



KISIT PROGRAMLAMA VE HEDEF PROGRAMLAMA ENTEGRASYONU İLE VARDİYA ÇİZELGELEMESİ: HİDROELEKTRİK SANTRAL UYGULAMASI

¹Evrencan ÖZCAN , ²Hacı Mehmet ALAKAŞ , ³Ayşe YELEK , ⁴Tamer EREN 

^{1,2,3,4} Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, TÜRKİYE

¹evrencan.ozcan@kku.edu.tr, ²hmalagas@kku.edu.tr, ³ayse_yelek@hotmail.com, ⁴teren@kku.edu.tr

(Geliş/Received: 10.07.2020; Kabul/Accepted in Revised Form: 25.08.2020)

ÖZ: Toplumsal hayatın gereksinim duyduğu enerjinin kesintisiz, güvenilir, zamanında, temiz ve ekonomik yollarla üretilmesi ve en uygun fiyatlarla arz edilmesi olarak tanımlanan sürdürülebilir enerji arzı, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için büyük önem taşımaktadır. Dünya enerji karışımındaki yaklaşık beşte birlik payı ile en gelişmiş yenilebilir enerji teknolojisi olan hidroelektrik santraller ise, sürdürülebilir enerji arzının tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de sağlanması açısından kritik öneme sahiptir. Hidroelektrik santrallerde tüm elektrik üretim tesislerinde olduğu gibi vardiyalı bir çalışma programı bulunmaktadır. Bu sürekli üretim tesislerinde gerçekleştirilecek olan uzun süreli arızaların engellenmesini ve üretimin kesintisiz bir şekilde devam edebilmesini sağlayan personellerin işletmenin istekleri ve yasal yükümlülükler doğrultusunda analitik olarak çizelgelenmesi önemli bir husustur. Buradan hareketle bu çalışmada, bir hidroelektrik santralde çalışan personellerin çizelgelenmesi problemi ele alınmıştır. Problemin çözümü için kısıt programlama ve hedef programlamanın entegre edildiği model literatürde ilk defa önerilmiştir. Gerçek veriler ile oluşturulan bu entegre modelin çözümü neticesinde 3 vardiyada çalışan 28 personel için 31 günlük optimal bir çizelge elde edilmiştir. Elde edilen yeni çizelgede vardiya ekipleri arasında adaletli ve dengeli bir atama yapılarak işletmenin istekleri ve personelin memnuniyeti sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Vardiya çizelgeleme, kısıt programlama, hedef programlama, hidroelektrik santraller

Shift Scheduling with Constraint Programming and Goal Programming Integration: Hydroelectric Power Plant Case

ABSTRACT: Sustainable energy supply, which is defined as the production of the energy required by social life through uninterrupted, reliable, timely, clean and economical ways and its supply at the most affordable prices, is of great importance for developed and developing countries. Hydroelectric power plants which is the most advanced renewable energy technology with approximately 20% share of the world energy mix has critical importance for the realization of sustainable energy supply in Turkey as well as all over the world. Hydroelectric power plants have a shift work schedule as in all electricity generation power plants. It is important that scheduling the personnel, who ensure to keep from long-term failures that can occur and to continue uninterrupted generation in these continuous production facilities analytically in line with the demands of the company and legal obligations. Starting from this, in this study, the problem of scheduling of personnel working in a hydroelectric power plant has been addressed. For the solution of the problem, the model in which constraint programming and goal programming are integrated has been proposed for the first time in the literature. As a result of the solution of this integrated model created with real data, an optimal 31-day schedule was obtained for 28 staff working in 3 shifts. The demands of the company and the satisfaction of the personnel were ensured by making a fair and balanced appointment among the shift teams in the new schedule.

Key Words: Shift scheduling, constraint programming, goal programming, hydroelectric power plants

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınması için en önemli girdilerden biridir. Sanayi devrimi ile başlayan enerji talebi artan nüfus, ekonomik gelişme ve gelişen yaşam standartlarına bağlı olarak her geçen gün artış göstermektedir (Yılmaz, 2012). Toplumun ve ekonominin gereksinim duyduğu enerjinin kesintisiz, güvenilir, zamanında, temiz ve ucuz yollarla temin edilmesi ve en uygun fiyatlarla sağlanabilmesi olarak tanımlanan enerji arz güvenliği açısından enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için büyük önem taşımaktadır (Pamir, 2005).

Fosil yakıt rezervleri azalırken, bir yandan da dünya nüfusunun hızla artışı, ülkeleri yeni ve sürdürülebilir enerji politikaları geliştirmeye zorlamaktadır. Bu amaçla ülkeler çevreye duyarlı ve sürdürülebilir olması sebebiyle yenilenebilir enerjiye yatırımlarını artırmışlardır. Dünya genelinde yenilenebilir enerjinin önemi anlaşılrsa da enerji talebinin büyük kısmı henüz diğer kaynaklardan elde edilmektedir. Türkiye’de de son yıllarda yenilenebilir enerji yatırımları hız kazanmıştır. Türkiye’nin mevcut enerji ihtiyacının yaklaşık %30’u yenilenebilir kaynaklardan elde edilmektedir. Mevcut yenilenebilir kaynakların dörtte üçünü oluşturan kaynak ise hidroelektriktir. Hidroelektrik kaynaklar geçmişten bugüne önemini yitirmemiş ve her zaman ülke ekonomisine katkı sağlamıştır. Hidroelektrik santrallerden elektrik üretilmesi amacıyla kullanılan en büyük kaynak akarsu yataklarına kurulan barajlardır. Bu barajlara kurulan santraller aracılığıyla elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir.

Doğaya en az zarar veren enerji üretim yöntemlerinden biri hidroelektrik santrallerdir. Hidroelektrik santrallerde üretim esnasında doğaya zararlı atıklar oluşmamakla birlikte, fosil yakıt kullanan enerji santrallerine göre sera gazı salımı (karbon dioksit-CO₂) bu tesislerde oldukça düşük seyretmektedir. Bu sebeple jeotermal, rüzgar ve güneş gibi doğal kaynaklarla birlikte son yıllarda yenilenebilir enerjinin en yaygın olarak kullanılan şeklidir (Ürker ve Çobanoğlu, 2017). Dünya teorik hidroelektrik potansiyelinin %1’ini, Avrupa ekonomik potansiyelinin %16’sını Türkiye’deki hidroelektrik potansiyeli oluşturmaktadır. 2018 Haziran ayı sonu itibarıyla, işletmede bulunan 27.912 MW’lık kurulu güce sahip 636 adet hidroelektrik santral Türkiye toplam kurulu gücünün %32’sine karşılık gelmektedir (TC Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2019). Enerji santrallerinin Endüstri 4.0 ve gelişen teknolojinin gereklilikleri doğrultusunda insan gücüne bağımlılığı azalarak tam otomasyon çalışan üretim tesislerine dönüşmesi gerekmektedir. Fakat günümüzde birçok enerji santrali insan gücünü temel alan bir üretim gerçekleştirilmektedir. Enerji santrallerinde sürekli üretim yapan tüm üretim tesislerinde olduğu gibi iş gücünün sürekliliğini sağlamak amacıyla vardiyalı bir çalışma sistemi uygulanmaktadır. Vardiya personelinin yorgunluk, konsantrasyon eksikliği, deneyim, adil çalışma düzenine bağlı olarak motivasyon eksikliği nedeniyle hata yapma olasılığı yüksektir (Özder vd., 2019). Bu sebeple enerji sistemlerinde uygun bir çizelge oluşturulması işletme ve personel için büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın uygulama alanı olan hidroelektrik santrallerde diğer enerji santrallerinde olduğu gibi çalışan personeller üretimin sürekliliğini sağlamak için vardiyalı olarak çalışmaktadır. Hidroelektrik santral personellerinin oluşabilecek arızalarda yapacağı müdahaleler üretimin aksamasını engellemektedir. Bu sebeple personellerin doğru bir vardiya planı ile çizelgelenmesi işletmenin talepleri zamanında karşılayabilmesini ve maddi kayıpların önüne geçilmesini sağlamaktadır. Personel çizelgeleme, çizelgeleme problemleri arasında çalışma alanı en geniş problem türüdür. Personel çizelgeleme tüm personel grupları için uygulanabilir. Bu sebeple literatürde birçok farklı sektörde yapılmış çizelgeleme çalışması bulunmaktadır. Yapılan literatür araştırmasına göre ulaşım, sağlık gibi sektörlerde yapılan çalışmaların aksine enerji sektöründe henüz fazla çalışma bulunmamaktadır.

