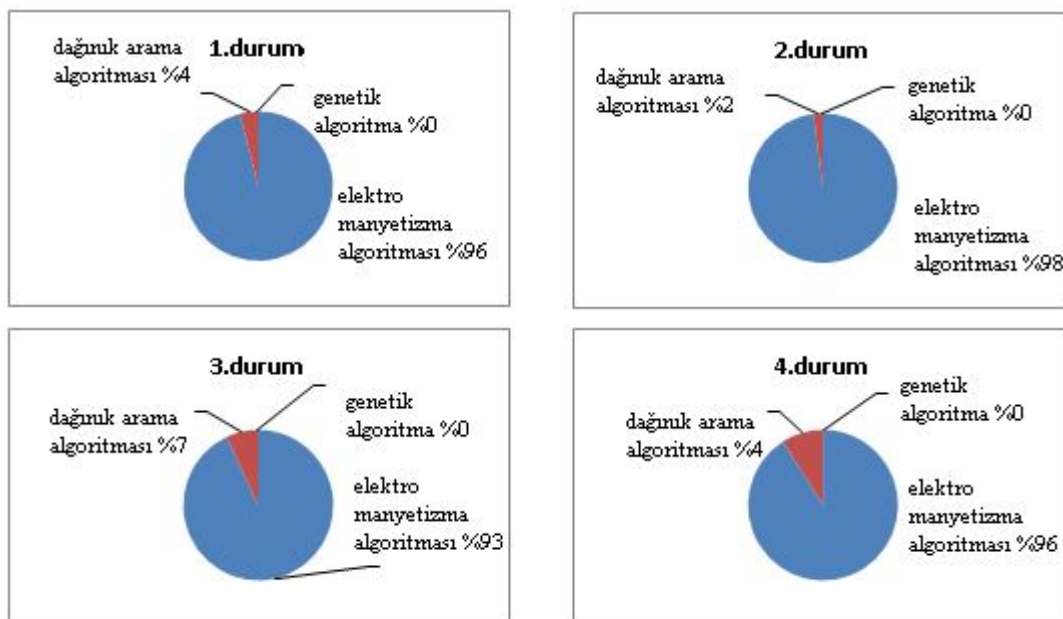
Tüm bu süreç maksimum iterasyon sayısına ulaşılan kadar devam etmektedir.

Çizelge 4.6. 'da her bir durum için incelenen 100 adet problemin farklı sezgisel algoritmalar tarafından çözülmesiyle elde edilen en iyi sonuçlar verilmiştir. Karşılaştırma için kullanılan algoritmalar dağınık arama algoritması, elektromanyetik metasezgisel algoritma ve farklı çaprazlama operatörlerinin hibritlenmesiyle oluşturulan genetik algoritma yaklaşımıdır.

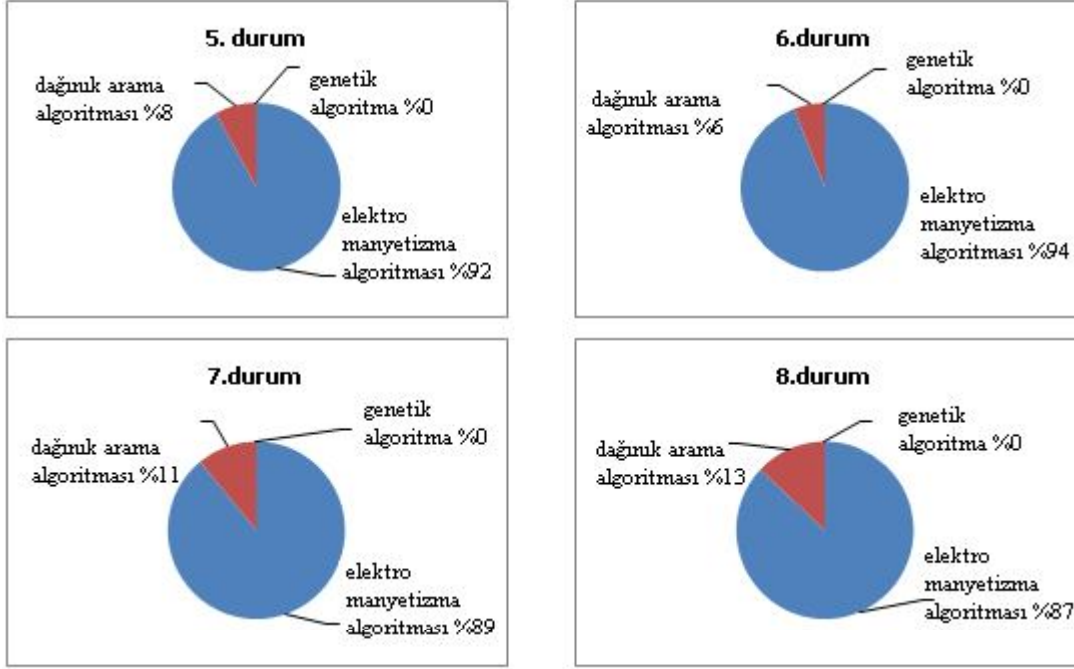
Çizelge 4. 6. 5000 iterasyon sonucu literatürde bulunan en iyi çözüm değerleri

İncelenen Durumlar	Durma Kriteri:5000		
	Bilinen En İyi Çözüm		
	Ort. Tercih Cezası	%Uygun Çözüm	Ort. CPU(sn.)
1. durum	299,08	100,00%	1,47
2. durum	294,54	100,00%	2,63
3. durum	317,84	100,00%	1,93
4. durum	298,43	100,00%	1,85
5. durum	305,80	100,00%	1,25
6. durum	294,93	100,00%	2,52
7. durum	314,42	100,00%	2,13
8. durum	300,58	100,00%	1,46

Kullanılan bu algoritmaların problem üzerindeki başarısı Şekil 4.3' de görülmektedir. Buna göre Maenhout ve Vanhoucke (2008)'nin farklı çaprazlama operatörlerini kullandıkları genetik algoritma diğer algoritmalara göre 5000 iterasyon sonucunda herhangi bir üstünlük elde edememiştir. Maenhout ve Vanhoucke (2006), tarafından kullanılan dağınık arama yaklaşımı bazı problemler için üstünlük elde edebilirken yazarların kullanmış oldukları elektromanyetik metasezgisel algoritma (2007) tüm problem tipleri için diğer algoritmalara göre büyük oranda üstünlük sağlamıştır.



Şekil 4.3. Farklı metasezgisellerin incelenen problem üzerindeki başarıları



Şekil 4.3. Farklı metasezgisellerin incelenen problem üzerindeki başarıları (Devamı)

Tez kapsamında her biri 100 farklı problem içeren 8 farklı durum klasik HAA yaklaşımıyla çözülmüştür. Çizelge 4.7' de algoritmanın 3 kez çalıştırılmasıyla 100 problemin ortalaması olarak elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

Çizelge 4. 7. 5000 iterasyon sonucu klasik HAA ile elde edilen çözümler

Durma Kriteri:5000							
İncelenen Durumlar	Klasik HAA			Bilinen En İyi Çözüm			
	Ort. Tercih Cezası	% Uygun Çözüm	Ort. CPU(sn.)	Ort. Tercih Cezası	% Uygun Çözüm	Ort. CPU(sn.)	% GAP
1. durum	310,76	100,00%	2,79	299,08	100,00%	1,47	0,039
2. durum	309,13	100,00%	2,83	294,54	100,00%	2,63	0,050
3. durum	325,61	100,00%	2,82	317,84	100,00%	1,93	0,024
4. durum	314,20	100,00%	2,81	298,43	100,00%	1,85	0,053
5. durum	313,08	100,00%	2,76	305,80	100,00%	1,25	0,024
6. durum	305,34	100,00%	2,81	294,93	100,00%	2,52	0,035
7. durum	315,38	100,00%	2,60	314,42	100,00%	2,13	0,003
8. durum	310,99	100,00%	2,78	300,58	100,00%	1,46	0,035

Bulunan sonuçlar incelendiğinde klasik HAA tüm problemler için sıkı kısıtların hepsini sağlayan uygun bir çözüm elde edebilmiştir. Ancak gap değerleri ele alınan problem için klasik HAA'nın problemin esnek kısıtını oluşturan tercih cezaları

açısından yeterli olmadığını göstermiştir. İzleyen bölümde algoritmanın iyileştirilmesi adına yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

4.2. Paralel Harmoni Arama Algoritmasının HÇP' ye Uygulanması

Şekil 4.4.' de ifade edilen paralel HAA yaklaşımının HÇP' ye uygulanması izleyen şekildedir.

Adım1: Ele alınan problem parametreleri

d: 7 gün

n: 25 hemşire

s: 4 vardiya olmak üzere 8 farklı durum ve her bir durum için kapsama ve tercih parametrelerinin değiştiği 100 adet problem incelenmiştir. Kullanılan algoritmaya ait parametreler önceki bölümde elde edilen sonuçlara göre

NI: 5000 iterasyon

HMCR: dinamik HMCR oranı (HMCR_{min}=0,80 ve HMCR_{max}=0,99)

PAR: 0,01

HMS: 51 bireylik popülasyon

g: 3 alt grup

sub_HMS: 17 bireylik alt popülasyon olacak şekilde belirlenmiştir.

Adım2: Harmoni belleğin oluşturulması

Bu aşamada HM duruma özel kısıtlar göz önüne alınarak 25 hemşirenin her biri için tamamen rassal olarak seçilen değerli desenlerin birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. HM içerisinde HMS sayısı kadar çizelge bulunmaktadır.

Adım3: Harmoni belleğin alt gruplara bölünmesi

Paralel arama stratejisine göre 51 bireylik HM rassal olarak 17 bireylik 3 alt gruba bölünmüştür.

Adım4: Yeni harmoninin oluşturulması

Her bir alt grup

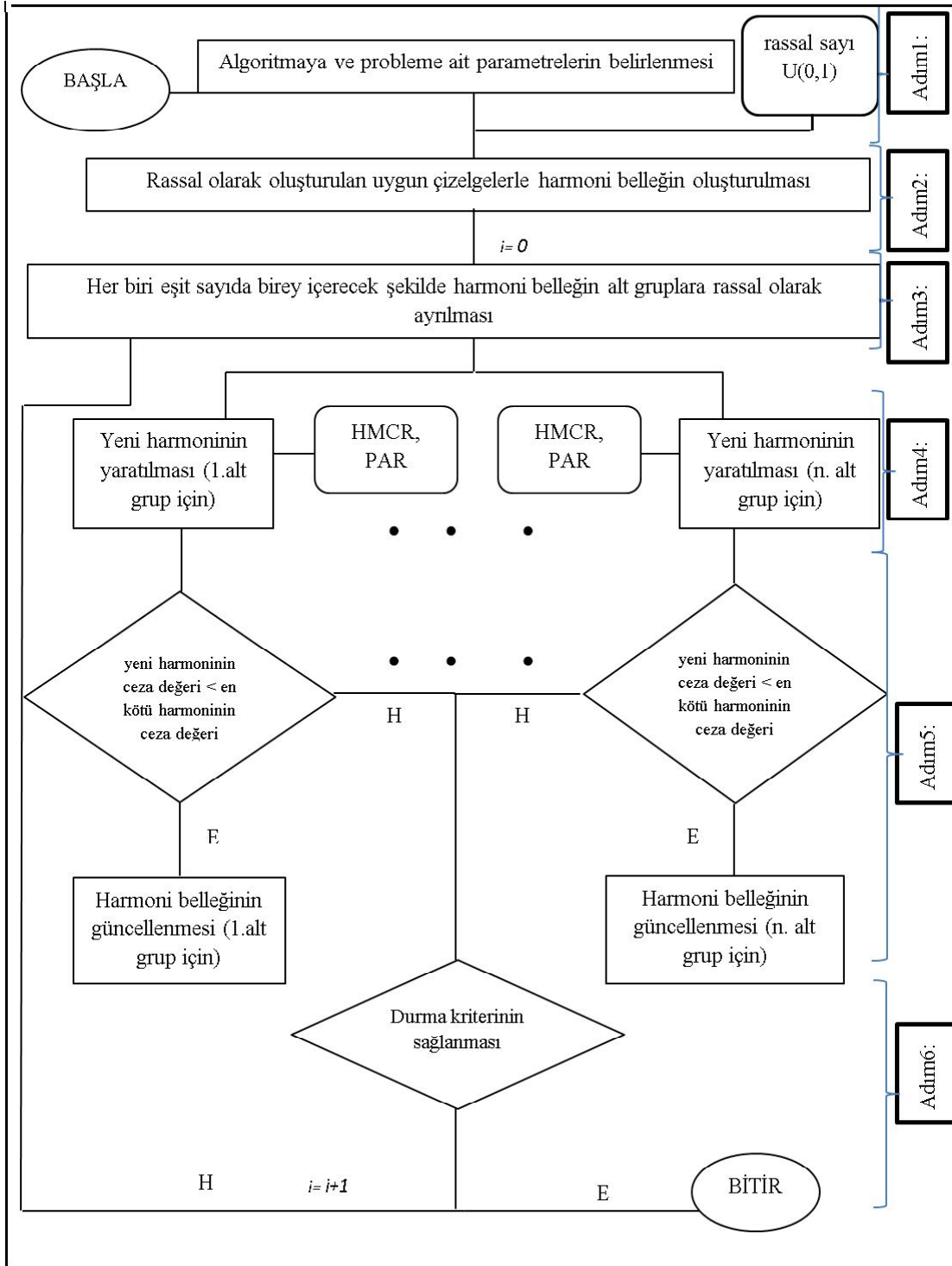
- i) HMCR olasılığıyla HM' de saklanan 7 günlük desenlerden biri seçilebilir,
- ii) HM' den seçilen desen PAR olasılığıyla rassal olarak seçilen başka bir hemşirenin sahip olduğu desenle yer değiştirebilir,
- iii) (1-HMCR) olasılığı ile olası tüm değerli desenler kümesinden rassal bir desen seçilebilir.

