



ÇAY HASADI ÇİZELGELEME İÇİN MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ

Bedirhan SARIMEHMET¹, Hacı Mehmet ALAKAŞ¹, Mehmet PINARBAŞI¹, Tamer EREN*¹

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Hasat Optimizasyonu,
Çay Hasadı Çizelgeleme,
Matematiksel Modelleme,
Hedef Programlama.*

Öz

Uluslar sürdürülebilir tarım faaliyetleri gerçekleştirmek için toplumsal olarak karar mekanizması geliştirmeye ve optimizasyona ihtiyaç duymaktadır. Hasat çizelgeleme de bu karar verme ve optimizasyon problemlerinden biridir. Bu çalışmada, yılda ortalama üç kez hasat edilen çay bitkisi için bir hasat optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Çiftçilikle mevsimlik olarak ilgilenen insanların genellikle birincil meslekleri farklıdır. Hasat günlerinde çiftçiler bu birincil mesleklerini yerine getirememektedir. Bu nedenle, hasat çizelgesinin oluşturulması için çiftçilerin uygun gün tercihlerinin de dikkate alınması sürdürülebilir tarım adına önem taşımaktadır. Bu çalışmada fabrika ve alım yeri kapasitelerinin yanı sıra çiftçilerin uygun/uygun olmayan gün tercihlerini optimize etmek için hedef programlama modelleri geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen vaka çalışması sahası şu özelliklere sahiptir: 12 alım yeri, 988 çiftçi ve 3392 dekar çay tarlası. Önerilen modelin performansının test edilmesi için çiftçi uygun/uygun olmayan günlerinin rassal olarak belirlendiği veri setleri üretilmiştir. Bu şekilde birbirinden farklı üretilen bin ayrı veri seti ile duyarlılık analizi yapılmıştır. Yapılan analizler önerilen modeller ile oluşturulan çizelgelerin çay hasat sürecindeki sürdürülebilirliği ve verimliliği artırdığını göstermiştir.

MATHEMATICAL MODEL SUGGESTION FOR TEA HARVEST SCHEDULING

Keywords

*Harvest Optimization,
Tea Harvest Schedules,
Mathematical Modeling,
Goal Programming.*

Abstract

Nations need social decision-making mechanism and optimization to realize sustainable agricultural activities. Harvest scheduling is one of these decision-making and optimization problems. In this study, a harvest optimization is performed for tea plant which is harvested three times a year on average. People who are seasonally interested in farming are often different from their primary professions. On harvest days, farmers are unable to fulfill these primary professions. For this reason, it is important for sustainable agriculture to consider the available day preferences of the farmers for the creation of the harvest schedule. In this study, goal programming models are developed to optimize the deviations from the available/unavailable days preference of the farmers, as well as the capacities of the factory and the storage location. The case study area has the following characteristics: 12 storage locations, 988 farmers and 3392 decares of tea fields. To test the proposed model performance, data set were generated in which farmer suitable/unsuitable days are determined randomly. In this way, sensitivity analysis are performed with a thousand data set generated differently from each other. The analyzes have shown that the schedules created with the proposed models increase the sustainability and efficiency in the tea harvesting process.

Alıntı / Cite

Sarimehmet, B., Alakaş, H.M., Pınarbaşı, M., Eren, T., (2023). Çay Hasadı Çizelgeleme İçin Matematiksel Model Önerisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 925-938.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

B. Sarimehmet, 0000-0002-6112-9460
H.M. Alakaş, 0000-0002-9874-7588
M. Pınarbaşı, 0000-0003-3424-2967
T. Eren*, 0000-0001-5282-3138

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	30.01.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	05.08.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	15.08.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: tamereren@gmail.com, 0318-357-42-42

MATHEMATICAL MODEL SUGGESTION FOR TEA HARVEST SCHEDULING

Bedirhan SARIMEHMET¹, Hacı Mehmet ALAKAŞ¹, Mehmet PINARBAŞI¹, Tamer EREN^{1†}

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

Highlights

- Harvest optimization was performed.
- Tea harvesting problem is discussed.
- Mathematical models are recommended by goal programming method.
- Numerous preference matrix was produced and sensitivity analysis was performed with Python.