Bard vd. (2003), Amerika Birleşik Devletleri Posta Servisi’nin personel çizelgeleme probleminde, Yunes vd. (2005), Brezilya’daki bir otobüs firmasında çalışan şoförlerin çizelgelenmesinde, Lezaun vd. (2006), demiryolu sürücülerinin personel çizelgelenmesinde, Topaloğlu vd. (2006), hastanenin acil servisinde çalışan asistanların kıdem seviyelerine göre çizelgelenmesinde, Günther ve Nissen (2010), bir nakliye firmasının çalışanlarının çizelgelenmesinde çalışmışlardır. Fırat ve Hurkens (2012), karışık tamsayı programlama ile, Eren vd. (2017), hedef programlama (HP) yöntemi ile çizelgeleme problemi için model oluşturmuşlardır.

Vardiya çizelgeleme problemi üzerinde yapılan temel çalışmalar ise şunlardır: Sungur (2008), çizelgeleme problemlerinde ihtiyaç duyulan işgücü sayılarının kesin olarak bilinmediği durumu incelemiştir. Yağcıoğlu vd. (2016), kredi ve yurtlar kurumundaki, Ciritoğlu vd. (2017), Kırıkkale üniversitesindeki, Demirel vd. (2018), metro istasyonlarındaki güvenlik görevlilerinin vardiya çizelgelemesi problemini ele almıştır. Louly (2013), telekomünikasyon merkezinde çalışan personellerin, Varlı ve Eren (2016), bir fabrikada çalışan şeflerin, Bedir vd. (2017), ergonomik koşulları dikkate alarak, Yelek vd. (2018), kütüphanede kısmi zamanlı iki vardiya çalışan 40 öğrencinin isteklerin dikkate alındığı bir vardiya çizelgesi oluşturmuşlardır. Literatürde personel çizelgeleme problemlerinin çözümü için HP, doğrusal programlama, dinamik programlama ve tamsayı programlama gibi matematiksel programlama yöntemlerinden sıklıkla faydalanılmıştır. Kuyruk teorisi, kısıt programlama (KP) ve simülasyon ise personel çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan diğer çözüm yöntemleridir (Özder vd., 2019).

KP yöntemi son yıllarda literatürde araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Çeşitli alanlarda kullanılmaya başlanılan KP yönteminin çizelgeleme alanında bir örnek Laporte ve Pesant (2004)'a aittir. Araştırmacılar, literatürdeki diğer algoritmalarından daha geniş bir çeşitlilikteki kısıtlamaları içeren yeni bir KP algoritması geliştirilmiştir. Aslan (2010), büyük ölçekli bir enerji yönetimi probleminin çözümü için çalışmıştır. Demiryolu çizelgenmesinde Rodriguez (2007), Paris'teki bir kavşaktan geçen trenlerin rotalanması ve programlanması için, Pour vd. (2018), Danimarka demiryolu sistemindeki önleyici sinyal bakım ekibi çizelgeleme problemi için KP yönteminden yararlanmışlardır. Sağlık sektöründe Trilling vd. (2006), hemşire çizelgeleme problemini, Gür vd. (2019), ise ameliyathane çizelgenmesi problemini KP yöntemi ile ele almışlardır. De Silva (2001), otobüs şoförü çizelgeleme probleminin çözümünde, Goel vd. (2015), sıvılaştırılmış doğalgaz taşıyan gemi çizelgelemesi ve envanter yönetiminde KP yöntemi ile çalışmıştır. Ayrıca, Alağas vd. (2013), Alağas vd. (2016) ve Pınarbaşı (2015) çalışmalarında KP ile montaj hatlarının dengelenmesi üzerine çalışmışlardır.

Literatürde enerji sistemleri ile ilgili personel çizelgeleme çalışmaları incelendiğinde; Eitzen vd. (2004), Avustralya'daki bir enerji santralinde farklı beceri ve yeteneklere sahip personellerin çizelgenmesi problemini ele almışlardır. Oluşturdukları doğrusal programlama modeli için sundukları üç çözüm yönteminden ikisi olan azaltılmış sütun altkütmesi ve sütun genişletme yöntemlerinin, optimum çözümleri garanti etmemekle birlikte, makul bir sürede kabul edilebilir çözümler sağlayabildiğini göstermişlerdir. Üçüncü yöntem olan sütun üretimi ile maliyet optimizasyonunun sağlandığını fakat çözüm süresinin diğerlerine göre uzun olduğu sonucuna varmışlardır. Lilly vd. (2007), Nijerya'da bulunan bir elektrik üretim şirketinde bakım işlerinin çizelgenmesini ele almışlardır. Gaz türbinlerinin bakımı için normalde 5 günlük olan periyodun 4 güne indirilmesini ve bu periyot değişiminin işletmeye olan katkısını incelemişlerdir. Sonuç olarak işgücü sayısının azaltılarak işçilik maliyetinde %10 tasarruf sağlamış ve yüksek verimlilik ile enerji talebinin karşılanabildiğini ortaya koymuşlardır. Özder vd. (2019), doğalgaz kombine çevrim santrallerinde HP yöntemini analitik ağ süreci yöntemi ile entegre ederek personel çizelgeleme için kullanmışlardır. Analitik ağ süreci ile dokuz kriter dikkate alınarak işçilerin yeteneklerinin ağırlıklandırılmış, elde edilen ağırlıkları oluşturulan matematiksel modeldeki kısıtlarda kullanılmıştır. Çalışma sonucunda 80 personelin 30 gün boyunca üç vardiyada yeteneklerine göre çizelgenmesi yapılmış, işletmenin toplam kârı %92,45 artmıştır. Shuib ve Kamarudin (2019), Malezya'nın en büyük enerji santralindeki işçilerin vardiya çizelgelemesi problemi üzerine çalışmıştır. Problemin çözümü için tamsayı HP metodundan yararlanmışlardır. Çalışmada elektrik üretim santralinin seçilen bir departmanında 43 işçinin 28 gün boyunca üç vardiyada (sabah, akşam ve gece vardiyaları) çalıştığı ve bekleme ve dinlenme günlerinin dikkate alındığı bir çizelge oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda personel memnuniyeti %43,02'den % 80,23'e yükselmiştir.

Yapılan incelemeler doğrultusunda hidroelektrik santrallerde personel çizelgeleme problemini ele alan iki çalışma olduğu görülmektedir. Özcan vd. (2017), çalışmalarında HP yöntemi ile vardiya çizelgeleme problemine çözüm geliştirmişlerdir. Oluşturulan çizelge sonucunda ay sonu yapılan analiz ile operatör hatalarından kaynaklı yaşanan üretim duruşunun azaltılarak %91'lik bir iyileşmenin sağlandığı görülmüştür. Bedir (2017), hidroelektrik santrallerde görevli personelin çizelgenmesi için

AHP, PROMETHEE ve HP yöntemlerinden yararlanmıştır. Personellerin vardiyalara yetkinlikleri dikkate alınmıştır. İncelenen literatürdeki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada, personel çizelgeleme çalışmalarının fazla olmadığı bir sektör olan enerji sektöründe çalışan personellerin vardiya çizelgesi problemi ele alınmıştır. Bir hidroelektrik santralde yapılan bu çalışmada, personeller görev ve yetkinlikleri dikkate alınarak modellenmiştir. Problemin çözümünde ise literatürde çokça kullanılan diğer matematiksel programlama yöntemlerinin yerine KP yönteminden yararlanılmıştır. KP-HP entegrasyonu ile bir model önerilmiştir. Modelde ağırlıklı HP yönteminden yararlanılmış olup ağırlıklar eşit kabul edilmiştir.