Adım5: Harmoni belleğin güncellenmesi

Her bir alt grup kendi içerisinde değerlendirilmektedir. Buna göre örneğin birinci alt grup için oluşturulan yeni harmoninin amaç fonksiyonu birinci alt grupta bulunan en kötü harmoniden daha iyi bir değere sahipse onun yerine geçer. Diğer alt gruplar için aynı durum geçerlidir. Güncelleme gerçekleştirildikten sonra kalan en iyi harmoniler yine rassal olarak alt gruplara dağıtılır.

Adım6: Durma kriteri sağlanana kadar 3 4 ve 5 numaralı adımların tekrar edilmesi

Araştırmada elde edilen sonuçlar yazarların 5000 iterasyon sonucu elde ettikleri sonuçlarla kıyaslanacaktır. Bu nedenle durma kriterinde kullanılan maksimum iterasyon sayısı 5000 olarak belirlenmiştir. Paralel HAA ile elde edilen sonuçlara 5. bölümde yer verilmiştir.



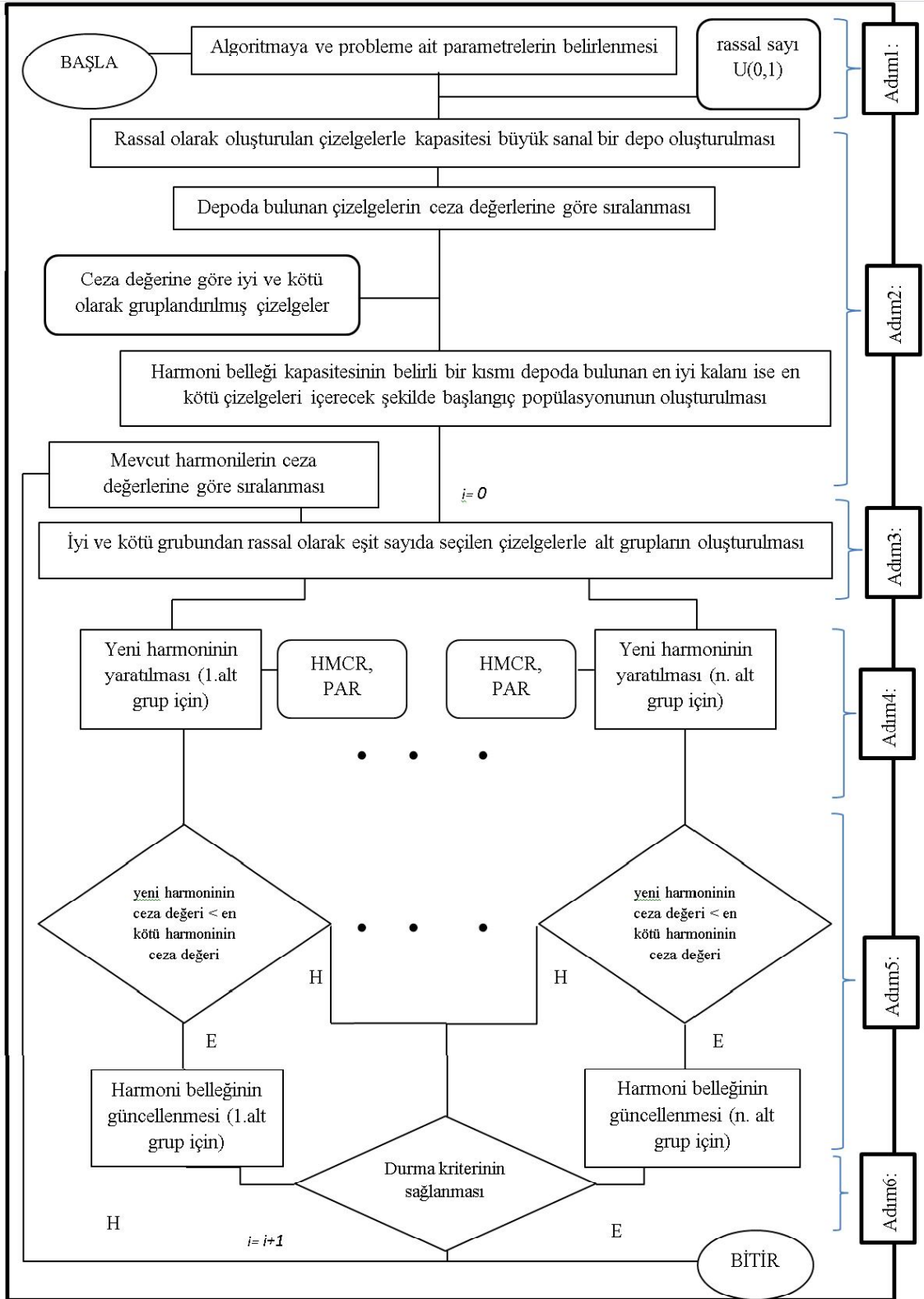
Şekil 4. 4. Paralel Harmoni Arama Algoritmasının HÇP' ye Uygulanması

4.3. Önerilen Paralel Harmoni Arama Algoritmasının HÇP' ye Uygulanması

Sezgisel algoritmaların performansında algoritmanın bütünsel çeşitlendirilmesi (global diversification) ve yerel yoğunlaştırılmasındaki (local intensification) başarısı önem arz etmektedir. Paralel HAA' da HM' nin alt HM' lere bölünmesiyle daha dar bir

alanda arama yapılarak algoritmanın yerel yoğunlaştırılması sağlanmaktadır. Her iterasyonda alt grupların rassal olarak yeniden gruplandırılması ise alt gruplar arasındaki bilgi alışverişine olanak sağladığı için algoritmanın bütünsel çeşitlendirilmesi garanti edilerek yerel optimal noktalara takılma durumu önlenmiştir.

Literatürde arama uzayının bütününe kapsanması açısından sürekli problemler için Tizhoosh (2005) tarafından önerilen karşıtlık tabanlı öğrenme (opposition based learning) yaklaşımı yapılan çalışma için bir fikir oluşturmuş ve Önerilen Paralel HAA algoritmasında başlangıç popülasyonunun oluşturulmasında arama uzayının genelini temsil etmesi açısından ceza değerleri birbirinden uzak bireylerin kullanılması uygun bulunmuştur. Önerilen algoritma detaylı bir şekilde Şekil 4.5. 'de ifade edilmiştir.



Şekil 4. 5. Önerilen Paralel Harmoni Arama Algoritmasının HÇP' ye Uygulanması

Şekil 4. 5.' de ifade edilen paralel HAA yaklaşımının işleyişi izleyen şekildedir.

Adım1: Ele alınan problem parametreleri

- d*: 7 gün
n: 25 hemşire
s: 4 vardiya olmak üzere 8 farklı durum ve her bir durum için kapsama ve tercih parametrelerinin değiştiği 100 adet problem incelenmiştir. Kullanılan algoritmaya ait parametreler önceki bölümde elde edilen sonuçlara göre
NI: 5000 iterasyon
HMCR: dinamik HMCR oranı (HMCRmin=0,80 ve HMCRmax=0,99)
PAR: 0,01
HMS: 51 bireylik popülasyon
g: 3 alt grup
sub_HMS: 17 bireylik alt popülasyon olacak şekilde belirlenmiştir.

Adım2: Harmoni belleğin oluşturulması

Bu aşamada HM duruma özel kısıtlar göz önüne alınarak 25 hemşirenin her biri için tamamen rassal olarak seçilen değerli desenlerin birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Bu şekilde 1000 adet rassal çizelge üretilmiş ve çizelgeler amaç fonksiyonlarına göre sıralanmıştır. Bu 1000 adet bireyin amaç fonksiyonuna göre en iyi 30 ve en kötü 21 bireyi ile 51 bireylik HM oluşturulmuştur.

Adım3: Harmoni belleğin alt gruplara bölünmesi

Paralel arama stratejisine göre 51 bireylik HM rassal olarak 10'ar tanesi iyi ve 7 şer tanesi kötü bireyleri içerecek şekilde toplamda 17 bireylik alt gruplara bölünmüştür.

Adım4: Yeni harmoninin oluşturulması

Her bir alt grup

- iv) HMCR olasılığıyla HM' de saklanan 7 günlük desenlerden biri seçilebilir,
- v) HM' den seçilen desen PAR olasılığıyla rassal olarak seçilen başka bir hemşirenin sahip olduğu desenle yer değiştirebilir,
- vi) (1-HMCR) olasılığı ile olası tüm değerli desenler kümesinden rassal bir desen seçilebilir.

Adım5: Harmoni belleğin güncellenmesi

Her bir alt grup kendi içerisinde değerlendirilmektedir. Buna göre örneğin birinci alt grup için oluşturulan yeni harmoninin amaç fonksiyonu birinci alt grupta bulunan en kötü harmoniden daha iyi bir değere sahipse onun yerine geçer. Diğer alt gruplar için aynı durum geçerlidir. Güncelleme gerçekleştirildikten sonra kalan en iyi

harmoniler yine amaç fonksiyonuna göre sıralanır ve ilk 30 bireyin rassal olarak 10ar tanesi ile kalan 21 bireyin rassal olarak 7 Şer tanesi yine alt gruplara dağıtılır.

Adım6: Durma kriteri sağlanana kadar 3 4 ve 5 numaralı adımların tekrar edilmesi

Önerilen paralel HAA yaklaşımıyla 5000 iterasyon sonucu algoritmanın 3 kez çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlara 5. Bölümde yer verilmiştir.

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çizelge 5.1.' de görüldüğü gibi Klasik HAA yaklaşımıyla elde edilen çözümlerin tatmin edici olmaması sebebiyle algoritmanın performansını artırmaya yönelik çalışmaların sonucu olarak önerilen paralel HAA ile elde edilen sonuçlara Çizelge 5.2 'de yer verilmiştir.

Çizelge 5. 1. 5000 iterasyon sonucu klasik HAA ile elde edilen çözümler

Durma Kriteri:5000							
İncelenen Durumlar	Klasik HAA			Bilinen En İyi Çözüm			
	Ort. Tercih Cezası	% Uygun Çözüm	Ort. CPU(sn.)	Ort. Tercih Cezası	% Uygun Çözüm	Ort. CPU(sn.)	% GAP
1. durum	310,76	100,00%	2,79	299,08	100,00%	1,47	0,039
2. durum	309,13	100,00%	2,83	294,54	100,00%	2,63	0,050
3. durum	325,61	100,00%	2,82	317,84	100,00%	1,93	0,024
4. durum	314,20	100,00%	2,81	298,43	100,00%	1,85	0,053
5. durum	313,08	100,00%	2,76	305,80	100,00%	1,25	0,024
6. durum	305,34	100,00%	2,81	294,93	100,00%	2,52	0,035
7. durum	315,38	100,00%	2,60	314,42	100,00%	2,13	0,003
8. durum	310,99	100,00%	2,78	300,58	100,00%	1,46	0,035

Çizelge 5. 2. 5000 iterasyon sonucu paralel HAA ile elde edilen çözümler

Durma Kriteri:5000							
İncelenen Durumlar	Paralel HAA			Bilinen En İyi Çözüm			
	Ort. Tercih Cezası	% Uygun Çözüm	Ort. CPU(sn.)	Ort. Tercih Cezası	% Uygun Çözüm	Ort. CPU(sn.)	% GAP
1. durum	305,27	100,00%	5,89	299,08	100,00%	1,47	0,021
2. durum	302,50	100,00%	5,92	294,54	100,00%	2,63	0,027
3. durum	321,13	100,00%	4,98	317,84	100,00%	1,93	0,010
4. durum	306,99	100,00%	5,34	298,43	100,00%	1,85	0,029
5. durum	308,28	100,00%	5,65	305,80	100,00%	1,25	0,008
6. durum	303,22	100,00%	6,11	294,93	100,00%	2,52	0,028
7. durum	313,54	100,00%	6,13	314,42	100,00%	2,13	-0,002
8. durum	304,65	100,00%	5,45	300,58	100,00%	1,46	0,014

Belirlenen en uygun parametre değerleri kullanılarak paralel HAA yaklaşımıyla elde edilen çözümlerin hepsinde tüm problemler için sıkı kısıtlar sağlanmıştır. Problemin esnek kısıtı sınıfında yer alan ve hemşirelerin tatmin seviyesini yansıtan

tercih cezaları incelendiğinde paralel HAA yaklaşımının klasik HAA yaklaşımına göre tüm problemler için daha başarılı olduğu görülmektedir.