Graphical Abstract

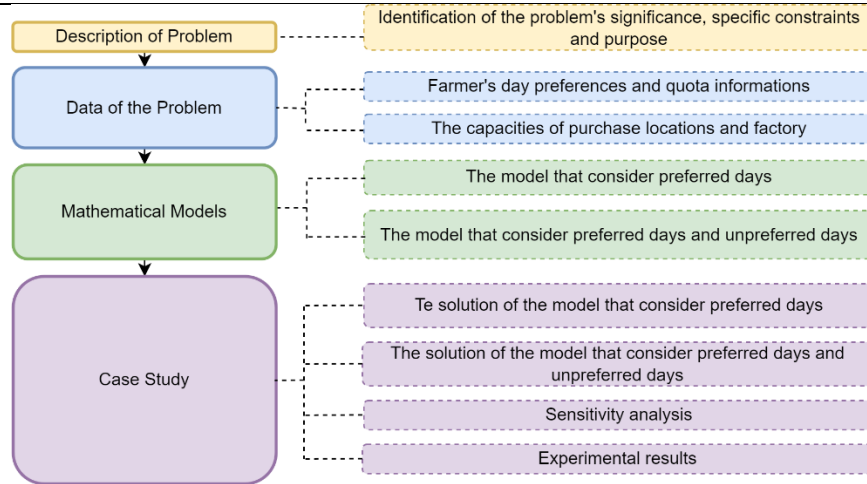


Figure. Uygulamanın Akış Şeması (Flow Chart of the Application)

Purpose and Scope

It is aimed to increase sustainability in agriculture by complying with the preferences of the farmers during the harvesting process.

Design/methodology/approach

Goal programming models have been developed. Sensitivity analysis was performed with 1000 preference matrix.

Findings

Tea harvest schedule can be formed by farmer-factory cooperation. Farmer preferences can be adhered to as much as possible.

Research limitations/implications (if applicable)

In the future studies, tea harvest scheduling problems can also be included in vehicle route and personnel scheduling problems. In addition to which days of farmers will harvest, the decision of the factory vehicles to follow the route can be made.

Practical implications (if applicable)

Taking into account the farmer preferences while creating tea harvest schedule increases sustainability in agriculture.

Social Implications (if applicable)

This study is important in terms of better planning the time of people who make farming as a secondary profession. The models recommended in the study are important to encourage society to agriculture.

Originality

This study is the first work to perform tea harvesting by taking into account the preferences of the farmers.

[†] Corresponding author: tamereren@gmail.com, 0318-357-42-42

1. Giriş (Introduction)

Tarım sektöründe örgütlenme faaliyeti, aynı amaca yönelmiş üreticilerin bir araya gelerek karar alma mekanizmasını geliştirmek amacıyla yapılan faaliyetlerdir. Bu faaliyetlerin gerçekleştirilmesi verimliliği artırmakta, sosyal ve ekonomik kazanımları iyileştirmektedir (Karlı vd., 2018). Andrei vd. (2020) tarımda ihracat rekabetçiliğinin ancak artan verimlilik ile sağlanabileceğini öne sürmüştür. Bu verimliliği artıran unsurlardan birinin tarım sektöründe ilişkilerin genişletilmesini amaçlayan politikalar olduğundan bahsetmiştir. Bu sebeplerden ötürü tarımda uygulanacak toplumsal optimizasyon çalışmaları oldukça değerlidir.

Tarım sektöründe uygulanacak toplumsal optimizasyon çalışmalarında birçok bitki türü ele alınabilir. Bu bitki türleri bölgelere göre değişkenlik gösterir. Türkiye’de Karadeniz bölgesi düşünüldüğünde; çay, fındık, mısır, kivi gibi tarım ürünleri için toplumsal optimizasyon çalışmalarının gerçekleştirilebileceği görülür. Çay bitkisi ele alındığında Türkiye’nin çay tarım alanlarının genişliği bakımından dünyada yedinci sırada yer aldığı, kuru çay üretimi bakımından beşinci sırada yer aldığı dikkat çeker. Dünyada kişi başına çay tüketimi istatistiklerine göre ise Türkiye birinci sırada konumlandırılır (Çaykur, 2019). Bu sebeplerden ötürü çay bitkisinin Türkiye tarım sektöründeki önemi oldukça büyüktür. Çay tarımında hasat çizelgeleme, araç rotalama ve personel çizelgeleme problemleri ele alınabilir. Çiftçilerin hasat günü tercihlerine uymak, fabrikanın alım yerlerine yaptığı sefer sayısını minimize etmek, araçların en kısa rota ile hasat edilen çayları toplamasını sağlamak, şoförleri ve/veya hasadı satın almakla görevli personelleri çizelgelemek gibi birçok amaç için optimizasyon çalışması gerçekleştirilebilir.

Çay, yılda üç kez hasat edilen bir bitkidir. Hasat işlemi çay toplama ile başlar. Çiftçiler genellikle güneşin doğuşuyla çaylığa girer ve öğleden sonraya kadar hasat işlemini gerçekleştirir. Hasat edilen çaylar satış işlemi için çiftçi-fabrika bağlantısını sağlayan alım yeri adı verilen yapılara götürülür. Alım yerlerinde çaylar tartılır ve satış işlemi gerçekleşir. Çiftçilerin genellikle birincil meslekleri farklı olduğundan hasat günleri işlerini bırakıp çay toplamaktadırlar. Bu sebeple hasat çizelgesinin oluşturulmasında çiftçilerin gün tercihlerinin dikkate alınması toplumsal kalkınma ve tarıma teşvik adına önemlidir. Bunun yanı sıra alım yeri ve fabrika kapasitesi kısıtları da önem arz etmektedir. Alım yerlerindeki yoğunluklar çayların gölgelik alanlar yerine güneşte kalmasına sebebiyet verebilmektedir. Çayların güneşte kalması hasada zarar vermekte, yanma gibi durumlarda fabrika tarafından kabul edilmemelerine yol açmaktadır. Bu da çiftçilerin emeğini boşa çıkarmaktadır. Alım yeri kapasitesinin dikkate alınması bu tür mağduriyetleri ortadan kaldırmak ve milli servete sahip çıkmak adına önem taşımaktadır. Hasat sürecinde bu parametrelerin dikkate alınması çay tarımındaki ulusal verimliliği artırır. Bu durum da ülkenin ihracat rekabetçiliğinin bir adım öne taşınmasında rol oynar.