Bu çalışmada, personel hatalarından kaynaklanan üretim duruş maliyetlerini azaltmak amacıyla, işletmenin planlama sürecinde sağlaması gereken yasal zorunluluklar ve işletme esasları dikkate alınarak personellerin vardiyalara adil bir şekilde atanması amaçlanmıştır. Vardiya çizelgesinin oluşturulabilmesi için literatürde ilk kez bir hidroelektrik santralde KP-HP entegrasyonu ile sistem modellenmiştir. Oluşturulan KP modeli ILOG CPLEX optimizasyon programında yazılmış ve sonuçları elde edilmiştir.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, çalışma hakkında bilgi verilmiş ve literatürdeki çalışmalar sunulmuştur. İkinci bölümde, vardiya çizelgeleme problemi tanımlanmış, çalışmanın yöntemi olan KP ve HP anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, ele alınan gerçek problem tanımlanmış ve modellenmiş, elde edilen sonuçlara yer verilmiştir. Çalışmanın son bölümünde ise, sonuçlar değerlendirilerek çalışmanın literatüre olan katkısı tartışılmıştır.

MATERYAL ve METOT (MATERIAL and METHOD)

Vardiya çizelgesi işgücü çizelgesinin özel bir halidir ve çalışılan günün seyrine göre talep değişimlerini karşılamak istenmektedir. Bir çalışma gününde çalışanların yetki ve görevleri doğrultusunda çalışacağı vardiyanın, mola ve izinlerinin belirlenmesi vardiya çizelgeleme problemidir. Çalışmaya başlama saatleri ve dinlenme süreleri, vardiya türleri, uzunluğu gibi işletme tarafından belirlenen vardiya özelliklerine uygun olarak çalışanlar atanırlar. Vardiya çizelgeleme problemlerinden vardiyaya atanan çalışanların sayıları ve izin, mola süreleri verilir (Aykin, 1996). Vardiya çalışması ,güvenlik (Ciritcioğlu vd., 2017), ulaşım (Varlı vd., 2016), turizm (Davras, 2017) ve sağlık (Öztürkoğlu, 2014) gibi hizmet ya da imalatın ekonomik ve kamusal açıdan sürekliliği olan alanlarda sıklıkla çalışılan bir problem türüdür.

Bir kurum ya da kuruluşta aylık, haftalık veya yıllık şekillerde vardiya çizelgesi yapılabilir. Çizelgelemelerde çalışanları uzman oldukları görevlere atayarak ve bazen de çalışanların özel izin ve istekleri yerine getirilerek adaletli bir vardiya sistemi oluşturulur. Vardiya çizelgeleme, işletmenin yapısına ve sektörüne göre farklılık gösteren maliyet ve iş gücünü minimum düzeyde tutarak maksimum fayda sağlamayı amaçlayan bir çizelgeleme türüdür. Vardiyalı çalışılan iş yerlerinde genellikle sabah, akşam ve gece vardiyası olmak üzere üç vardiya bulunmaktadır (Yüksel, 2004).

Bu çalışmada ele alındığından hidroelektrik santrallerde ise, sürekli talebi karşılamak için üretim kesintisiz olarak yapılmaktadır. Bu sürekli üretimin yapılabilmesi için personellerin vardiya sistemi ile çalışması gerekmektedir. Hidroelektrik santrallerde vardiya çizelgeleme, personelin etkin çalışması ve olabilecek arızaların önüne geçilebilmesi açısından önem taşımaktadır. İşletmenin istekleri ve yasal yükümlülükler doğrultusunda oluşturulacak vardiya çizelgesi personel memnuniyetini artırmakla beraber üretimin devamlılığını sağlamamakta ve verimliliği de arttırmaktadır.

Vardiya çizelgeleme probleminin çözümünde ya sezgisel algoritmalarından, ya matematiksel modellerden ya da ikisinin bir arada kullanıldığı modellerden faydalanılır (Varlı ve Eren, 2016). Bu çalışmada ise, KP-HP entegrasyonu ile vardiya çizelgeleme problemi için bir çözüm önerisinde bulunulmuştur. HP, birden fazla amaca sahip çok amaçlı optimizasyon problemlerini modellemek için kullanılırken, KP kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan bir algoritmadır. Bu çalışmada ise, KP ve HP yöntemleri entegre edilmiştir. Ele alınan çok amaçlı problem modelleme aşamasında tek amaçlı olarak çözülmüştür. Çözüm sürecinde gerçekleştirilmesi istenilen amaçlar HP

yöntemi ile bir araya getirilmiş, başka bir ifade ile tek bir amaç olarak ifade edilmiş ve KP yöntemi kullanılarak problem modellenmiştir.

Kısıt Programlama (Constraint Programming)

KP, doğrusal programlamanın optimal çözüme ulaşma gücü ile mantıksal bilgisayar programlamanın kolay tanımlanma özelliklerini bir arada kullanan, matematiksel programlamaya alternatif güçlü bir modelleme ve çözüm metodudur. KP genel yapısıyla değişkenlerden, değişkenlerin alabileceği değerleri içeren tanım kümelerinden ve değişkenler arasındaki ilişkileri gösteren kısıt kümesinden oluşur (Alağaç, 2017). Bir problemin KP ile çözülmesi izlenen üç adım bulunmaktadır:

- Karar değişkenlerinin, tanım kümesinin ve karar değişkenlerinden oluşan kısıtların olduğu KP modelinin kurulması gerekmektedir.
- KP modeli bir optimizasyon programında yazılarak bilgisayar ortamına aktarılmalıdır.
- Uygun bir arama stratejisi belirlenerek problem KP algoritması ile çözümlenmelidir.

Bir KP probleminin çözüm algoritmasında iki temel adıma ihtiyaç duyulur: değişken seçimi ve değer seçimi. Değişken seçimi, bir çözüm oluşturmak için arama ağacının herhangi bir dalında hangi değişkenin seçileceği ile ilgilidir. Değer seçimi ise, dal oluşturmak üzere seçilmiş değişkene değer ataması ile ilgilidir (Pınarbaşı, 2015). Bir KP modeli oluşturulurken $\{X, C, D\}$ notasyonları kullanılır.

- X karar değişkeni dizisini göstermektedir ve $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ şeklinde tanımlanır.
- D karar değişkenlerinin alabileceği değerler kümesidir ve $v_i \in D(x_i) \quad i=1, \dots, n$ şekline tanımlanır.
- C ifadesi ise, kısıtları ifade etmektedir ve $C_j = \{c_1, \dots, c_m\}$ olarak tanımlanmaktadır.

Tüm kısıtlar yerine getirilirken karşılık gelen kümelerden tüm değişkenler için değer ataması yapılmalıdır. Ele alınan problem için tüm çözüm alanı $D_1 \times D_2 \times D_3 \dots D_{n-1} \times D_n$ olarak temsil edilir. Çoğu zaman bu problem $H(x_1, \dots, x_n)$ olarak tanımlanan amaç fonksiyonunu da içerir. Genel bir KP yapısı aşağıda gösterilmiştir (Apt, 2003):

$$\begin{aligned} & \text{minimize } H(x_1, \dots, x_n) \\ & \text{subject to} \\ & C_j = \{c_1, \dots, c_m\} \quad \forall j \in \{1, \dots, m\} \\ & x_i \in D_i \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \end{aligned}$$

KP modelinin sonuç verebilmesi için karar değişkenlerinin tanım kümesinde bulunan değerlerden birini alması ve aldığı bu değer için verilen kısıtları sağlaması gerekmektedir. Aramanın bir aşamasında eğer herhangi bir değişkenin tanım kümesi boş küme olursa değişken seçim kurallarına göre yeniden değişken seçimi yapılır ve seçilen bu değişkene tanım kümesi içerisinde değer ataması yapılır. Eğer değer almayan bir değişken yok ise çözüm elde edilir ve arama sonlandırılır (Ünsal, 2013).