Yapılan çalışmada Paralel HAA yaklaşımı karşıt tabanlı öğrenme yaklaşımından esinlenilerek iyileştirilmiştir. Karşıt tabanlı öğrenme yaklaşımı literatürde sürekli problemler için uygulanmıştır. Kesikli bir problem olan HÇP için paralel HAA yaklaşımında başlangıç popülasyonu rassal olarak oluşturulurken önerilen algoritmada başlangıç popülasyonu oluşturulurken birbirinden uzak bireyler kullanılmıştır. Bu sayede çözüm uzayının daha geniş bir bölgesi temsil edilmiştir. Ayrıca paralel HAA yaklaşımında HM'nin alt gruplara ayrılması yine rassal bir şekilde gerçekleştirilirken önerilen algoritmada alt gruplara ayırma işleminde ceza değeri açısından birbirinden uzak bireylerin bir arada tutulmasına özen gösterilmiştir. Bu sayede aynı veya çok yakın ceza değerine sahip bireylerin aynı alt gruba denk gelmesi önlenerek iyileşme sağlanmıştır. Önerilen paralel HAA yaklaşımı ile elde edilen sonuçlara Çizelge 5.3 'de yer verilmiştir.

Çizelge 5. 3. 5000 iterasyon sonucu önerilen paralel HAA ile elde edilen çözümler

Durma Kriteri:5000							
İncelenen Durumlar	Geliştirilmiş Paralel HAA			Bilinen En İyi Çözüm			
	Ort. Tercih Cezası	% Uygun Çözüm	Ort. CPU(sn.)	Ort. Tercih Cezası	% Uygun Çözüm	Ort. CPU(sn.)	% GAP
1. durum	303,00	100,00%	6,11	299,08	100,00%	1,47	0,013
2. durum	299,90	100,00%	6,23	294,54	100,00%	2,63	0,018
3. durum	320,17	100,00%	5,44	317,84	100,00%	1,93	0,007
4. durum	303,88	100,00%	5,77	298,43	100,00%	1,85	0,018
5. durum	306,47	100,00%	5,90	305,80	100,00%	1,25	0,002
6. durum	300,24	100,00%	6,24	294,93	100,00%	2,52	0,018
7. durum	312,40	100,00%	6,21	314,42	100,00%	2,13	-0,006
8. durum	302,67	100,00%	5,81	300,58	100,00%	1,46	0,007

Elde edilen sonuçlar kıyaslandığında Önerilen paralel HAA yaklaşımı ulaştığı sonuçlarla diğer iki yaklaşıma göre üstünlük sağlamıştır. Literatürde bilinen en iyi sonuçlarla kıyaslandığında ise oldukça düşük gap oranına sahip olduğu görülmektedir. Bu açıdan önerilen algoritma HÇP için etkin bir yöntem olarak nitelendirilebilir.

Bu kapsamda önerilen algoritmanın başarısını göstermek amacıyla her bir durum için rassal olarak 2 farklı çizelge ve bu çizelgelerin sahip oldukları ceza değerleri problemin sahip olduğu kısıtlarıyla birlikte Çizelge 5.4. 'de verilmiştir. Çizelgenin

sütunları günleri, satırları ise hemşireleri ifade etmektedir. Vardiyaların yanında bulunan rakamlar hemşirelerin tercih matrisleri kullanılarak elde edilen tercih cezalarını ifade etmektedir. Günlük talepleri karşılamak üzere kullanılan kapsama cezaları minimum gerekli hemşire sayısının altına düştüğünde oluşmaktadır. Tüm problemlerde kapsama kısıtları sağlandığından toplam ceza değeri tercih cezalarının toplamına eşittir. Çizelgeler incelendiğinde çözümlerin büyük çoğunluğunda diğer sezgiseller tarafından elde edilen ve literatürde bilinen en iyi ceza değerleri olarak ifade edilen değerlere saniyelerle ifade edilen oldukça kısa bir sürede ulaşılmıştır.

Çizelge 5. 4. a. 1 nolu durum için elde edilen örnek çizelge

Hemşire /Gün	1	2	3	4	5	6	7	Tercih
1	akşam/1	izinli/1	akşam/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	gece/1	7
2	gece/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	gece/1	izinli/1	gece/1	7
3	gündüz/1	izinli/3	gündüz/1	izinli/3	gündüz/3	gündüz/1	gündüz/1	13
4	gündüz/1	akşam/2	izinli/1	akşam/2	gece/2	izinli/1	gece/1	10
5	gündüz/1	izinli/2	gece/1	gece/3	izinli/2	gündüz/1	gündüz/1	11
6	gündüz/1	izinli/4	gündüz/1	akşam/3	izinli/4	gündüz/1	gündüz/1	15
7	gündüz/1	izinli/2	gündüz/1	akşam/3	izinli/2	gündüz/1	gündüz/1	11
8	izinli/2	gündüz/1	gece/2	gece/1	gece/1	izinli/2	gece/2	11
9	akşam/2	akşam/1	akşam/2	izinli/1	akşam/1	akşam/2	izinli/2	11
10	gündüz/2	izinli/3	gündüz/2	gece/3	izinli/3	gündüz/2	gündüz/2	17
11	akşam/2	gece/1	gece/2	gece/1	izinli/1	gece/2	izinli/2	11
12	gündüz/2	izinli/4	gündüz/2	gece/3	izinli/4	gündüz/2	gündüz/2	19
13	gece/2	gece/2	izinli/2	gündüz/2	gece/2	izinli/2	akşam/2	14
14	gündüz/2	izinli/1	gündüz/2	gündüz/1	izinli/1	gündüz/2	gündüz/2	11
15	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	akşam/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	7
16	akşam/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	akşam/1	izinli/1	akşam/1	7
17	gündüz/2	izinli/1	gündüz/2	izinli/1	akşam/1	gece/2	gece/2	11
18	gündüz/2	izinli/1	gündüz/2	akşam/1	izinli/1	gündüz/2	gündüz/2	11
19	izinli/1	gündüz/4	akşam/1	izinli/4	gece/4	gece/1	gece/1	16
20	gündüz/1	gündüz/2	gündüz/1	izinli/3	gece/2	izinli/2	gündüz/1	12
21	izinli/1	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	akşam/1	gece/1	7
22	akşam/2	akşam/3	gece/2	izinli/1	izinli/1	akşam/2	gece/2	13
23	izinli/1	akşam/3	akşam/1	akşam/3	gece/3	gece/1	izinli/1	13
24	akşam/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	gece/1	7
25	gündüz/1	akşam/1	izinli/3	akşam/1	akşam/1	izinli/3	akşam/3	13
GERÇEKLEŞEN DURUM								
gündüz	13	4	10	5	3	9	10	
akşam	6	6	5	7	5	4	3	
gece	2	4	4	5	7	4	9	
BEKLENEN DURUM (MİNİMUM GEREKEN)								
gündüz	0	3	5	0	1	0	2	
akşam	0	3	4	2	3	0	1	
gece	0	2	2	1	5	0	1	
Kapsama	0	0	0	0	0	0	0	
bulunan ceza değeri=285				bilinen en iyi ceza değeri=283				
case1, 33.nsp				% gap=(285-283)/283=0,007067				
KISITLAR: - 2 gün izinli olmak, - birbirini takip eden vardiyalar arasında en az 24 saat olması.								

Çizelge 5. 4. b. 1 nolu durum için elde edilen örnek çizelge

Hemşire /Gün	1	2	3	4	5	6	7	Tercih
1	gündüz/2	gündüz/1	gece/1	gece/1	izinli/2	izinli/3	gece/1	11
2	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/2	izinli/2	gece/1	gece/1	9
3	gece/3	gece/1	gece/1	izinli/2	gündüz/1	gece/3	izinli/2	13
4	gündüz/1	akşam/3	akşam/3	izinli/3	akşam/3	gece/1	izinli/3	17
5	gündüz/1	akşam/1	izinli/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	7
6	akşam/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	7
7	gece/2	izinli/2	akşam/2	akşam/2	izinli/2	gündüz/2	akşam/2	14
8	gündüz/2	izinli/3	gündüz/2	gündüz/2	izinli/3	gece/2	gece/2	16
9	gece/2	izinli/4	gece/4	gece/4	izinli/4	gündüz/2	gece/4	24
10	gece/2	izinli/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	gündüz/2	akşam/1	9
11	akşam/1	gece/2	gece/2	izinli/2	gece/2	izinli/1	gündüz/2	12
12	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	gece/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	7
13	akşam/1	akşam/1	izinli/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	7
14	izinli/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	7
15	izinli/3	gündüz/2	gündüz/2	gece/2	gece/2	izinli/3	gündüz/2	16
16	izinli/1	gündüz/1	gece/1	gece/1	gece/1	izinli/1	gece/1	7
17	akşam/3	izinli/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	akşam/3	akşam/1	11
18	gece/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	gece/1	izinli/1	7
19	izinli/3	gündüz/1	gündüz/1	gece/1	gece/1	izinli/3	gündüz/1	11
20	izinli/1	gündüz/2	gündüz/2	gece/2	gece/2	izinli/1	gündüz/2	12
21	akşam/3	akşam/2	akşam/2	izinli/2	akşam/2	akşam/3	izinli/2	16
22	akşam/1	akşam/4	izinli/4	izinli/4	gündüz/4	gündüz/1	gündüz/4	22
23	gündüz/2	gece/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	gece/2	izinli/1	9
24	akşam/2	gece/1	izinli/1	gündüz/1	akşam/1	akşam/2	izinli/1	9
25	gündüz/1	akşam/3	izinli/3	akşam/3	izinli/3	gündüz/1	akşam/3	17
GERÇEKLEŞEN DURUM								
gündüz	7	7	6	3	3	5	6	
akşam	7	7	7	6	9	7	7	
gece	5	4	5	7	6	6	5	
BEKLENEN DURUM (MİNİMUM GEREKEN)								
gündüz	5	3	1	1	1	3	2	
akşam	3	4	1	1	2	1	3	
gece	0	0	4	0	0	0	0	
Kapsama	0	0	0	0	0	0	0	
bulunan ceza değeri=297				bilinen en iyi ceza değeri=297				
case1, 18.nsp				% gap=0				
KISITLAR: - 2 gün izinli olmak, - birbirini takip eden vardiyalar arasında en az 24 saat olması.								

Çizelge 5. 4. c. 2 nolu durum için elde edilen örnek çizelge

Hemşire /Gün	1	2	3	4	5	6	7	Tercih
1	akşam/1	izinli/3	gündüz/3	akşam/1	akşam/1	izinli/3	izinli/3	15
2	gece/2	izinli/1	akşam/1	gece/2	izinli/2	akşam/2	gece/1	11
3	gündüz/1	gündüz/4	akşam/4	izinli/1	gündüz/1	gece/1	gece/4	16
4	akşam/4	izinli/3	izinli/3	akşam/4	akşam/4	izinli/4	gündüz/3	25
5	akşam/2	gece/1	izinli/1	akşam/2	akşam/2	gece/4	izinli/1	13
6	izinli/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	gündüz/1	izinli/1	akşam/1	7
7	gündüz/1	akşam/1	gece/1	izinli/1	izinli/1	izinli/1	gece/1	7
8	gündüz/1	gece/1	gece/1	gece/1	izinli/1	gece/1	gece/1	7
9	akşam/1	akşam/2	izinli/2	akşam/1	izinli/4	gündüz/1	akşam/2	13
10	akşam/1	izinli/1	izinli/1	akşam/1	izinli/2	gündüz/1	akşam/1	8
11	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	akşam/1	izinli/1	izinli/1	akşam/1	7
12	izinli/1	gündüz/4	gündüz/4	gündüz/1	izinli/1	izinli/1	gece/4	16
13	izinli/1	gündüz/2	gündüz/2	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	gündüz/2	10
14	izinli/3	gündüz/1	gece/1	gece/3	izinli/3	gündüz/1	akşam/1	13
15	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	gece/1	izinli/1	gece/1	izinli/1	7
16	akşam/1	izinli/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	izinli/3	gündüz/1	9
17	akşam/2	izinli/3	gündüz/3	akşam/2	izinli/4	gündüz/1	akşam/3	18
18	izinli/2	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/2	gündüz/2	izinli/2	gündüz/1	11
19	akşam/1	akşam/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	gece/2	izinli/1	8
20	akşam/2	akşam/1	izinli/1	akşam/2	akşam/2	akşam/3	izinli/1	16
21	akşam/1	izinli/3	izinli/3	akşam/1	akşam/1	izinli/3	gündüz/4	16
22	akşam/2	akşam/1	akşam/1	akşam/2	akşam/2	izinli/3	akşam/1	12
23	izinli/1	izinli/2	gündüz/2	akşam/1	gece/1	gece/1	gece/2	10
24	gece/3	gece/2	gece/2	izinli/3	gündüz/3	gündüz/1	gündüz/2	16
25	akşam/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	izinli/3	akşam/1	9
GERÇEKLEŞEN DURUM								
gündüz	5	7	8	3	5	5	6	
akşam	12	7	5	14	9	2	8	
gece	2	3	4	4	1	6	6	
BEKLENEN DURUM (MİNİMUM GEREKEN)								
gündüz	2	5	7	3	1	0	1	
akşam	0	1	1	0	0	1	0	
gece	2	0	0	1	0	5	5	
Kapsama	0	0	0	0	0	0	0	
bulunan ceza değeri=300				bilinen en iyi ceza değeri=295				
case2, 21.nsp				% gap=(300-295)/295=0,0169				
KISITLAR:								
- en az 1 en fazla 3 gün izinli olmak,								
- birbirini takip eden vardiyalar arasında en az 24 saat olması.								

Çizelge 5. 4. d. 2 nolu durum için elde edilen örnek çizelge

Hemşire /Gün	1	2	3	4	5	6	7	Tercih
1	gece/1	gece/2	izinli/4	gündüz/1	gündüz/2	gündüz/1	gündüz/1	12
2	izinli/1	gündüz/2	gece/2	izinli/1	gündüz/2	akşam/1	izinli/1	10
3	izinli/1	gündüz/1	izinli/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	7
4	gündüz/3	gündüz/1	gündüz/1	izinli/3	gündüz/1	akşam/3	akşam/3	15
5	gece/3	izinli/1	izinli/1	gece/3	izinli/1	gündüz/3	gündüz/3	15
6	akşam/3	gece/1	gece/1	izinli/3	gündüz/1	akşam/3	akşam/3	15
7	gece/1	gece/2	izinli/3	gündüz/1	gündüz/2	gündüz/1	gündüz/1	11
8	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/3	gündüz/1	gece/1	gece/1	9
9	akşam/1	akşam/2	izinli/2	akşam/1	akşam/2	akşam/1	izinli/1	10
10	gündüz/4	akşam/1	gece/1	izinli/4	gece/1	izinli/4	gündüz/4	19
11	akşam/1	gece/3	gece/3	izinli/1	gündüz/3	izinli/1	akşam/1	13
12	izinli/4	akşam/1	izinli/1	gündüz/4	akşam/1	akşam/4	akşam/4	19
13	akşam/1	akşam/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	7
14	izinli/1	izinli/3	gündüz/3	akşam/1	akşam/3	akşam/1	izinli/1	13
15	izinli/1	gündüz/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	akşam/1	akşam/1	7
16	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	gece/1	gece/1	izinli/2	gündüz/1	8
17	gündüz/2	izinli/4	izinli/4	gündüz/2	gündüz/4	gündüz/2	gündüz/2	20
18	izinli/2	izinli/1	gündüz/1	akşam/2	akşam/1	akşam/2	izinli/2	11
19	gündüz/1	akşam/1	izinli/1	gündüz/1	akşam/1	gece/1	gece/1	7
20	izinli/1	gündüz/3	gündüz/3	gündüz/1	gece/3	izinli/1	gündüz/1	13
21	akşam/3	izinli/3	izinli/3	akşam/3	akşam/3	akşam/3	izinli/3	21
22	gündüz/2	gündüz/2	gündüz/2	gece/2	izinli/3	gece/2	gece/2	15
23	gündüz/2	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/2	gündüz/1	izinli/3	gece/2	12
24	gündüz/1	izinli/1	izinli/1	gece/1	izinli/1	gece/1	gece/1	7
25	izinli/3	gündüz/2	gece/2	izinli/3	gündüz/2	izinli/3	akşam/3	18
GERÇEKLEŞEN DURUM								
gündüz	9	10	8	7	11	5	8	
akşam	5	5	0	5	7	10	6	
gece	3	4	6	5	3	4	5	
BEKLENEN DURUM (MİNİMUM GEREKEN)								
gündüz	0	5	0	0	1	3	5	
akşam	0	2	0	0	0	8	3	
gece	0	2	0	0	0	4	2	
Kapsama	0	0	0	0	0	0	0	
bulunan ceza değeri=314				bilinen en iyi ceza değeri=314				
case2, 70.nsp				% gap=0				
KISITLAR:								
- en az 1 en fazla 3 gün izinli olmak,								
- birbirini takip eden vardiyalar arasında en az 24 saat olması.								

Çizelge 5. 4. e. 3 nolu durum için elde edilen örnek çizelge

Hemşire /Gün	1	2	3	4	5	6	7	Tercih
1	izinli/1	gündüz/2	akşam/3	gece/1	izinli/1	gündüz/2	gece/1	11
2	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	gece/1	izinli/1	akşam/1	gece/1	7
3	gündüz/1	akşam/2	gece/4	izinli/4	gündüz/1	izinli/2	gündüz/1	15
4	gece/1	gece/2	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	akşam/2	izinli/1	9
5	akşam/1	izinli/3	akşam/1	akşam/1	gece/4	izinli/3	gündüz/4	17
6	gündüz/1	izinli/2	akşam/1	akşam/1	gece/1	izinli/2	akşam/1	9
7	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	akşam/1	7
8	izinli/4	gündüz/3	akşam/3	akşam/3	akşam/3	gece/2	izinli/4	22
9	akşam/1	gece/2	izinli/4	akşam/1	izinli/4	gündüz/3	akşam/1	16
10	izinli/4	gündüz/1	akşam/2	akşam/2	akşam/2	izinli/1	gece/4	16
11	gece/1	izinli/1	gündüz/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	gece/1	7
12	akşam/2	izinli/1	akşam/2	izinli/2	gündüz/2	gündüz/1	gece/2	12
13	akşam/1	izinli/2	akşam/1	akşam/1	izinli/3	gündüz/2	gece/3	13
14	izinli/1	akşam/2	akşam/1	izinli/1	gündüz/1	gece/2	gece/1	9
15	gece/1	izinli/1	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	akşam/2	8
16	akşam/2	izinli/3	akşam/2	gece/3	izinli/3	gündüz/3	akşam/2	18
17	akşam/3	akşam/2	gece/3	izinli/3	izinli/3	gündüz/2	gece/3	19
18	gece/4	izinli/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	gündüz/4	13
19	gece/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	akşam/1	izinli/1	7
20	gündüz/4	gece/3	izinli/4	akşam/1	akşam/1	izinli/4	akşam/1	18
21	gece/2	izinli/1	gündüz/2	izinli/2	akşam/2	akşam/1	akşam/2	12
22	gündüz/2	akşam/1	gece/2	gece/2	izinli/2	akşam/1	izinli/2	12
23	akşam/1	izinli/3	gündüz/4	akşam/1	akşam/1	gece/2	izinli/4	16
24	gece/2	izinli/3	gündüz/2	izinli/2	gündüz/2	akşam/3	gece/2	16
25	gündüz/3	gece/1	izinli/3	akşam/2	akşam/2	izinli/2	akşam/2	15
GERÇEKLEŞEN DURUM								
gündüz	6	4	7	2	7	8	3	
akşam	7	4	10	10	8	7	8	
gece	7	5	3	5	2	3	9	
BEKLENEN DURUM (MİNİMUM GEREKEN)								
gündüz	1	0	5	0	5	8	0	
akşam	0	0	6	0	6	3	0	
gece	0	0	0	0	0	1	0	
Kapsama	0	0	0	0	0	0	0	
bulunan ceza değeri=324				bilinen en iyi ceza değeri=324				
case3, 78 .nsp				% gap=0				
KISITLAR:								
- 2 gün izinli olmak,								
- çizelgeleme periyodu boyunca minimum 1 maksimum 3 gün gündüz vardiyasında çalışmak,								
- minimum 1 maksimum 3 gün akşam vardiyasında çalışmak,								
- minimum 1 maksimum 2 gün gece vardiyasında çalışmak,								
- birbirini takip eden vardiyalar arasında en az 24 saat olması.								

Çizelge 5. 4. f. 3 nolu durum için elde edilen örnek çizelge

Hemşire /Gün	1	2	3	4	5	6	7	Tercih
1	akşam/2	gece/2	izinli/2	gündüz/2	izinli/2	gündüz/2	gece/2	14
2	gündüz/3	gündüz/4	izinli/4	gündüz/4	gece/3	izinli/4	akşam/4	26
3	izinli/3	akşam/3	akşam/3	akşam/3	gece/3	izinli/4	gündüz/4	23
4	akşam/1	akşam/2	izinli/2	gece/2	izinli/1	gündüz/2	akşam/2	12
5	akşam/3	gece/1	gece/1	izinli/1	akşam/3	izinli/1	gündüz/1	11
6	gündüz/2	gece/4	izinli/4	akşam/3	izinli/2	akşam/3	akşam/3	21
7	gündüz/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	gündüz/1	izinli/1	gece/1	7
8	gece/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	7
9	gündüz/3	izinli/2	gece/2	izinli/2	gündüz/3	akşam/1	akşam/1	14
10	izinli/2	akşam/2	akşam/2	akşam/2	izinli/2	gündüz/3	gece/3	16
11	gece/2	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	akşam/2	gece/1	izinli/1	9
12	gündüz/3	akşam/3	izinli/4	akşam/3	izinli/4	akşam/3	gece/4	24
13	izinli/1	akşam/2	akşam/2	akşam/2	izinli/1	gündüz/2	gece/2	12
14	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	akşam/1	gece/1	gece/1	7
15	akşam/1	izinli/1	izinli/1	gündüz/1	akşam/1	gece/1	gece/1	7
16	akşam/1	izinli/2	gündüz/2	gündüz/2	izinli/1	gündüz/2	gece/2	12
17	gece/2	izinli/3	akşam/1	izinli/3	gündüz/1	akşam/1	akşam/1	12
18	izinli/1	izinli/2	gündüz/2	gündüz/2	akşam/1	gece/2	gece/2	12
19	gündüz/1	izinli/2	akşam/3	izinli/2	gündüz/1	gündüz/2	gece/2	13
20	akşam/2	gece/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	gece/1	8
21	izinli/1	akşam/1	izinli/1	gündüz/1	akşam/1	akşam/1	gece/1	7
22	akşam/1	izinli/2	gündüz/2	gece/2	izinli/1	gündüz/2	gündüz/2	12
23	izinli/1	akşam/4	izinli/4	gündüz/4	akşam/1	akşam/4	gece/4	22
24	gündüz/1	akşam/1	izinli/3	akşam/1	izinli/3	akşam/1	gece/3	13
25	gündüz/1	akşam/1	akşam/1	gece/2	izinli/2	izinli/2	akşam/1	10
GERÇEKLEŞEN DURUM								
gündüz	8	2	5	10	5	7	3	
akşam	7	10	7	6	8	8	6	
gece	3	5	2	3	2	4	14	
BEKLENEN DURUM (MİNİMUM GEREKEN)								
gündüz	0	0	0	6	0	1	1	
akşam	0	10	3	1	0	8	0	
gece	3	2	0	0	0	0	0	
Kapsama	0	0	0	0	0	0	0	
bulunan ceza değeri=331				bilinen en iyi ceza değeri=331				
case3, 53.nsp				% gap=0				
KISITLAR:								
- 2 gün izinli olmak,								
- çizelgeleme periyodu boyunca minimum 1 maksimum 3 gün gündüz vardiyasında çalışmak,								
- minimum 1 maksimum 3 gün akşam vardiyasında çalışmak,								
- minimum 1 maksimum 2 gün gece vardiyasında çalışmak,								
- birbirini takip eden vardiyalar arasında en az 24 saat olması.								

Çizelge 5. 4. g. 4 nolu durum için elde edilen örnek çizelge

Hemşire /Gün	1	2	3	4	5	6	7	Tercih
1	gündüz/3	gündüz/1	gece/1	izinli/4	izinli/4	gündüz/3	gündüz/1	17
2	izinli/3	gündüz/4	gece/4	gece/3	izinli/3	akşam/3	akşam/4	24
3	akşam/2	akşam/1	izinli/1	gece/2	izinli/2	akşam/2	izinli/1	11
4	izinli/1	gece/2	gece/2	izinli/1	gündüz/1	gece/1	gece/2	10
5	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	7
6	izinli/1	izinli/1	gündüz/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	gündüz/1	7
7	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	7
8	gece/1	izinli/3	gündüz/3	gece/1	izinli/1	akşam/1	izinli/3	13
9	gündüz/1	izinli/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	7
10	gündüz/2	izinli/1	izinli/1	gündüz/2	gündüz/2	gündüz/2	gündüz/1	11
11	gündüz/1	gece/3	gece/3	gece/1	izinli/1	izinli/1	gece/3	13
12	gece/1	gece/1	gece/1	izinli/1	izinli/1	izinli/1	gece/1	7
13	gece/3	izinli/4	akşam/4	akşam/3	gece/3	izinli/3	gündüz/4	24
14	izinli/1	gece/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	gece/1	gece/1	7
15	gece/1	izinli/2	izinli/2	gece/1	gece/1	izinli/1	gündüz/2	10
16	akşam/4	izinli/1	gündüz/1	gündüz/4	akşam/4	gece/4	izinli/1	19
17	izinli/1	gece/1	gece/1	izinli/1	gece/1	izinli/1	gece/1	7
18	gece/4	izinli/1	akşam/1	gece/4	izinli/4	akşam/4	izinli/1	19
19	gece/2	gece/1	izinli/1	izinli/2	akşam/2	izinli/2	akşam/1	11
20	gündüz/1	izinli/3	izinli/3	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/3	13
21	gündüz/2	izinli/4	izinli/4	gündüz/2	gündüz/2	gündüz/2	izinli/4	20
22	gece/3	izinli/2	gündüz/2	izinli/3	akşam/3	gece/3	izinli/2	18
23	gece/2	gece/1	gece/1	izinli/2	izinli/2	izinli/2	gece/1	11
24	akşam/2	gece/2	izinli/3	akşam/2	izinli/2	izinli/2	gece/2	15
25	izinli/1	gündüz/4	gündüz/4	akşam/1	akşam/1	izinli/1	akşam/4	16
GERÇEKLEŞEN DURUM								
gündüz	8	5	5	7	8	7	6	
akşam	3	1	2	4	5	4	3	
gece	8	8	8	6	3	4	7	
BEKLENEN DURUM (MİNİMUM GEREKEN)								
gündüz	1	0	1	1	2	3	3	
akşam	0	0	0	3	5	3	3	
gece	0	0	0	5	2	2	1	
Kapsama	0	0	0	0	0	0	0	
bulunan ceza değeri=324				bilinen en iyi ceza değeri=323				
case4, 34.nsp				% gap=(324-323)/323=0,003096				
KISITLAR:								
- en az 2 en fazla 3 gün izinli olmak,								
- çizelgeleme periyodu boyunca maksimum 5 gün gündüz, maksimum 5 gün akşam, maksimum 4 gün gece vardiyasında çalışmak,								
- birbirini takip eden vardiyalar arasında en az 24 saat olması.								