KP yöntemi modelleme sürecinde mantıksal kısıtların yazımında kolaylık sağlamaktadır. Aynı zamanda karar değişkenleri sayısal değişkenlerin yanı sıra farklı yapılarda da değerler alabilmektedir. Çözüm süreçlerinde KP yöntemi karar vericilere daha az karar değişkeni sayısı ile model kurabilme olanağı sağlamaktadır. Karar vericiler modelleme aşamasında tanımladıkları çözüm arama algoritmalarını kullanabilmektedir. KP yönteminin bu avantajları göz önünde bulundurularak problemin çözüm sürecinde temel KP modeli önerilmiştir. Bu sayede, literatürde ilk defa vardiya personelinin üretim süreçleri üzerindeki etkisinin büyük olduğu hidroelektrik santrallerde KP-HP entegrasyonu ile bir model önerilmiş ve literatürdeki diğer örneklerle nazaran daha az karar değişkeni tanımlanarak modelleme süreci kolaylaştırılmış ve uygulama sonuçlarında da belirtildiği üzere etkinlik elde edilmiştir.

Hedef Programlama (Goal Programming)

HP, bir karar vericinin birden fazla amacının olduğu durumlarda kullanılan bir matematiksel modelleme yöntemidir. Diğer matematiksel modellerden farkı, aynı anda birden çok amacı sağlatabilen bir yapıya sahip olmasıdır. HP modelinin kullanılabilmesi için en az iki farklı amacı olan bir problemin ele alınmış olması gerekmektedir.

HP yöntemi ilk defa 1955 yılında Charnes ve arkadaşlarının çalışmasında kullanılmıştır (Charnes ve Cooper, 1955). HP için ilk tanımlama da yine Charnes ve Cooper tarafından yapılmıştır (Charnes ve Cooper, 1961). Lee ve Ignizio'nun çalışmaları HP'nin çalışma alanları ve teknik uygulamaları için yol gösterici olmuştur (Ignizio, 1976; Lee, 1972). Literatürde araştırmacılar tarafından kullanılan üç ayrı HP yöntemi bulunmaktadır. Öncelikli HP ve ağırlıklı HP sıklıkla kullanılmasına rağmen, minmax HP olarak da bilinen Chevyshev HP, daha az yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Gür ve Eren, 2018).

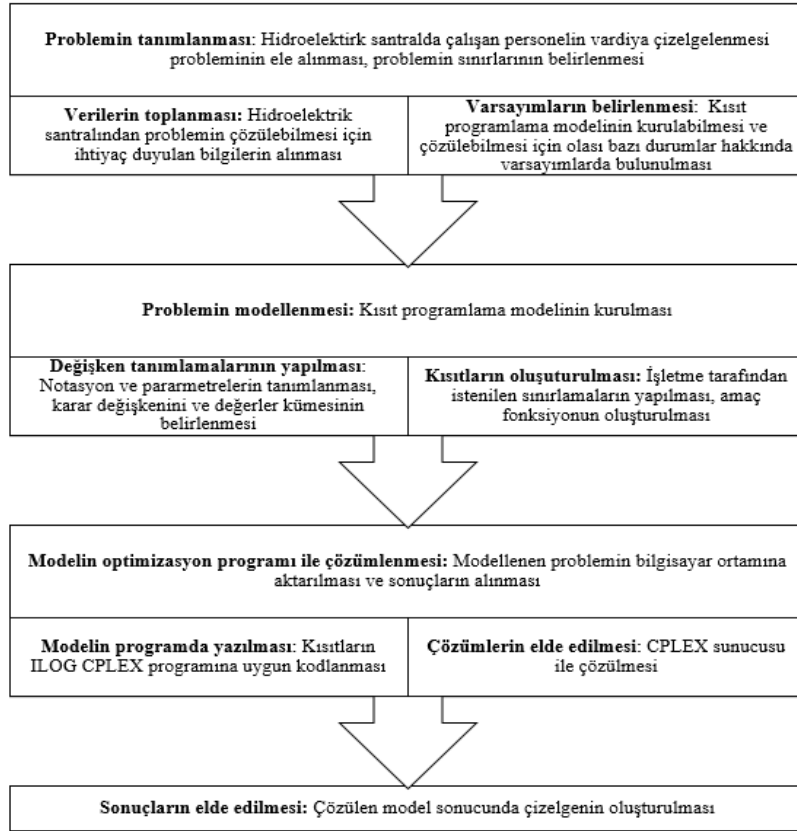
HP modelinde birden çok amacı sağlayabilmek için amaçlar hedef kısıtları olarak tanımlanır ve modelin amaç fonksiyonunda bu hedef kısıtlarındaki sağ taraf değerinden uzaklaşmanın küçüklenmesi sağlanır. Hedef kısıtlarında diğer kısıtlardan farklı olarak negatif ve pozitif sapma değişkenleri bulunmaktadır. HP'de sapma değişkenleri her bir hedef kısıtı için en az bir, en fazla iki tane olmakla beraber genellikle d_i^+ ve d_i^- simgesiyle gösterilir. Bir sapma değişkeni sıfırdan küçük olamamaktadır. Aynı anda bir hedeften hem pozitif hem negatif sapma olması mümkün olmadığı için değişkenlerden biri daima sıfır değerini alır. Hedef kısıtlarına bağlı olarak negatif ve pozitif sapma değişkenleri istenen veya istenmeyen değişken olarak ifade edilebilmektedir. HP'de amaç, fonksiyonun hedeften sapmasını en küçüklemediği için pozitif ve negatif sapma değişkeninin sıfıra oldukça yakın değerler olması beklenmektedir (Ignizio, 1985).

Hedef programlama modelinin gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$\begin{array}{ll}
 x_j : j. \text{ Karar değişkeni} & j = 1, \dots, n \\
 d_i^+ : i. \text{ hedeften pozitif sapma değişkeni} & i = 1, \dots, k \\
 d_i^- : i. \text{ hedeften negatif sapma değişkeni} & i = 1, \dots, k \\
 a_{ij} : i. \text{ hedefin } j. \text{ karar değişkeni katsayısı} & i = 1, \dots, k, j = 1, \dots, n \\
 b_i : i. \text{ hedef için istenen değer} & i = 1, \dots, k \\
 \text{Genel gösterimi ise aşağıdaki gibidir:} & \\
 \text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^m (d_i^+ + d_i^-) & \\
 \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - d_i^+ + d_i^- = b_i & i = 1, \dots, k, j = 1, \dots, n \\
 x_j, d_i^+, d_i^- \geq 0 &
 \end{array}$$

UYGULAMA (CASE STUDY)

Bu çalışma ile bir hidroelektrik santralde çalışan personellerin vardiya çizelgelerinin KP modeli ile yapılması amaçlanmıştır. Problemin tanımlanmasından uygulamanın sonuçlarının elde edilmesine kadar devam eden süreç uygulama akış şeması (Şekil 1)'de verilmiştir.



Şekil 1. Uygulama akış şeması

Figure 1. Application flow chart

Problemin Tanımlanması (Defining the Problem)

Bu çalışmada, Türkiye’de bulunan bir hidroelektrik santralini işletme personelinin vardiya çizelgeleme problemi ele almıştır. Ele alınan santral 95 Megawatt (MW) kurulu güce sahip bir santraldır. Santral 30 MW, 30MW ve 35MW olmak üzere 3 üniteden meydana gelmektedir. SCADA (Merkezi Kontrol ve Veri Toplama Sistemi) bulunmayan santralde güncel teknolojilerle oluşturulan otomasyon sistemlerinin kullanılmaması sonucu personel ihtiyacı artmaktadır. Söz konusu artıştan dolayı personellerin vardiya planlarının oluşturulmasını zorlaşmaktadır.