Çizelge 5. 4. h. 4 nolu durum için elde edilen örnek çizelge

Hemşire /Gün	1	2	3	4	5	6	7	Tercih
1	gece/1	izinli/4	gündüz/1	izinli/4	gündüz/1	gündüz/3	gündüz/1	15
2	gece/1	izinli/2	gündüz/1	gündüz/2	gece/1	izinli/2	gündüz/1	10
3	gündüz/1	izinli/2	gündüz/1	izinli/2	gündüz/1	izinli/2	gündüz/1	10
4	gündüz/1	izinli/3	gündüz/1	gece/2	gece/1	izinli/3	gündüz/1	12
5	izinli/1	akşam/2	izinli/1	akşam/2	akşam/1	akşam/2	izinli/1	10
6	izinli/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	7
7	gündüz/1	izinli/1	gece/1	gece/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	7
8	gündüz/3	gündüz/3	izinli/3	gece/3	izinli/3	gece/3	izinli/3	21
9	izinli/2	izinli/1	akşam/2	akşam/1	akşam/2	akşam/1	izinli/2	11
10	gündüz/1	izinli/3	gece/1	izinli/3	gece/1	gece/1	gece/1	11
11	izinli/1	gündüz/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	gece/1	izinli/1	7
12	izinli/1	gündüz/3	akşam/1	gece/3	izinli/1	gündüz/3	izinli/1	13
13	gündüz/3	izinli/1	gece/3	izinli/1	gündüz/3	akşam/1	gece/3	15
14	izinli/1	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	akşam/1	7
15	gündüz/2	gündüz/1	izinli/3	gece/1	gece/2	gece/1	izinli/3	13
16	gündüz/1	gündüz/1	izinli/2	gece/1	izinli/2	gündüz/1	gündüz/1	9
17	izinli/1	gündüz/2	akşam/1	gece/2	izinli/1	gündüz/2	izinli/1	10
18	gündüz/1	izinli/1	gece/1	izinli/1	gece/1	gece/1	gece/1	7
19	akşam/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	akşam/1	7
20	gündüz/2	izinli/1	gece/2	izinli/1	gündüz/2	izinli/1	gündüz/2	11
21	gündüz/3	izinli/1	akşam/3	izinli/1	gece/3	izinli/1	akşam/3	15
22	gündüz/3	gece/2	gece/3	gece/2	izinli/4	gündüz/2	izinli/4	20
23	gündüz/4	akşam/2	akşam/4	izinli/2	izinli/4	akşam/2	akşam/4	22
24	izinli/3	izinli/2	akşam/3	izinli/2	akşam/3	akşam/2	akşam/3	18
25	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	7
GERÇEKLEŞEN DURUM								
gündüz	14	7	5	3	5	7	8	
akşam	1	2	8	4	5	6	5	
gece	2	2	6	8	7	5	3	
BEKLENEN DURUM (MİNİMUM GEREKEN)								
gündüz	0	0	3	1	0	4	5	
akşam	0	0	6	0	0	5	4	
gece	0	0	3	0	0	2	2	
Kapsama	0	0	0	0	0	0	0	
bulunan ceza değeri=295				bilinen en iyi ceza değeri=295				
case4, 62.nsp				% gap=0				
KISITLAR:								
- en az 2 en fazla 3 gün izinli olmak,								
- çizelgeleme periyodu boyunca maksimum 5 gün gündüz, maksimum 5 gün akşam, maksimum 4 gün gece vardiyasında çalışmak,								
- birbirini takip eden vardiyalar arasında en az 24 saat olması.								

Çizelge 5. 4. i. 5 nolu durum için elde edilen örnek çizelge

Hemşire /Gün	1	2	3	4	5	6	7	Tercih
1	izinli/1	izinli/3	akşam/1	gece/1	gece/1	gece/1	gece/1	9
2	izinli/1	gündüz/1	akşam/1	gece/1	izinli/1	akşam/1	gece/1	7
3	gündüz/2	gündüz/1	akşam/2	izinli/2	izinli/2	akşam/2	akşam/2	13
4	gündüz/1	gündüz/4	gündüz/1	gündüz/1	izinli/4	izinli/4	gündüz/1	16
5	gündüz/1	gündüz/3	gündüz/1	gündüz/1	izinli/2	izinli/2	gündüz/1	11
6	gündüz/2	gündüz/3	gündüz/2	gündüz/2	izinli/3	izinli/3	gündüz/2	17
7	izinli/1	gece/1	gece/1	gece/1	izinli/1	akşam/1	gece/1	7
8	izinli/2	gündüz/3	akşam/2	akşam/2	akşam/2	gece/2	izinli/2	15
9	gündüz/1	gündüz/2	gündüz/1	gündüz/1	izinli/3	izinli/3	gündüz/1	12
10	gece/3	gece/1	izinli/3	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/3	13
11	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/2	izinli/2	gündüz/1	9
12	gece/3	gece/1	izinli/3	gündüz/4	gündüz/1	gündüz/1	izinli/3	16
13	gece/2	gece/1	izinli/2	akşam/2	gece/2	izinli/2	gece/2	13
14	akşam/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	7
15	gündüz/1	gündüz/2	gündüz/1	gündüz/1	izinli/2	izinli/2	gündüz/1	10
16	gündüz/1	akşam/2	izinli/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	akşam/1	8
17	gündüz/2	gündüz/3	gündüz/2	gündüz/2	izinli/3	izinli/3	gündüz/2	17
18	izinli/1	gündüz/2	akşam/1	gece/1	izinli/1	akşam/1	gece/1	8
19	gece/3	gece/2	izinli/3	akşam/3	akşam/3	izinli/3	gece/3	20
20	izinli/1	gündüz/1	akşam/1	akşam/1	gece/1	izinli/1	akşam/1	7
21	izinli/4	izinli/3	gündüz/2	gündüz/2	gündüz/1	gündüz/1	gece/4	17
22	gündüz/1	gündüz/3	gündüz/1	gündüz/1	izinli/2	izinli/2	gündüz/1	11
23	gece/1	gece/3	izinli/1	izinli/1	gündüz/1	akşam/1	akşam/1	9
24	akşam/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	gece/1	izinli/1	izinli/1	7
25	izinli/3	gündüz/1	akşam/3	izinli/3	gündüz/1	gündüz/1	akşam/3	15
GERÇEKLEŞEN DURUM								
gündüz	10	14	9	11	5	4	8	
akşam	2	3	9	6	3	6	6	
gece	5	6	1	4	4	2	7	
BEKLENEN DURUM (MİNİMUM GEREKEN)								
gündüz	0	0	1	1	1	0	2	
akşam	1	3	6	6	1	5	2	
gece	5	0	0	0	0	1	0	
Kapsama	0	0	0	0	0	0	0	
bulunan ceza değeri=294				bilinen en iyi ceza değeri=294				
case5_29.nsp				% gap=0				
KISITLAR:								
- 2 gün izinli olmak,								
- çizelgeleme periyodu boyunca en az 2 en fazla 5 gün ardışık olarak çalışmak,								
- birbirini takip eden vardiyalar arasında en az 24 saat olması.								

Çizelge 5. 4. j. 5 nolu durum için elde edilen örnek çizelge

Hemşire /Gün	1	2	3	4	5	6	7	Tercih
1	izinli/1	gündüz/2	gece/1	gece/1	gece/1	izinli/1	gece/1	8
2	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	gece/1	7
3	izinli/4	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/4	gündüz/1	gündüz/1	13
4	gündüz/1	gece/2	izinli/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/2	gece/1	9
5	izinli/4	akşam/4	akşam/1	akşam/1	akşam/1	izinli/3	akşam/1	15
6	izinli/1	gündüz/2	akşam/1	gece/1	izinli/1	gece/2	gece/1	9
7	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	gece/1	7
8	akşam/3	akşam/2	akşam/3	akşam/3	akşam/3	izinli/3	izinli/4	21
9	izinli/4	izinli/3	akşam/1	akşam/1	akşam/1	akşam/2	akşam/1	13
10	akşam/2	akşam/1	akşam/2	akşam/2	akşam/2	izinli/1	izinli/4	14
11	izinli/1	akşam/1	akşam/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	gece/1	7
12	izinli/2	gündüz/1	gündüz/2	izinli/2	gündüz/2	gündüz/1	gece/2	12
13	izinli/3	gündüz/2	akşam/1	akşam/1	akşam/1	izinli/2	akşam/1	11
14	akşam/1	akşam/2	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/2	gece/1	9
15	izinli/1	gündüz/1	gece/1	gece/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	7
16	izinli/3	gündüz/3	akşam/2	akşam/2	izinli/3	gündüz/3	akşam/2	18
17	izinli/3	akşam/2	akşam/3	gece/3	izinli/3	gece/2	gece/3	19
18	izinli/4	akşam/2	akşam/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	akşam/1	11
19	izinli/1	akşam/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	akşam/1	gece/1	7
20	akşam/1	akşam/3	izinli/4	akşam/1	akşam/1	izinli/4	akşam/1	15
21	gündüz/2	gece/1	gece/2	izinli/2	izinli/2	gündüz/1	gece/2	12
22	gündüz/2	akşam/1	izinli/2	gece/2	gece/2	gece/1	izinli/2	12
23	akşam/1	akşam/2	akşam/1	akşam/1	akşam/1	izinli/3	izinli/4	13
24	izinli/2	gündüz/3	gündüz/2	izinli/2	gündüz/2	gündüz/3	gündüz/2	16
25	akşam/2	akşam/1	izinli/3	akşam/2	akşam/2	akşam/1	izinli/3	14
GERÇEKLEŞEN DURUM								
gündüz	3	10	5	2	6	8	3	
akşam	6	12	11	11	10	3	6	
gece	0	2	4	6	3	3	11	
BEKLENEN DURUM (MİNİMUM GEREKEN)								
gündüz	1	0	5	0	5	8	0	
akşam	0	0	6	0	6	3	0	
gece	0	0	0	0	0	1	0	
Kapsama	0	0	0	0	0	0	0	
bulunan ceza değeri=299				bilinen en iyi ceza değeri=300				
case5, 78.nsp				% gap=(299-300)/300=-0,00333				
KISITLAR:								
- 2 gün izinli olmak,								
- çizelgeleme periyodu boyunca en az 2 en fazla 5 gün ardışık olarak çalışmak,								
- birbirini takip eden vardiyalar arasında en az 24 saat olması.								

Çizelge 5. 4. k. 6 nolu durum için elde edilen örnek çizelge

Hemşire /Gün	1	2	3	4	5	6	7	Tercih
1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	gündüz/1	izinli/1	7
2	izinli/1	gündüz/3	gündüz/3	gündüz/1	akşam/1	izinli/3	gündüz/3	15
3	akşam/1	izinli/1	gündüz/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	izinli/1	7
4	akşam/1	izinli/2	gündüz/2	gündüz/1	izinli/1	izinli/2	gündüz/2	11
5	izinli/1	gece/1	gece/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	gece/1	7
6	gündüz/1	izinli/2	izinli/2	gündüz/1	gündüz/1	izinli/2	gündüz/2	11
7	gündüz/1	akşam/3	gece/3	izinli/1	akşam/1	akşam/3	gece/3	15
8	izinli/2	gece/1	gece/1	izinli/2	akşam/2	akşam/1	gece/1	10
9	akşam/1	izinli/1	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	7
10	gündüz/2	gece/2	gece/2	izinli/3	gündüz/2	akşam/2	akşam/2	15
11	gündüz/1	gündüz/2	gündüz/2	gündüz/1	gece/1	izinli/2	izinli/2	11
12	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/2	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	8
13	akşam/3	izinli/2	gündüz/2	gece/3	gece/3	izinli/2	gündüz/2	17
14	izinli/1	gündüz/2	izinli/2	gündüz/1	akşam/1	izinli/2	gündüz/2	11
15	gündüz/2	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	gece/2	izinli/1	izinli/1	9
16	gece/1	gece/1	izinli/3	gündüz/1	gündüz/1	akşam/1	akşam/1	9
17	akşam/1	akşam/1	gece/1	izinli/1	izinli/1	gündüz/1	akşam/1	7
18	gündüz/3	izinli/1	gündüz/1	gece/3	gece/3	izinli/1	izinli/1	13
19	gündüz/1	izinli/3	gündüz/3	gündüz/2	gündüz/1	akşam/3	gece/3	16
20	akşam/3	izinli/1	gündüz/1	gündüz/2	izinli/3	gündüz/1	izinli/1	12
21	gündüz/1	izinli/2	izinli/2	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/2	izinli/2	11
22	gece/4	gece/1	izinli/2	gündüz/2	izinli/4	akşam/1	gece/1	15
23	izinli/4	gece/1	gece/1	izinli/4	gece/4	gece/1	gece/1	16
24	gece/3	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/3	gece/1	gece/1	11
25	gündüz/2	gündüz/3	gündüz/3	izinli/2	izinli/2	gündüz/3	gündüz/3	18
GERÇEKLEŞEN DURUM								
gündüz	10	6	13	13	7	7	7	
akşam	7	3	1	1	5	7	3	
gece	2	6	6	3	5	2	7	
BEKLENEN DURUM (MİNİMUM GEREKEN)								
gündüz	5	1	1	1	1	4	4	
akşam	4	0	0	0	1	1	2	
gece	2	2	0	0	0	2	4	
Kapsama								
bulunan ceza değeri=289				bilinen en iyi ceza değeri=289				
case6_31.nsp				% gap=0				
KISITLAR:								
- en az 1 en fazla 3 gün izinli olmak,								
- çizelgeleme periyodu boyunca en fazla 5 gün ardışık olarak çalışmak,								
- birbirini takip eden vardiyalar arasında en az 24 saat olması.								

Çizelge 5. 4. 1. 6 nolu durum için elde edilen örnek çizelge

Hemşire /Gün	1	2	3	4	5	6	7	Tercih
1	gündüz/2	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/2	gündüz/2	gündüz/1	10
2	gündüz/1	gündüz/1	gece/1	izinli/2	gündüz/1	gündüz/1	gece/1	8
3	gündüz/3	gündüz/1	gece/1	izinli/2	gündüz/1	gündüz/3	gece/1	12
4	gündüz/1	akşam/3	akşam/3	izinli/3	izinli/3	gündüz/1	izinli/3	17
5	gündüz/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	akşam/1	izinli/1	akşam/1	7
6	akşam/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	izinli/1	7
7	gündüz/2	akşam/2	akşam/2	izinli/2	izinli/2	gündüz/2	izinli/2	14
8	gündüz/2	gündüz/2	izinli/3	gece/2	gece/2	gece/2	gece/2	15
9	gece/2	izinli/4	gece/4	gece/4	gece/4	gece/2	gece/4	24
10	akşam/2	izinli/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	gece/2	izinli/1	9
11	akşam/1	akşam/2	izinli/2	akşam/2	izinli/2	izinli/1	gece/2	12
12	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	gece/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	7
13	akşam/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	7
14	akşam/1	akşam/1	izinli/1	akşam/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	7
15	izinli/3	gündüz/2	gündüz/2	gündüz/2	gündüz/2	izinli/3	gece/2	16
16	gündüz/1	gündüz/1	gece/1	gece/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	7
17	akşam/3	izinli/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	akşam/3	akşam/1	11
18	gündüz/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	izinli/1	gündüz/1	izinli/1	7
19	izinli/3	gündüz/1	gece/1	gece/1	gece/1	izinli/3	gece/1	11
20	izinli/1	gündüz/2	gece/2	gece/2	gece/2	izinli/1	gece/2	12
21	akşam/3	izinli/2	akşam/2	akşam/2	akşam/2	izinli/3	izinli/2	16
22	akşam/1	gece/4	gece/4	izinli/4	gündüz/4	izinli/1	izinli/4	22
23	gündüz/2	gündüz/1	izinli/1	gece/1	izinli/1	gündüz/2	izinli/1	9
24	izinli/2	akşam/1	gece/1	gece/1	izinli/1	izinli/2	akşam/1	9
25	gündüz/1	izinli/3	akşam/3	akşam/3	izinli/3	gece/1	izinli/3	17
GERÇEKLEŞEN DURUM								
gündüz	11	10	3	2	4	7	3	
akşam	8	7	10	8	5	3	5	
gece	1	1	8	8	6	4	8	
BEKLENEN DURUM (MİNİMUM GEREKEN)								
gündüz	5	3	1	1	1	3	2	
akşam	3	4	1	1	2	1	3	
gece	0	0	4	0	0	0	0	
Kapsama	0	0	0	0	0	0	0	
bulunan ceza değeri=293				bilinen en iyi ceza değeri=293				
case6, 18.nsp				% gap=0				
KISITLAR:								
- en az 1 en fazla 3 gün izinli olmak,								
- çizelgeleme periyodu boyunca en fazla 5 gün ardışık olarak çalışmak,								
- birbirini takip eden vardiyalar arasında en az 24 saat olması.								

Çizelge 5. 4. m. 7 nolu durum için elde edilen örnek çizelge

Hemşire /Gün	1	2	3	4	5	6	7	Tercih
1	izinli/2	akşam/1	akşam/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	8
2	izinli/1	gündüz/2	gündüz/1	gündüz/2	gece/1	gece/1	izinli/1	9
3	izinli/2	akşam/1	akşam/4	akşam/1	izinli/2	gündüz/2	gündüz/2	14
4	akşam/1	akşam/4	akşam/1	izinli/4	akşam/1	akşam/1	izinli/4	16
5	gece/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	gece/1	7
6	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	gece/1	7
7	akşam/2	akşam/1	izinli/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	gece/1	8
8	izinli/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/4	gündüz/1	gece/1	gece/1	10
9	akşam/3	akşam/4	akşam/3	izinli/4	izinli/4	akşam/3	akşam/3	24
10	izinli/2	gündüz/1	gündüz/2	gündüz/1	akşam/1	akşam/1	izinli/2	10
11	akşam/3	akşam/1	izinli/3	akşam/1	akşam/3	izinli/3	gündüz/3	17
12	akşam/1	akşam/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	gündüz/1	7
13	izinli/1	gündüz/2	gündüz/1	gündüz/2	izinli/1	gece/1	gece/1	9
14	izinli/4	gündüz/3	gündüz/4	gündüz/3	akşam/3	akşam/3	izinli/4	24
15	izinli/2	gündüz/1	gündüz/2	gündüz/1	gece/2	gece/2	izinli/2	12
16	akşam/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	izinli/2	8
17	izinli/2	gece/1	gece/2	gece/1	izinli/2	akşam/1	akşam/1	10
18	izinli/2	gece/4	gece/2	izinli/4	gündüz/2	gündüz/2	gündüz/2	18
19	akşam/2	akşam/2	akşam/2	izinli/2	izinli/4	akşam/2	akşam/2	16
20	izinli/3	gündüz/3	gündüz/3	gece/3	gece/3	izinli/3	akşam/3	21
21	izinli/3	akşam/2	akşam/3	akşam/2	izinli/3	gündüz/3	gündüz/3	19
22	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	gece/1	gece/1	izinli/1	gece/1	7
23	izinli/1	gündüz/3	gündüz/1	gündüz/3	gece/1	gece/1	izinli/1	11
24	akşam/1	akşam/4	akşam/1	izinli/4	izinli/2	akşam/1	akşam/1	14
25	izinli/4	akşam/1	akşam/2	izinli/1	akşam/2	akşam/2	akşam/2	14
GERÇEKLEŞEN DURUM								
gündüz	1	9	9	9	5	4	5	
akşam	8	12	9	4	8	10	7	
gece	1	3	2	3	5	5	6	
BEKLENEN DURUM (MİNİMUM GEREKEN)								
gündüz	0	6	0	5	4	1	0	
akşam	0	5	0	3	5	0	0	
gece	0	2	0	2	2	0	0	
Kapsama	0	0	0	0	0	0	0	
bulunan ceza değeri=320				bilinen en iyi ceza değeri=320				
case7, 67 .nsp				% gap=0				
KISITLAR:								
<ul style="list-style-type: none"> - 2 gün izinli olmak, - çizelgeleme periyodu boyunca en az 2 en fazla 5 gün ardışık olarak çalışmak, - çizelgeleme periyodu boyunca maksimum 5 gün gündüz, maksimum 5 gün akşam, maksimum 3 gün gece vardiyasında çalışmak, - ardışık minimum 2 maksimum 3 gün gündüz vardiyasında, minimum 2 maksimum 3 gün akşam vardiyasında, minimum 2 maksimum 3 gün gece vardiyasında çalışmak, - birbirini takip eden vardiyalar arasında en az 24 saat olması. 								

Çizelge 5. 4. n. 7 nolu durum için elde edilen örnek çizelge

Hemşire /Gün	1	2	3	4	5	6	7	Tercih
1	gece/1	gece/3	izinli/3	izinli/1	gündüz/3	gündüz/3	gündüz/3	17
2	gece/1	gece/1	izinli/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	7
3	izinli/1	gündüz/2	gündüz/2	izinli/1	gece/1	gece/2	gece/2	11
4	gece/2	gece/4	izinli/4	akşam/2	akşam/2	izinli/4	gündüz/4	22
5	gündüz/1	gündüz/2	gündüz/2	izinli/1	gece/2	gece/2	izinli/2	12
6	izinli/4	gündüz/3	gündüz/3	gündüz/4	izinli/3	gündüz/3	gündüz/3	23
7	gündüz/2	gündüz/4	izinli/4	izinli/4	akşam/2	akşam/3	akşam/3	22
8	izinli/1	gece/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	7
9	gündüz/3	gündüz/1	izinli/1	gündüz/3	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	11
10	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	7
11	gece/3	gece/3	izinli/3	akşam/3	akşam/1	izinli/3	gece/3	19
12	gündüz/2	gündüz/1	izinli/1	gündüz/2	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	9
13	izinli/4	akşam/1	akşam/1	izinli/4	akşam/2	akşam/1	akşam/1	14
14	izinli/1	gece/1	gece/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	7
15	akşam/1	akşam/1	izinli/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	gece/1	7
16	izinli/4	akşam/1	akşam/1	izinli/4	akşam/1	akşam/1	akşam/1	13
17	gündüz/1	gündüz/3	izinli/3	gündüz/1	gündüz/3	izinli/3	gece/3	17
18	izinli/1	akşam/2	akşam/2	izinli/1	akşam/2	akşam/2	akşam/2	12
19	izinli/2	akşam/1	akşam/1	izinli/2	akşam/2	akşam/1	akşam/1	10
20	izinli/4	akşam/1	akşam/1	izinli/4	akşam/1	akşam/1	akşam/1	13
21	izinli/3	akşam/3	akşam/3	izinli/3	akşam/3	akşam/3	akşam/3	21
22	izinli/3	akşam/3	akşam/3	izinli/3	akşam/1	akşam/3	akşam/3	19
23	akşam/4	akşam/1	akşam/1	izinli/4	izinli/4	akşam/1	akşam/1	16
24	gündüz/1	gündüz/2	gündüz/2	izinli/2	gece/1	gece/2	izinli/2	12
25	akşam/2	akşam/2	akşam/2	izinli/2	izinli/4	akşam/2	akşam/2	16

GERÇEKLEŞEN DURUM

gündüz	7	9	4	5	8	7	8
akşam	3	10	9	2	10	10	10
gece	4	6	2	1	3	3	4

BEKLENEN DURUM (MİNİMUM GEREKEN)

gündüz	3	3	2	2	1	2	2
akşam	1	3	1	1	1	1	1
gece	3	2	1	1	0	3	1
Kapsama	0	0	0	0	0	0	0

bulunan ceza değeri=344

bilinen en iyi ceza değeri=344

case7, 6.nsp

% gap=0

KISITLAR:

- 2 gün izinli olmak,
- çizelgeleme periyodu boyunca en az 2 en fazla 5 gün ardışık olarak çalışmak,
- çizelgeleme periyodu boyunca maksimum 5 gün gündüz, maksimum 5 gün akşam, maksimum 3 gün gece vardiyasında çalışmak,
- ardışık minimum 2 maksimum 3 gün gündüz vardiyasında, minimum 2 maksimum 3 gün akşam vardiyasında, minimum 2 maksimum 3 gün gece vardiyasında çalışmak,
- birbirini takip eden vardiyalar arasında en az 24 saat olması.

Çizelge 5. 4. p. 8 nolu durum için elde edilen örnek çizelge

Hemşire /Gün	1	2	3	4	5	6	7	Tercih
1	gündüz/1	gündüz/1	gece/1	gece/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	7
2	izinli/4	izinli/3	izinli/4	akşam/3	akşam/3	akşam/4	izinli/3	24
3	gece/1	gece/2	gece/1	izinli/2	izinli/2	gündüz/1	akşam/2	11
4	gündüz/2	gündüz/3	izinli/1	gündüz/3	gündüz/3	izinli/1	gündüz/3	16
5	izinli/1	izinli/3	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	9
6	izinli/2	izinli/4	izinli/2	gündüz/3	gündüz/3	izinli/2	gündüz/3	19
7	izinli/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	izinli/1	akşam/1	gece/1	7
8	izinli/3	izinli/1	gece/3	gece/1	izinli/1	izinli/3	gündüz/1	13
9	akşam/1	akşam/3	izinli/1	izinli/3	akşam/3	akşam/1	akşam/3	15
10	gündüz/3	gündüz/1	izinli/2	gündüz/1	gündüz/1	izinli/2	gündüz/1	11
11	gündüz/2	gündüz/3	akşam/2	izinli/4	gündüz/3	gündüz/2	gündüz/3	19
12	gece/1	gece/1	gece/1	izinli/1	izinli/1	gündüz/1	akşam/1	7
13	gündüz/3	gündüz/2	izinli/2	gündüz/2	gündüz/2	akşam/2	izinli/3	16
14	akşam/1	akşam/3	akşam/1	izinli/3	gece/3	gece/1	izinli/3	15
15	gece/1	gece/1	gece/1	izinli/1	izinli/1	gündüz/1	akşam/1	7
16	akşam/1	akşam/2	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	akşam/2	9
17	izinli/4	gündüz/1	gündüz/4	izinli/1	izinli/1	akşam/4	akşam/1	16
18	izinli/2	izinli/2	gündüz/1	gece/2	gece/2	gece/1	izinli/2	12
19	gündüz/1	gündüz/3	gündüz/1	izinli/2	gece/2	gece/1	izinli/2	12
20	izinli/2	izinli/3	izinli/2	gündüz/1	gündüz/1	izinli/2	gündüz/1	12
21	akşam/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	izinli/1	akşam/1	7
22	gece/2	gece/1	gece/2	izinli/1	izinli/1	gündüz/2	akşam/1	10
23	izinli/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	izinli/1	akşam/1	7
24	gündüz/1	akşam/2	izinli/3	akşam/2	gece/2	gece/1	izinli/2	13
25	gece/1	gece/3	gece/1	izinli/3	izinli/3	gündüz/1	akşam/3	15
GERÇEKLEŞEN DURUM								
gündüz	7	7	3	7	8	7	8	
akşam	4	6	5	4	2	5	10	
gece	5	5	7	3	4	4	1	
BEKLENEN DURUM (MİNİMUM GEREKEN)								
gündüz	1	3	3	0	1	0	3	
akşam	1	1	5	3	0	3	1	
gece	4	0	0	3	0	3	0	
Kapsama	0	0	0	0	0	0	0	
bulunan ceza değeri=309				bilinen en iyi ceza değeri=311				
case8, 19.nsp				% gap=(309-311)/311=-0,006431				
KISITLAR:								
<ul style="list-style-type: none"> - en az 1 en fazla 5 gün izinli olmak, - çizelgeleme periyodu boyunca en az 2 en fazla 4 gün ardışık olarak çalışmak, - çizelgeleme periyodu boyunca maksimum 6 gün gündüz, maksimum 6 gün akşam, maksimum 3 gün gece vardiyasında çalışmak, - ardışık maksimum 4 gün gündüz vardiyasında çalışmak, ardışık maksimum 4 gün akşam vardiyasında çalışmak, ardışık minimum 2 maksimum 4 gün gece vardiyasında çalışmak - birbirini takip eden vardiyalar arasında en az 24 saat olması. 								