Planlamada karşılaşılan problemlerin kaynağı işletme yöneticisinin bazı personelleri sürekli gece vardiyasında çalıştırmasıdır. Vardiya planlarının dengesizliği personel memnuniyeti ve motivasyonunu olumsuz etkilenmektedir. Problemin modelinin oluşturulabilmesi ve çözülebilmesi için olası bazı durumlar hakkında varsayımlar yapılmıştır. Yapılan varsayımlar şunlardır:

- Çizelge 31 gün için yapılacaktır.
- Resmi ve dini tatil günleri ile hafta sonları dikkate alınmayacaktır.
- Personellerin yıllık izinleri dikkate alınmayacaktır.
- Çizelgedeki birinci gün ayın ilk gününü, haftanın ilk günü ise, herhangi bir günü göstermektedir.

365 gün boyunca 24 saat esasına göre durmaksızın üretim yapma hedefi ile kurulan elektrik üretim santrallerinde her gün 3 vardiya şeklinde çalışılmaktadır. Uygulamada ele alınan santralde vardiyalar sabah (08:00-16:00), akşam (16:00-00:00), gece (00:00-08:00) şeklinde planlanmaktadır. Santralde vardiya ekibi 28 personelden oluşmaktadır. Bu personeller 4 farklı kıdem seviyesine sahiptir. Bunlar beş vardiya amiri, dokuz ustabaşı, sekiz usta ve altı usta yardımcısıdır. Sınırlamalar yapılırken santraldeki gereklilikler santral uzmanları tarafından belirlenmiştir. İşletme ve bakım konusunda 10 ila 25 yıl

arasında tecrübeye sahip elektrik mühendisi, elektrik-elektronik mühendisi, makine mühendisi ve endüstri mühendisi unvanına sahip uzmanların ortak görüşü ile kısıtlar belirlenmiştir.

Örneğin, her bir vardiyada en az bir vardiya amiri bulunmak zorundadır. Çünkü mühendislerin çalışmadığı vardiyalarda da santral üretimine devam etmektedir. Özellikle bu vardiyalarda santralin işletme direktiflerine uygun olarak çalışmasını sağlayan en yetkin ve tecrübeli personel bunlardır. Diğer taraftan ustabaşları yetkinlik ve tecrübe seviyesi en yüksek olan teknisyenlerdir. Tüm vardiyalarda bu personeller mühendis ve vardiya amirlerinin yardımcıları pozisyonundadır. Bir ustabaşının üretimle ilgili herhangi bir süreci kontrolü esnasında da başka bir sürece de (herhangi bir ekipmanın tolerans sınırlarına yaklaşması, arızası, diğer işletme personellerinin sevk ve idaresi vb.) müdahale etmesi gerekebileceğinden en az iki kişi olması gerekmektedir. Santralin tüm ünitelerinin çalışması durumunda ise geçmiş tecrübeler ve işletme direktiflerine dayanarak personel sayısı beş kişi ile sınırlandırılmıştır.

Vardiya Çizelgeleme için Kısıt Programlama Modeli (Constraint Programming Model for Shift Scheduling)

Problemin çözülebilmesi için oluşturulan modelin parametreleri, karar değişkenleri, kısıtları ve amaç fonksiyonu bu bölümde verilmiştir. Problemin notasyon ve parametreleri şunlardır:

N: Santralde çalışan personel sayısı	$N = 28$
M: İlgili aydaki gün sayısı	$M = 31$
K: Vardiya sayısı (1: Sabah, 2: Akşam, 3: Gece, 4: Tatil)	$K=4$
k: vardiya ve tatil indisi	$k = 1, \dots, K$
i=personel indisi	$i = 1, 2, \dots, N$
j=gün indisi	$j = 1, 2, \dots, M$
Problemin karar değişkenleri aşağıda verilmiştir;	
X_{ij} = i. personelin j. gün çalıştığı vardiya değeri	$\forall i, j$
d_{ik}^+ = i. personelin k. vardiyada çalıştığı gün sayısının hedeften pozitif sapması	$\forall i, k$
d_{ik}^- = i. personelin k. vardiyada çalıştığı gün sayısının hedeften negatif sapması	$\forall i, k$

Hedef kısıtı

İşletmedeki uzmanlardan alınan bilgiler doğrultusunda vardiyaların adaletsiz atanmasından dolayı oluşan sorunlar dikkate alınarak hedef belirlenmiştir. Çalışanlar arası vardiyaların eşit ve adil bir şekilde atanmasını sağlamak amacıyla hedef kısıtı oluşturulmuştur. Bu hedef ile çalışanların atandıkları vardiya sayılarının olabildiğince eşit olması sağlanmıştır.

$$\text{count}(X_{ij}, k) + d_{ik}^- - d_{ik}^+ = 8 \quad \forall i, k$$

Kısıtlar

Çalışmada ele alınan kısıtlar uygulamanın ele alındığı santralin belirlediği kanunî ve özel kısıtlar dikkate alınarak belirlenmiştir.

1.Kısıt: Her gün her vardiya için gerekli personel sayısının atanması kısıtı

$$\text{count}(X_{ij}, k) = 7 \quad k = 1, 2, 3 \quad \forall i, j$$

2.Kısıt: Vardiya amirlerinin her vardiyada en az bir, en fazla üç tane atanması kısıtı

$$1 \leq \text{count}(X_{ij}, k) \leq 3 \quad i = 1, \dots, 5 \quad k = 1, 2, 3 \quad \forall j$$

3.Kısıt: Ustabaşlarının her vardiyada en az iki, en fazla beş tane atanması kısıtı

$$2 \leq \text{count}(X_{ij}, k) \leq 5 \quad i = 6, \dots, 14 \quad k = 1, 2, 3 \quad \forall j$$

4.Kısıt: Ustaların her vardiyada en az iki tane atanması kısıtı

$$\text{count}(X_{ij}, k) \geq 2 \quad i = 15, \dots, 22 \quad k = 1, 2, 3 \quad \forall j$$

5.Kısıt: Usta yardımcılarının her vardiyada en az bir tane atanması kısıtı

$$\text{count}(X_{ij}, k) \geq 1 \quad i = 23, \dots, N \quad k = 1, 2, 3 \quad \forall j$$

6.Kısıt: Herhangi bir gün gece vardiyasında çalışan bir personelin ertesi gün sabah ve akşam vardiyalarında çalışmaması kısıtı

Kısıtın yazımında $(X_{ij} = m)$ gibi yazılan ifade KP’de kullanılan özel bir tanımlamadır. Bu şekilde parantez içinde yazılan ifadelerde eğer (X_{ij}) karar değişkeni m değerini almış ise $(X_{ij} = m)$ ifadesi 1 değerini döndürmekte, karar değişkeni m ’den farklı bir değer almış ise 0 değerini döndürmektedir.

$$(X_{ij} = 3) + (X_{i(j+1)} = 1) + (X_{i(j+1)} = 2) \leq 1 \quad j = 1, \dots, 30 \quad \forall i$$

7.Kısıt: Herhangi bir gün akşam vardiyasında çalışan bir personel ertesi gün sabah vardiyasında çalışmaması kısıtı

$$(X_{ij} = 2) + (X_{i(j+1)} = 1) \leq 1 \quad j = 1, \dots, 30 \quad \forall i$$

8.Kısıt: Herhangi bir personelin altı günden fazla art arda çalışmaması kısıtı

$$(X_{ij} = 4) + (X_{i(j+1)} = 4) + (X_{i(j+2)} = 4) + (X_{i(j+3)} = 4) + (X_{i(j+4)} = 4) + (X_{i(j+5)} = 4) \geq 1 \quad j = 1, \dots, 25, \quad \forall i$$

9.Kısıt: Karar değişkenininin 1-4 arasında tamsayılı değer alması kısıtı (X_{ij} ’nin k ’ya eşit olması)

$X_{ij} \in [1,4]$ ve tamsayı

Amaç fonksiyonu

Çalışmanın amaç fonksiyonu, personellerin atandıkları vardiyalarda toplam gün sayılarının hedeflerden pozitif ve negatif sapmalarının minimizasyonunu içermektedir.