Çizelge 5. 4. r. 9 nolu durum için elde edilen örnek çizelge

Hemşire /Gün	1	2	3	4	5	6	7	Tercih
1	gece/1	gece/1	izinli/3	akşam/1	akşam/3	akşam/1	gece/1	11
2	izinli/4	gündüz/1	gündüz/1	izinli/4	gece/1	gece/2	gece/1	14
3	akşam/2	akşam/1	izinli/1	akşam/2	akşam/1	gece/2	gece/1	10
4	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	gece/1	7
5	gündüz/3	gündüz/1	gündüz/1	izinli/3	gündüz/1	gündüz/3	izinli/1	13
6	gündüz/3	akşam/2	izinli/2	izinli/3	izinli/2	izinli/3	akşam/2	17
7	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	7
8	gündüz/3	akşam/2	izinli/2	gündüz/3	akşam/2	izinli/3	izinli/2	17
9	izinli/4	gündüz/1	gündüz/1	izinli/4	gece/1	gece/1	gece/1	13
10	gündüz/4	gündüz/1	gündüz/1	izinli/4	gündüz/1	gündüz/4	gündüz/1	16
11	akşam/1	akşam/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	izinli/1	7
12	gece/1	gece/2	izinli/3	akşam/1	akşam/3	akşam/1	gece/2	13
13	akşam/2	akşam/1	akşam/1	akşam/2	izinli/1	akşam/2	akşam/1	10
14	akşam/2	akşam/1	akşam/1	akşam/2	izinli/1	akşam/2	akşam/1	10
15	gece/1	gece/2	izinli/2	akşam/1	akşam/2	akşam/1	gece/2	11
16	gece/1	gece/1	izinli/1	akşam/1	akşam/1	akşam/1	gece/1	7
17	izinli/2	izinli/3	gündüz/3	gündüz/2	gündüz/3	izinli/2	gece/3	18
18	akşam/1	akşam/2	akşam/2	akşam/1	izinli/2	akşam/1	akşam/2	11
19	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/2	gündüz/1	gece/1	8
20	izinli/1	izinli/2	gündüz/2	gündüz/1	gündüz/2	izinli/1	gece/2	11
21	izinli/1	gündüz/2	gündüz/2	gündüz/1	akşam/2	izinli/1	gece/2	11
22	akşam/4	akşam/1	izinli/1	gündüz/4	akşam/1	izinli/4	akşam/1	16
23	gündüz/3	akşam/2	izinli/2	izinli/3	izinli/2	izinli/3	akşam/2	17
24	izinli/1	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	gündüz/1	izinli/1	gece/1	7
25	gündüz/3	gündüz/2	gündüz/2	akşam/1	izinli/4	gece/1	gece/2	15
GERÇEKLEŞEN DURUM								
gündüz	8	10	12	8	7	4	2	
akşam	6	9	3	10	9	8	6	
gece	4	4	0	0	2	4	14	
BEKLENEN DURUM (MİNİMUM GEREKEN)								
gündüz	8	0	12	8	0	1	0	
akşam	1	0	2	2	0	0	0	
gece	1	0	0	0	0	0	0	
Kapsama								
bulunan ceza değeri=297				bilinen en iyi ceza değeri=297				
case8, 84.nsp				% gap=0				
KISITLAR:								
<ul style="list-style-type: none"> - en az 1 en fazla 5 gün izinli olmak, - çizelgeleme periyodu boyunca en az 2 en fazla 4 gün ardışık olarak çalışmak, - çizelgeleme periyodu boyunca maksimum 6 gün gündüz, maksimum 6 gün akşam, maksimum 3 gün gece vardiyasında çalışmak, - ardışık maksimum 4 gün gündüz vardiyasında çalışmak, ardışık maksimum 4 gün akşam vardiyasında çalışmak, ardışık minimum 2 maksimum 4 gün gece vardiyasında çalışmak - birbirini takip eden vardiyalar arasında en az 24 saat olması. 								

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 7 gün 24 saat kesintisiz hizmet veren hastanelerde, hemşirelerin haftalık çalışma çizelgelerinin hazırlanması konusu araştırılmıştır. Vardiyalı çalışma sisteminin uygulandığı birimlerde çizelgeler hazırlanırken yasal sınırlamalar ve hastane yönetiminin istekleri tam olarak karşılanmalı ve birimde çalışan hemşirelerin istek ve beklentileri de karşılanarak verimli bir çalışma ortamı oluşturulmalıdır. Çıktısı insan hayatı olduğundan çizelgelerin hazırlanmasında hayati önem taşıyan bir diğer husus da hastane taleplerinin yeterli donanım ve sayıdaki çalışanlarla karşılanmasıdır. Çalışma kapsamında incelenen problem setinde hastane politikaları ve yasal düzenlemelerden oluşabilecek duruma özel kısıtlar ile günlük talebin karşılanması ile ilgili kısıtlar sıkı kısıt olarak belirlenmiştir. Hemşire tercihlerini yansıtan tercih kısıtları ise gevşek kısıt olarak gruplandırılmıştır. İncelenen problem seti bu özellikleriyle günümüzde hizmet veren pek çok hastanenin gerçek hayat problemlerini oluşturan beklentilerini yansıtmaktadır.

Hızlı ve doğru karar vermenin hayati öneme sahip olduğu bu sektörde incelenen problem seti için kısa sürede optimale yakın sonuçlar veren bir sezgisel algoritmanın kullanılması uygun bulunmuş ve Osogami ve Imai (2000) tarafından NP-zor yapısı kanıtlanan HÇP için son zamanlarda pek çok probleme uyarlanan HAA algoritması uygulanmıştır.

Çalışmanın ilk kısmında Geem ve ark. (2001) tarafından geliştirilen klasik HAA yaklaşımının sonuçları değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar bu problem seti için önerilen üç farklı sezgisel yöntemle kıyaslandığında tatmin edici bulunamamıştır. Literatürde klasik HAA yaklaşımıyla başarılı çözümlere ulaşılan hemşire çizelgeleme problemleri incelendiğinde maksimum iterasyon sayısının çok fazla olduğu gözlenmiştir. Hadwan ve ark. (2013) yapmış oldukları çalışmada durma kriterini 50000 iterasyon olarak belirlerken, Awadallah ve ark. (2011) ise yapmış oldukları çalışmada durma kriterini 100000 ve 300000 iterasyon arasında her 5000 iterasyonda herhangi bir iyileşme olmazsa dur olarak belirlemişlerdir. Aynı problem setine uygulanan diğer sezgisellerle kıyaslanması açısından yapılan çalışmada diğer sezgisel yöntemlerde olduğu gibi durma kriteri 5000 iterasyon olarak ayarlanmıştır. Algoritmanın etkinliğini artırmak adına 1 numaralı durumdan alınan 30 farklı problem üzerinde parametrelerin etkisi değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında ise HAA ile ilgili literatürdeki güncel yaklaşımlardan yararlanılarak belirlenen en uygun parametrelere sahip paralel HAA yaklaşımı önerilmiştir. Yapılan çalışma paralel HAA yaklaşımının HÇP üzerinde uygulandığı ilk çalışma olması açısından önemlidir. Elde edilen sonuçlara göre paralel HAA yaklaşımı 8 farklı durumun hepsinde klasik HAA'ya göre daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. Çalışmanın izleyen bölümünde Paralel HAA yaklaşımında başlangıç popülasyonu oluşturulurken karşıt tabanlı öğrenmeden esinlenilerek ceza değerleri birbirinden uzak bireylerin kullanılması uygun bulunmuştur. HM' nin alt gruplara ayrılmasında da yine aynı strateji izlenmiştir. Önerilen paralel HAA yaklaşımı bu açıdan literatürde paralel HAA' nın kullanıldığı diğer çalışmalardan ayrılarak, farklı bir bakış açısı kazandırmıştır. Algoritmanın etkinliğini göstermek adına rassal olarak seçilen problemlerin büyük çoğunluğunda önerilen algoritma 5000 iterasyonda diğer sezgiseller tarafından ulaşılan ve bilinen en iyi çözümlere saniyelerle ifade edilen çok kısa bir sürede ulaşmıştır. Algoritmanın kısa sürede bu kadar başarılı çözümler üretebilmesinin bir diğer nedeni de problemin 7 günlük vardiya desenleriyle incelenmesidir. Sıkı kısıtları sağlayan değerli desenlerin kullanılması çözüm uzayını büyük ölçüde daraltmıştır.

Önerilen paralel HAA yaklaşımı, HÇP için diğer sezgisellerle rekabet edebilir düzeydedir. Özellikle değerli desen sayısının oldukça az olduğu çok kısıtlı durumlar için bazı problemlerde diğer sezgisellere göre daha iyi çözümlere ulaşılabilmektedir, bu da algoritmanın etkinliğini ve başarısını kanıtlamaktadır.

Sonuç olarak yapılan çalışma ile hedeflenen HAA'nın performans kriterlerinin sonucu nasıl etkilediği ortaya koyulmuş ve paralel HAA'nın çalışma prensibi HÇP'ye ilk kez uygulanarak gelecekte bu konuda yapılacak olan çalışmalara bir başlangıç teşkil edilmiştir. Ayrıca paralel HAA yaklaşımına karşıt tabanlı öğrenmeye dayalı yeni bir özellik eklenerek algoritmanın iyileştirmesi sağlanmıştır.

İleriye dönük olarak yapılacak çalışmalarda, paralel HAA ile yerel arama metotları birleştirilerek algoritmanın performansı ve etkinliği arttırılabilir. Bunun yanı sıra Al-Betar ve ark. (2015) tarafından önerilen ve henüz bir HÇP' ye uygulanmayan ada tabanlı HAA yaklaşımı da aynı problem seti üzerine uygulanarak performansı değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Raouf O. ve Metwally M. A.-b., 2013, A survey of harmony search algorithm, *International Journal of Computer Applications*, 70 (28), 17-26.
- Abdennadher S. ve Schlenker H., 1999, INTERDIP -- An Interactive Constraint Based Nurse Scheduler *In Proceedings of The First International Conference and Exhibition on The Practical Application of Constraint Technologies and Logic Programming, PACLP*.
- Aickelin U., Burke E. K. ve Li J., 2006, An estimation of distribution algorithm with intelligent local search for rule-based nurse rostering, *Journal of the Operational Research Society*, 58 (12), 1574-1585.
- Aickelin U. ve Li J., 2007, An estimation of distribution algorithm for nurse scheduling, *Annals of Operations Research*, 155 (1), 289-309.
- Al-Betar M. A., Awadallah M. A., Khader A. T. ve Abdalkareem Z. A., 2015, Island-based harmony search for optimization problems, *Expert Systems with Applications*, 42 (4), 2026-2035.
- Arthur J. L. ve Ravindran A., 1981, A Multiple Objective Nurse Scheduling Model, *A I I E Transactions*, 13 (1), 55-60.
- Askarzadeh A. ve Rezazadeh A., 2011, A grouping-based global harmony search algorithm for modeling of proton exchange membrane fuel cell, *International Journal of Hydrogen Energy*, 36 (8), 5047-5053.
- Awadallah M., Khader A. T., Al-Betar M. A. ve Bolaji A. L. a., 2011, Nurse scheduling using harmony search, *Bio-Inspired Computing: Theories and Applications (BIC-TA), 2011 Sixth International Conference on*, 58-63.
- Awadallah M. A., Khader A. T., Al-Betar M. A. ve Bolaji A. L. a., 2012, Harmony search with greedy shuffle for nurse rostering, *International Journal of Natural Computing Research (IJNCR)*, 3 (2), 22-42.
- Awadallah M., Khader A. T., Al-Betar M. A. ve Bolaji A. L. a., 2013a, Hybrid harmony search for nurse rostering problems, *Computational Intelligence in Scheduling (SCIS), 2013 IEEE Symposium on*, 60-67.
- Awadallah M. A., Khader A. T., Al-Betar M. A. ve Bolaji A. L. a., 2013b, Global best harmony search with a new pitch adjustment designed for Nurse Rostering, *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 25 (2), 145-162.
- Awadallah M. A., Khader A. T., Al-Betar M. A. ve Bolaji A. L. a., 2014, Harmony search with novel selection methods in memory consideration for nurse rostering problem, *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 31 (03), 1450014.