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^{28} \sum_{k=1}^4 (d_{ik}^+ + d_{ik}^-)$$

Modelin çözümü “Intel (R) Core (TM) i5-3210 M CPU@2.50 GH” işlemciye, 8 GB belleğe ve Windows 10 işletim sistemine sahip bir bilgisayarda yapılmıştır. Oluşturulan HP modeli ILOG CPLEX Studio IDE 12.6.2.0 paket programında modellenmiş ve CPLEX çözücüsü ile çözülmüştür

Çözüm sonucunda elde edilen veriler ile vardiya çizelgesi oluşturulmuştur. Oluşturulan vardiya çizelgesi Şekil 2’de verilmiştir. Çizelgede çalışanların günlük çalışacakları vardiyalar ile izinli günleri görülebilmektedir.

Personel/ Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
1	i	G	G	i	A	G	i	G	i	S	G	i	S	S	G	i	S	A	A	i	S	S	i	S	i	A	G	i	A	A	A		
2	S	i	i	S	S	S	G	i	A	G	i	G	G	i	A	i	A	G	i	S	A	i	S	S	G	i	A	A	A	i	G		
3	S	G	G	i	A	G	i	i	S	G	i	A	i	S	A	G	i	S	G	i	A	A	G	i	S	A	A	i	i	S	S		
4	A	i	S	A	i	S	A	A	i	S	A	G	i	G	i	S	A	G	i	i	S	G	i	S	G	i	S	G	i	A	G		
5	S	A	A	A	G	G	i	A	G	i	S	A	i	S	S	i	S	G	i	S	i	S	G	i	A	i	A	i	G	i	G		
6	G	i	S	i	S	A	G	i	A	G	i	G	i	S	S	S	A	i	i	G	i	A	A	A	i	S	A	G	G	i	S		
7	i	S	S	i	S	S	G	i	i	A	G	i	A	i	A	A	G	G	i	S	S	i	G	i	S	G	i	A	A	A	A	G	
8	S	i	G	i	A	A	A	G	i	S	i	S	G	i	S	A	i	S	S	A	i	S	S	G	G	i	A	A	A	A	G	i	
9	A	G	i	S	i	i	S	A	A	A	A	A	i	G	i	A	G	i	S	S	A	G	G	i	G	G	i	S	i	i	S	S	
10	S	S	G	G	G	i	A	i	S	i	A	A	i	G	i	i	i	A	G	G	G	i	S	i	A	A	i	S	S	S	A		
11	G	G	i	A	i	S	i	S	S	i	S	S	S	A	G	i	S	i	A	i	A	A	G	i	A	A	G	i	G	i	G		
12	i	A	A	G	i	G	i	G	G	G	i	A	A	G	i	A	A	i	S	i	A	i	S	S	S	i	S	S	S	G	i		
13	i	A	A	A	G	G	i	S	i	S	G	G	i	S	S	G	i	S	A	A	i	G	i	S	i	S	i	G	i	A	A		
14	A	i	i	S	A	i	S	A	G	i	S	i	S	A	i	S	G	G	G	i	S	S	A	A	i	G	G	i	A	i	G		
15	A	i	S	A	i	A	G	G	i	G	i	G	i	S	A	A	i	S	S	G	i	S	A	G	i	S	i	S	A	i	G		
16	S	A	G	G	G	i	A	A	A	A	A	i	S	G	i	A	i	G	i	S	i	S	i	S	A	i	S	A	i	S	G	i	A
17	S	i	S	G	i	A	A	G	i	A	G	i	S	i	i	G	i	S	A	A	G	i	S	A	i	S	i	S	A	G	G		
18	S	A	A	A	i	S	A	i	S	A	A	G	G	i	i	S	G	i	S	i	S	i	S	G	G	i	i	A	G	i	G		
19	G	i	S	S	A	A	i	S	A	i	S	A	G	i	G	i	G	i	G	G	i	S	A	i	S	A	A	i	G	i	S		
20	S	G	G	G	i	i	S	i	S	S	S	A	A	i	S	A	i	A	A	A	A	i	G	G	i	i	A	i	G	i	S	G	
21	S	S	i	i	S	A	A	G	G	G	i	S	G	i	S	S	A	A	i	A	i	G	i	A	i	G	G	i	S	i	A		
22	S	i	S	G	i	G	i	S	G	i	S	G	i	A	i	S	S	A	G	i	A	A	A	G	i	S	i	A	i	A	G		
23	G	i	A	i	S	A	A	A	A	A	G	G	i	i	S	S	S	i	A	A	G	i	G	G	i	S	S	G	i	i	S		
24	S	S	i	A	G	i	G	i	G	G	G	i	S	i	S	A	i	A	G	i	i	S	A	A	G	i	S	S	A	i	A		
25	A	A	G	i	i	S	S	S	S	i	S	A	A	G	i	G	i	G	G	G	i	A	i	S	i	G	i	A	i	S	A		
26	S	i	S	G	i	G	i	A	A	A	G	i	i	S	A	A	G	i	S	G	i	S	G	G	i	A	A	i	S	i	S		
27	S	i	i	S	A	G	i	G	i	S	i	S	A	A	A	A	i	S	S	A	G	i	i	A	i	G	i	G	G	G	G		
28	A	G	i	i	S	G	i	S	A	A	A	i	G	i	G	i	S	G	i	S	i	S	i	S	A	A	G	i	A	G	G		

Şekil 2. Vardiya çizelgesi

Figure 2. Shift schedule

Şekil 2’deki vardiya çizelgesinde “S” sabah vardiyasını, “A” akşam vardiyasını, “G” gece vardiyasını ve “i” izin günlerini göstermektedir. Personellerin vardiya dağılımları her gün hangi personelin hangi vardiyada bulunduğunu gösteren Şekil 2’den anlaşılabilir. Örneğin, 1 numaralı

personel ayın ilk gününde izinli iken 2 numaralı personel sabah vardiyasında çalışacaktır. Vardiya amiri (1,2,...,5), ustabaşı (6,7,...,14.), usta (15,16,...,22) ve usta yardımcısı (23,24,...,28) için vardiyalarda ihtiyaç duyulan personel sayısı sağlanmıştır. Bu sayede adaletli bir atama yapılırken işletme tarafından istenilen kısıtlar da yerine getirilmiştir. Bu çizelgenin amacı istenilen kısıtlar altında vardiya dağılımının en adaletli biçimde sağlanmasıdır. Bu sebeple Çizelge 1 oluşturularak çalışanların vardiya sayıları ve tatil günleri incelenmiştir. Çizelge 1’de bir personelin ay boyunca bulunduğu vardiyalar ve tatilleri verilmiştir.

Çizelge 1. Günlük vardiya ve izin sayıları

Table 1. Daily shifts and allowances

Vardiya	Sabah	Akşam	Gece	İzin	Vardiya	Sabah	Akşam	Gece	İzin
Personel					Personel				
1	7	7	7	10	15	7	7	7	10
2	7	7	7	10	16	7	7	7	10
3	7	7	7	10	17	7	7	7	10
4	7	7	7	10	18	7	7	7	10
5	7	7	7	10	19	7	7	7	10
6	7	7	7	10	20	7	7	7	10
7	7	7	7	10	21	7	7	7	10
8	7	7	7	10	22	7	7	7	10
9	7	7	7	10	23	7	7	7	10
10	7	7	7	10	24	7	7	7	10
11	7	7	7	10	25	7	7	7	10
12	7	7	7	10	26	7	7	7	10
13	7	7	7	10	27	7	7	7	10
14	7	7	7	10	28	7	7	7	10

Çizelge 1 incelendiğinde tüm personellerin vardiyalara ve tatil günlerine eşit atandığı görülmektedir. Hedef kısıtında vardiya sayılarının 8’e eşit olması istenmiştir. Elde edilen sonuçlar dikkate alındığında personellerin sabah, akşam ve gece vardiyalarına 7, izinli olma durumuna ise 10 kez atandığı görülmektedir. Vardiya hedeflerinden negatif sapma olduğu anlaşılmaktadır. Vardiya hedeflerinden olan negatif sapma değeri ise 1’dir. Aynı zamanda tatil hedefinden de pozitif sapmalar olduğu söylenebilmektedir. Bu pozitif sapma değeri ise 2’dir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda yeni ve adaletli, işin yeterli personel tarafından zamanında yerine getirildiği bir çizelge elde edilmiştir.

Bu çalışmada modelin etkinliğini göstermek için farklı senaryolar oluşturularak problem yeniden çözülmüştür. Oluşturulan senaryolarda personel sayısının artırılması durumu dikkate alınmıştır. Problem 36, 44 ve 52 personel olması durumları dikkate alınarak yeniden çözülmüştür. Çözüm süreleri ve sapma değişkenlerinin kıyaslanması için Çizelge 2 oluşturulmuştur.

Çizelge 2. Senaryolar ile elde edilen sonuçların kıyaslanması
Table 2. Comparison of the results obtained with scenarios

Personel Sayıları	d_{ort}^+	d_{ort}^-	Çözüm Süresi (s)
28	2	1	31,37
36	2	1	36,22
44	2	1	109,07
52	2	1	538,57

Çizelge 2'deki sonuçlar kıyaslandığında personel sayısı arttıkça çözüm süresinin uzadığı görülebilmektedir. Çözüm süresinin artmasına karşın sapma değişkenlerinin ortalama değeri personel sayısına göre değişiklik göstermemiştir. Personel sayısının artırılması problem boyutunu büyütmüş ve çözümünün zorlaşmasına sebep olmuştur. Başka bir ifade ile personel sayıları arttıkça çözüm süresinin artması beklenen bir durumdur. Bunun yanı sıra problem boyutunun büyümesine ve modelin çözümünün zorlaşmasına rağmen sapma değişkenlerinde bir değişiklik olmaması modelin etkinliğini kanıtlamaktadır. Model farklı sayıda personel grupları için kullanıldığında çözüm süresi uzasa dahi tutarlı sonuçları verebilmektedir.

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Kesintisiz bir enerji ihtiyacının olduğu günümüz dünyasında bu ihtiyacı karşılayabilmek için enerji santralleri duraksamadan çalışmaktadır. Kullanıcıya ihtiyaç duyduğu enerjinin sağlanması hem bir hizmet faaliyeti hem de bir üretim faaliyeti olarak nitelendirilebilir. İhtiyaç duyulan enerjinin karşılanamaması durumunda hem kullanıcı hem de enerji santrali büyük maddi kayıplara uğrayacaktır. Enerjinin kullanıcıya istenilen zamanda herhangi bir kesintiye uğramadan ulaşmasını sağlamak enerji santrallerinde çalışan personellerin görevidir. Bu sebeple enerji santrallerinde vardiyaya dayalı bir çalışma sistemi bulunmaktadır. Personellerin sürekli çalışması gereken sistemin içerisinde bulunması ve sistemle birlikte sürekli çalışır durumda olması ancak vardiyalı bir çalışma planı sayesinde mümkün olabilir. Bu çalışmada bir hidroelektrik santralde çalışan personellerin çizelgelenmesi problemi ele alınmıştır. Ele alınan problemin çözümü için öncelikle KP ile model oluşturulmuştur. KP-HP entegrasyonu ile oluşturulan model ILOG CPLEX optimizasyon programına yazılmış ve çözülmüştür. Vardiyanın adaletli dağıtılması ve ihtiyaç duyulan personel sayısının karşılanması temel alınan model ile optimal sonuçlar elde edilmiştir. Çözüm sonucunda elde edilen veriler ile yeni bir vardiya çizelgesi oluşturulmuş ve daha önce bir yöntemle bağlı olmaksızın oluşturulan çizelge yerine bu çizelge önerilmiştir.

Literatürde oldukça büyük bir yer edinmiş çizelgeleme problemlerinin bir alt türü olan vardiya çizelgeleme hakkında da pek çok çalışma bulunmaktadır. Birbirinden farklı sektörlerde vardiyalı çalışan tüm personeller için çizelgeleme çalışması yapılabilmektedir. Yapılan çalışmalarda tam sayılı programlama ve HP yöntemleri ile genellikle güvenlik personelleri, hemşireler gibi personel gruplarının çizelgelenmesi görülmektedir. Bu çalışmada ise, literatürde incelenen çalışmalardan farklı olarak üzerinde çok çalışılmamış bir sektör olan enerji sektöründe çalışan personel grubu ele alınmıştır. Hidroelektrik santrallerde çalışan personeller için yapılan çizelgenin modelinin kurulmasında ise KP yönteminden yararlanılmıştır.

Bu çalışmada, literatürde üzerinde az çalışılmış bir alan olan enerji sektöründeki hidroelektrik santral personeli için bir vardiya çizelgeleme çalışması ele alınmıştır. Literatürde yer alan vardiya çizelgeleme çalışmaları incelendiğinde, araştırmacıların tamsayı programlama yöntemini daha yaygın olarak kullandığına rastlanmıştır. Bir gerçek hayat problemini ele alan bu çalışmada ise, problemin

kapsadığı birden çok amaç yukarıda ifade edilen avantajlardan dolayı KP-HP entegrasyonu ile ele alınmış ve literatüre yeni bir model önerilmiştir. HP'nin birden fazla amacı sağlayan yapısı ile KP'nin çözüm algoritmasının bir arada kullanıldığı model çalışmanın literatüre kattığı metodolojik yenilik olarak kabul edilebilir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, enerji sektöründe çalışan personellerin çizelgenmesi için literatürde yaygın kullanılan matematiksel modelleme yöntemlerinden HP ve tamsayı programlama kullanılabilir. Ayrıca, hem bu çalışma kapsamında önerilen modelde kullanılan yöntem kombinasyonu hem de HP ve tamsayı programlama yöntemleri hidroelektrik santraller dışındaki enerji santrallerinde çalışan personellerin çizelgenmesi için kullanılabilir. Personel sayısı, vardiya sayısı ve çizelgeme periyodu gibi parametreler değiştirilerek problem yeniden çözümü de yapılması muhtemel çalışmalar arasında yer almaktadır. Bu çalışma kapsamında önerilen modelde dikkate alınmamış olan özel personel istekleri, cinsiyet ve tecrübe kısıtları ilerleyen çalışmalara eklenilebilir. Son olarak, bu çalışma kapsamında önerilen model, benzer çalışma koşullarına sahip farklı sektörlerdeki personel gruplarının çizelgenmesi için geliştirilebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Alağaç H. M., Pınarbaşı M., Yüzükırmızı M., Toklu B., Karma modeli tip-2 montaj hattı dengeleme problemi için bir kısıt programlama modeli, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(4), 340-348, 2016.
- Alağaç H. M., Yüzükırmızı M., Türker A. K., Stokastik Montaj Hatlarının Kısıt Programlama Ve Kapalı Kuyruk Ağları İle Dengelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(2), 231-240, 2013.
- Alağaç H.M., Karma Modeli Montaj Hattı Dengeleme Problemi İçin Kısıt Programlama Modeli Ve Arama Stratejileri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2017.
- Arslan E., Kısıt programlama ile çizelgeme problemlerinin çözülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2010.
- Apt K., Principles Of Constraint Programming, Cambridge university press, Birleşik Krallık, 2003.
- Aykin T., Optimal shift scheduling with multiple break Windows, Management Science, 42(4), 591-602 1996.
- Bedir N., Vardiya çizelgeme probleminin kombine AHS-PROMETHEE ve hedef programlama yöntemleri ile çözümü: Bir hidroelektrik santral örneği, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 2017.
- Bard J.F., Binici C., De Silva A.H., Staff scheduling at the United States Postal Service, Computers and Operations Research, 30, 745-771, 2003.
- Bedir N., Eren T., Dizdar E.N., Ergonomik Personel Çizelgeme ve Perakende Sektöründe Bir Uygulama, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 5 (3), 657-674, 2017.
- Charnes A., Cooper W.W., Ferguson R., Optimal Estimation of Executive Compensation by Linear Programming, Management Science, 1, 138-151, 1955.
- Charnes A., Cooper W.W., Management Models and Industrial Applications of Linear Programming, Wiley, New York, 1961.
- Ciritcioğlu C., Akgün S., Varlı E., Eren T., Kırıkkale Üniversitesi güvenlik görevlileri için vardiya çizelgeme problemine bir çözüm önerisi, Uluslararası Mühendislik Araştırma Ve Geliştirme Dergisi, 9 (2), 1-23, 2017.
- Demirel B., Yelek A., Alağaç H. M., Eren T., ANKARAY Güvenlik Personelinin Vardiya Çizelgeme Probleminin Hedef Programlama Yöntemi ile Çözümü, Demiryolu Mühendisliği Dergisi, 8, 1-17, 2018.
- De Silva A., Combining constraint programming and linear programming on an example of bus driver scheduling, Annals of Operations Research, 108(1-4), 277-291, 2001.
- Eitzen G., Panton D., Mills G., Multi-Skilled Workforce Optimization, Annals of Operations Research, 127, 359-372, 2004.