- Azaiez M. N. ve Al Sharif S. S., 2005, A 0-1 goal programming model for nurse scheduling, *Computers & Operations Research*, 32 (3), 491-507.
- Baker K. R., 1976, Workforce Allocation in Cyclical Scheduling Problems: A Survey, *Operational Research Quarterly (1970-1977)*, 27 (1), 155-167.
- Beddoe G., Petrovic S. ve Li J., 2009, A hybrid metaheuristic case-based reasoning system for nurse rostering, *Journal of Scheduling*, 12 (2), 99-119.
- Bellanti F., Carello G., Della Croce F. ve Tadei R., 2004, A greedy-based neighborhood search approach to a nurse rostering problem, *European Journal of Operational Research*, 153 (1), 28-40.
- Bester M. J., Nieuwoudt I. ve Vuuren J. H., 2007, Finding good nurse duty schedules: a case study, *J. of Scheduling*, 10 (6), 387-405.
- Brucker P., Burke E., Curtois T., Qu R. ve Vanden Berghe G., 2010, A shift sequence based approach for nurse scheduling and a new benchmark dataset, *Journal of Heuristics*, 16 (4), 559-573.
- Burke E., Cowling P., De Causmaecker P. ve Berghe G., 2001, A Memetic Approach to the Nurse Rostering Problem, *Applied Intelligence*, 15 (3), 199-214.
- Burke E., De Causmaecker P., Berghe G. ve Van Landeghem H., 2004, The State of the Art of Nurse Rostering, *Journal of Scheduling*, 7 (6), 441-499.
- Burke E. K., De Causmaecker P., Petrovic S. ve Vanden Berghe G., 2006, Metaheuristics for handling time interval coverage constraints in nurse scheduling, *Applied Artificial Intelligence*, 20 (9), 743-766.
- Burke E. K., Curtois T., Post G., Qu R. ve Veltman B., 2008, A hybrid heuristic ordering and variable neighbourhood search for the nurse rostering problem, *European Journal of Operational Research*, 188 (2), 330-341.
- Burke E. K., Curtois T., Qu R. ve Vanden Berghe G., 2010, A scatter search methodology for the nurse rostering problem, *Journal of the Operational Research Society*, 61 (11), 1667-1679.
- Cheang B., Li H., Lim A. ve Rodrigues B., 2003, Nurse rostering problems—a bibliographic survey, *European Journal of Operational Research*, 151 (3), 447-460.
- Constantino A., Landa-Silva D., de Melo E., de Mendonça C., Rizzato D. ve Romão W., 2014, A heuristic algorithm based on multi-assignment procedures for nurse scheduling, *Annals of Operations Research*, 218 (1), 165-183.
- Dantzig G. B., 1954, Letter to the Editor--A Comment on Edie's "Traffic Delays at Toll Booths", *Operations Research*, 2 (3), 339-341.

- Darmoni S. J., Fajner A., Mahe N., Leforestier A., Vondracek M., Stelian O. ve Baldenweck M., 1995, HOROPLAN: computer-assisted nurse scheduling using constraint-based programming, *J Soc Health Syst*, 5 (1), 41-54.
- Dias T. M., Ferber D. F., De Souza C. C. ve Moura A. V., 2003, Constructing nurse schedules at large hospitals, *International Transactions in Operational Research*, 10 (3), 245-265.
- Edie L. C., 1954, Traffic Delays at Toll Booths, *Journal of the Operations Research Society of America*, 2 (2), 107-138.
- Geem Z. W., Kim J. H. ve Loganathan G., 2001, A new heuristic optimization algorithm: harmony search, *Simulation*, 76 (2), 60-68.
- Geem Z., 2010, State-of-the-Art in the Structure of Harmony Search Algorithm, In: *Recent Advances In Harmony Search Algorithm*, Eds: Geem Z: Springer Berlin Heidelberg, p. 1-10.
- Geem Z. W. ve Sim K.-B., 2010, Parameter-setting-free harmony search algorithm, *Applied mathematics and computation*, 217 (8), 3881-3889.
- Gutjahr W. J. ve Rauner M. S., 2007, An ACO algorithm for a dynamic regional nurse-scheduling problem in Austria, *Computers & Operations Research*, 34 (3), 642-666.
- Hadwan M., Ayob M., Sabar N. R. ve Qu R., 2013, A harmony search algorithm for nurse rostering problems, *Information Sciences*, 233, 126-140.
- Ingram G. ve Zhang T., 2009, Overview of applications and developments in the harmony search algorithm, In: *Music-inspired harmony search algorithm*, Eds: Springer, p. 15-37.
- Ilknur SAYAN F. U., 2013, Özel hastanelerde işgören bulma yöntemleri üzerine bir araştırma, *Anadolu BİL Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 8, 53-88.
- Khadwilard A., Luangpaiboon P. ve Pongcharoen P., 2012, Full factorial experimental design for parameters selection of harmony search Algorithm, *The Journal of Industrial Technology*, 8 (2), 1-10.
- Kougias I. ve Theodosiou N., 2010, A New Music-Inspired Harmony Based Optimization Algorithm. Theory And Applications, *International Conference On Protection And Restoration Of The Environment X, Corfu*.
- Lee K. S., Geem Z. W., Lee S.-h. ve Bae K.-w., 2005, The harmony search heuristic algorithm for discrete structural optimization, *Engineering Optimization*, 37 (7), 663-684.
- Li J., Burke E. K., Curtois T., Petrovic S. ve Qu R., 2012, The falling tide algorithm: A new multi-objective approach for complex workforce scheduling, *Omega*, 40 (3), 283-293.

- Liang J. ve Suganthan P. N., 2005, Dynamic multi-swarm particle swarm optimizer, *Swarm Intelligence Symposium, 2005. SIS 2005. Proceedings 2005 IEEE*, 124-129.
- Lü Z. ve Hao J.-K., 2012, Adaptive neighborhood search for nurse rostering, *European Journal of Operational Research*, 218 (3), 865-876.
- Maenhout B. ve Vanhoucke M., 2006, New Computational Results for the Nurse Scheduling Problem: A Scatter Search Algorithm, In: *Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization*, Eds: Gottlieb J ve Raidl G: Springer Berlin Heidelberg, 159-170.
- Maenhout B. ve Vanhoucke M., 2007, An electromagnetic meta-heuristic for the nurse scheduling problem, *Journal of Heuristics*, 13 (4), 359-385.
- Maenhout B. ve Vanhoucke M., 2008, Comparison and hybridization of crossover operators for the nurse scheduling problem, *Annals of Operations Research*, 159 (1), 333-353.
- Maenhout B. ve Vanhoucke M., 2011, An evolutionary approach for the nurse rostering problem, *Computers & Operations Research*, 38 (10), 1400-1411.
- Mahdavi M., Fesanghary M. ve Damangir E., 2007, An improved harmony search algorithm for solving optimization problems, *Applied mathematics and computation*, 188 (2), 1567-1579.
- Michael C., Jeffery C. ve David C., 2015, Nurse preference rostering using agents and iterated local search, *Annals of Operations Research*, 226 (1), 443-461.
- Millar H. H. ve Kiragu M., 1998, Cyclic and non-cyclic scheduling of 12 h shift nurses by network programming, *European Journal of Operational Research*, 104 (3), 582-592.
- Moz M. ve Pato M., 2004, Solving the Problem of Rerostering Nurse Schedules with Hard Constraints: New Multicommodity Flow Models, *Annals of Operations Research*, 128 (1-4), 179-197.
- Moz M. ve Vaz Pato M., 2007, A genetic algorithm approach to a nurse rostering problem, *Computers & Operations Research*, 34 (3), 667-691.
- Okada M. ve Okada M., 1988, Prolog-based system for nursing staff scheduling implemented on a personal computer, *Comput. Biomed. Res.*, 21 (1), 53-63.
- Omran M. G. ve Mahdavi M., 2008, Global-best harmony search, *Applied Mathematics and Computation*, 198 (2), 643-656.
- Osogami T. ve Imai H., 2000, Classification of Various Neighborhood Operations for the Nurse Scheduling Problem, In: *Algorithms and Computation*, Eds: Goos G, Hartmanis J, van Leeuwen J, Lee DT ve Teng S-H: Springer Berlin Heidelberg, p. 72-83.

- Osogami T. ve Imai H., 2001, Classification of various neighborhood operations for the nurse scheduling problem, *Algorithm and Computation, Proceedings*, 1969, 72-83.
- Ozcan E., 2005, Memetic Algorithms for Nurse Rostering, In: Computer and Information Sciences - ISCIS 2005, Eds: Yolum p, Güngör T, Gürgeç F ve Özturan C: Springer Berlin Heidelberg, p. 482-492.
- Ozkarahan I., 1991, A disaggregation model of a flexible nurse scheduling support system, *Socio-Economic Planning Sciences*, 25 (1), 9-26.
- Pan Q.-K., Suganthan P. N., Liang J. J. ve Tasgetiren M. F., 2009, A local-best harmony search algorithm with dynamic subpopulations, *Engineering Optimization*, 42 (2), 101-117.
- Pan Q.-K., Suganthan P. N., Liang J. J. ve Tasgetiren M. F., 2011, A local-best harmony search algorithm with dynamic sub-harmony memories for lot-streaming flow shop scheduling problem, *Expert Systems with Applications*, 38 (4), 3252-3259.
- Parr D. ve Thompson J. M., 2007, Solving the multi-objective nurse scheduling problem with a weighted cost function, *Annals of Operations Research*, 155 (1), 279-288.
- Rosenbloom E. S. ve Goertzen N. F., 1987, Cyclic nurse scheduling, *European Journal of Operational Research*, 31 (1), 19-23.
- Smet P., Wauters T., Mihaylov M. ve Vanden Berghe G., 2014, The shift minimisation personnel task scheduling problem: A new hybrid approach and computational insights, *Omega*, 46, 64-73.
- Sriharsha A. ve Reddy A. R. M., 2014, Music Inspired HS Algorithm for determining Software Design Patterns, *Issues*, 1 (1), 230-238.
- Taha H. A., 1997, Operations Research: An Introduction, Prentice Hall, p.
- Tassopoulos I. X., Solos I. P. ve Beligiannis G. N., 2015, A two-phase adaptive variable neighborhood approach for nurse rostering, *Comput. Oper. Res.*, 60 (C), 150-169.
- Tizhoosh H. R., 2005, Opposition-based learning: a new scheme for machine intelligence, *International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation (CIMCA)*, 695-701.
- Trivedi V. M. ve Warner D. M., 1976, A Branch and Bound Algorithm for Optimum Allocation of Float Nurses, *Management Science*, 22 (9), 972-981.
- Vanhoucke M. ve Maenhout B., 2007, NSPLib – A nurse scheduling problem library: a tool to evaluate (meta-)heuristic procedures, *Operational Research for Health Policy: Making Better Decisions, Proceedings for the 31st Annual Meeting of the working group on Operations Research Applied to Health Services*, 151-165.

- Warner D. M. ve Prawda J., 1972, A Mathematical Programming Model for Scheduling Nursing Personnel in a Hospital, *Management Science*, 19 (4), 411-422.
- Warner D. M., 1976, Scheduling Nursing Personnel according to Nursing Preference: A Mathematical Programming Approach, *Operations Research*, 24 (5), 842-856.
- Wei J., Jing W., Wei W., Liulin C. ve Qibing J., 2013, A parallel harmony search algorithm with dynamic harmony-memory size, *Control and Decision Conference (CCDC), 2013 25th Chinese*, 2342-2347.
- Wong T. C., Xu M. ve Chin K. S., 2014, A two-stage heuristic approach for nurse scheduling problem: A case study in an emergency department, *Comput. Oper. Res.*, 51, 99-110.
- Wu T.-H., Yeh J.-Y. ve Lee Y.-M., 2015, A particle swarm optimization approach with refinement procedure for nurse rostering problem, *Computers & Operations Research*, 54, 52-63.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ece ÇETİN
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : KONYA, 01.03.1990
Telefon : 0332 223 21 11
Faks : -
e-mail : ececetin@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Meram Anadolu Lisesi, Meram, Konya	2008
Üniversite	: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir	2012
Yüksek Lisans	: Selçuk Ün. Fen Bil. Ens. Selçuklu, Konya	-
Doktora	: -	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013-	SÜ Mühendislik Fakültesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Personel Çizelgeleme, Metasezgisel Yöntemler

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Çetin E. , Sarucan A. , 2015, Nurse scheduling using binary fuzzy goal programming, 6th International Conference on Modeling, Simulation, and Applied Optimization (ICMSAO), İstanbul, 1-6.

Çetin E. , Sarucan A. , 2015, Nurse Scheduling with Sub Regional Harmony Search Algorithm, 6th International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT), Antalya, 102-106. (Yüksek Lisans tez konusundan yapılmıştır.)