- Eren T., Özder E., Varlı E., Hedef Programlama Yaklaşımı İle Temizlik Personeli Çizelgeleme Problemi İçin Bir Model Önerisi, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 114-127, 2017.
- Fırat M., Hurkens C. A. J., An improved MIP-based approach for a multi-skill workforce scheduling problem, *Journal of Scheduling*, 15(3), 363-380, 2012.
- Goel V., Slusky M., Hoeve W.-J., Furman, K. C., Shao, Y., Constraint programming for LNG ship scheduling and inventory management, *European Journal of Operational Research*, 241(3), 662-673, 2015.
- Günther M., Nissen V. Sub-daily staff scheduling for a logistics service provider., *KI-Künstliche Intelligenz*, 24(2), 105-113, 2010.
- Gür Ş., Eren T., Alakaş H.M., Surgical Operation Scheduling with Goal Programming and Constraint Programming: A Case Stud, *Mathematics*, 7, 251, 2019.
- Gür Ş., Eren T., Scheduling and Planning in Service Systems with Goal Programming: Literature Review, *Mathematics*, 6(11), 265, 2018.
- Ignizio J. P., *Goal Programming and Extensions*, Lexington Mass: Heath, Lexington Books, Lexington, MA, 1976.
- Ignizio J.P., *Introduction to goal programming*, Sage Publications Inc., Beverley Hills, California, 1985.
- Kanet J. C., Ahire S. L., Gorman M. F., Constraint programming for scheduling. In J. Y. T. Leung (Ed.), *Handbook of Scheduling*, Boston: CRC Press, 47, 1-21, 2004.
- Laporte G., Pesant G. A., General multi-shift scheduling system, *Journal of the Operational Research Society*, 55 (11), 1208-1217, 2004.
- Lee S. M., *Goal Programming for Decision Analysis*, Auerbach, Philadelphia, 1972.
- Lezaun M., Perez G., De La Maza E.S., Crew rostering problem in a public transport company *Journal of the Operational Research Society*, 57(10), 1173-1179 2006.
- Louly M.A., A goal programming model for staff scheduling at a telecommunications center, *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms in Operations Research*, 12, 167-178, 2013.
- Özcan E.C., Varlı E., Eren T., Hedef programlama yaklaşımı ile hidroelektrik santrallerde vardiya personeli çizelgeleme, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10 (4), 363-370, 2017.
- Özder E. H., Özcan E., Eren T., Staff Task-Based Shift Scheduling Solution with an ANP and Goal Programming Method in a Natural Gas Combined Cycle Power Plant, *Mathematics*, 7(2), 192, 2019.
- Öztürkoğlu Y., Çalışkan F., Hemşire Çizelgelemede Esnek Vardiya Planlaması ve Hastane Uygulaması, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16(1), 115-133, 2014.
- Pamir N., *Enerji Politikalar ve Küresel Gelişmeler*, Stratejik Analiz, 6(68), 57-73, 2005.
- Pınarbaşı M., Montaj hatlarının dengelenmesinde kısıt programlama ve kuyruk ağları yaklaşımları, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2015.
- Pour S. M., Drake J. H., Ejlertsen L. S., Rasmussen K. M., Burke E., Constraint Programming/Mixed Integer Programming framework for the preventive signaling maintenance crew scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, 269 (1), 341-352, 2018.
- Rodriguez J., A Constraint programming model for real-time train scheduling at junctions, *Transportation Research Part B: Methodological*, 41 (2), 231-245, 2007.
- Shuib A., Kamarudin F. I., Solving shift scheduling problem with days-off preference for power station workers using binary integer goal programming model, *Annals of Operations Research*, 272(1-2), 355-372, 2019.
- Sungur, B., Bulanık vardiya çizelgeleme problemleri için tamsayı programlama modeli, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 30, 211-227, 2008.
- Tc Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Hidrolik, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Hidrolik>, Erişim tarihi 5 Mayıs, 2019.
- Topaloglu S., A multi-objective programming model for scheduling emergency medicine residents. *Computers & Industrial Engineering*, 51(3), 375-388, 2006.

- Trilling L., Guinet A., Le Magny D., Nurse scheduling using integer linear programming and constraint programming, *IFAC Proceedings Volumes*, 39(3), 671-676, 2006.
- Ünsal, Ö., *Constraint Programming Approach to Quay Crane Scheduling Problem*, Yüksek Lisans Tezi, Koç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013.
- Ürker O., Çobanoğlu N., Türkiye’de hidroelektrik santraller’in durumu (HES’ler) ve çevre politikaları bağlamında değerlendirilmesi, *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(2), 65-88, 2017.
- Varlı E., Eren T., Genç M. A., Çetin S., “Ankara Metrosu M1 Hattındaki Vatmanların Vardiya Saatlerinin Çizelgenmesi”, 3. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu, Karabük, 279-285, 2016.
- Varlı, E., Eren T., Vardiya çizelgeleme problemi ve bir örnek uygulama. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(2), 185-197, 2016.
- Varlı E., Eren T., Vardiya çizelgeleme problemi ve bir örnek uygulama, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10 (2), 185-197, 2016.
- Yağcıoğlu Ş., Çetin H., Güngör İ., Kredi ve Yurtlar Kurumu Yöneticileri İçin Vardiya Planlamasında Bir Model Önerisi, *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14 (2), 283-305, 2016.
- Yelek A., Demirel B., Alağaç H. M., Eren T., Kısmi Zamanlı Çalışan Personellerin Çizelgenmesi: Kırıkkale Üniversitesi Merkez Kütüphanesi Örneği, *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8 (2), 313-330, 2018.
- Yılmaz M., Türkiye’nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 33-54, 2012.
- Yunes T.H., Moura A.V., De Souza C.C., Hybrid column generation approaches for urban transit crew management problems, *Transportation Science*, 39(2), 273-288, 2005.
- Yüksel İ., Çalışma Yaşamı Kalitesinin Tipik ve A tipik İstihdam Açısından İncelenmesi, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 5 (1), 47- 58, 2004.