Bu çalışmada bir hasat optimizasyonu problemi olan çay hasadı çizelgeleme ele alınmıştır. Çiftçilerin haftalık hasat günü tercih kısıtlarını, alım yeri ve fabrika kapasite kısıtlarını içeren matematiksel modeller geliştirilmiştir. Probleme özgü bu modeller çay hasat sürecine yenilikçi bir yaklaşım sunduğundan hasat optimizasyonu literatürüne katkı yapmaktadır. Türkiye’de çay üretiminin büyük bir kısmı Rize’de gerçekleştiğinden (Çaykur, 2019); Rize’de yer alan, 988 çiftçi, 3392 dekar çay tarlası ve 12 alım yeri barındıran bir bölgede örnek uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama ile önerilen modellerin performansları değerlendirilmiştir. Bu çalışma, çay hasadı çizelgelemeyi bahsi geçen özel kısıtlar ile ele alan ilk çalışma olduğundan literatürde yeni bir başlangıç noktası oluşturmaktadır.

Çalışmanın planı şu şekildedir: İkinci bölümde çizelgeleme probleminden ve hasat çizelgeleme probleminden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Çalışmada kullanılan yöntemlerden dördüncü bölümde bahsedilmiştir. Beşinci bölümde örnek uygulama gerçekleştirilmiştir. Altıncı bölümde çalışmanın sonucu yer almaktadır.

2. Çizelgeleme Problemi (Scheduling Problem)

Çizelgeleme problemleri birçok üretim ve hizmet sektöründe sıklıkla karşılaşılan problemlerdir. Bu problemlerin çözümü, belirli kaynakların belirli görevlere atanmasını kapsar. Atama esnasında problemlere özgü birçok kriter bulunabilmektedir (Ceylan vd., 2019). Çizelgeleme konusunda; personel çizelgeleme (Ünal ve Eren, 2016; Varlı ve Eren, 2017), iş çizelgeleme (Fanjul-Peyro vd., 2019; Lei vd., 2021; Lei ve Liu, 2020), ders programı çizelgeleme (Çolak ve Yiğit, 2021; Eren vd., 2018; Yurtsal ve Kaynar, 2022), bakım çizelgeleme (Cullum vd., 2018; Dündar vd., 2021; Özcan vd., 2020) gibi alanlarda yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Kullanılan yöntemlerin bazıları; hedef programlama (Ceylan vd., 2019; Ünal ve Eren, 2016), yapay arı kolonisi (Lei vd., 2021; Lei ve Liu, 2020), genetik algoritma (Yurtsal ve Kaynar, 2022) ve parçacık sürü optimizasyonu (Yurtsal ve Kaynar, 2022) yöntemleridir.

2.1. Hasat Çizelgeleme Problemi (Harvest Scheduling Problem)

Hasat çizelgeleme problemleri; hangi bitkinin ekilmesi gerektiği, hasadın ne zaman, hangi makine kullanılarak, hangi sistemle veya hangi rota ile yapılması gerektiği konusunda ortaya çıkmış hasat optimizasyonu problemleridir. Hasat çizelgeleme problemlerinin hasat optimizasyonu literatüründeki yeri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Hasat çizelgeleme problemlerinin hasat optimizasyonu literatüründeki yeri (Harvest scheduling place in harvest optimization literature)

Hasat çizelgeleme uygulamaları kaynakların en verimli şekilde kullanılması, hasat miktarının maksimize edilmesi gibi amaçlar barındırır. Bu uygulamalar; çiftçileri tarıma teşvik etmek, fabrikaların veya çiftçilerin verimini artırmak ve toplumsal kalkınma adına önem arz etmektedir. Bazı hasat süreçleri çiftçi-fabrika iş birliği ile gerçekleşmektedir. Bu süreçlerde her iki tarafın da fayda değeri bulunur. Fayda değerleri, problemin kısıtları dahilinde kaynakları verimli kullanmak suretiyle optimize edilir. Gerçekleştirilen optimizasyon tek taraflı veya çift taraflı olabilir. Karşılıklı çıkar ilişkisine dayalı bu süreçlerin optimize edilmesi tarımda sürdürülebilirliği artırır.

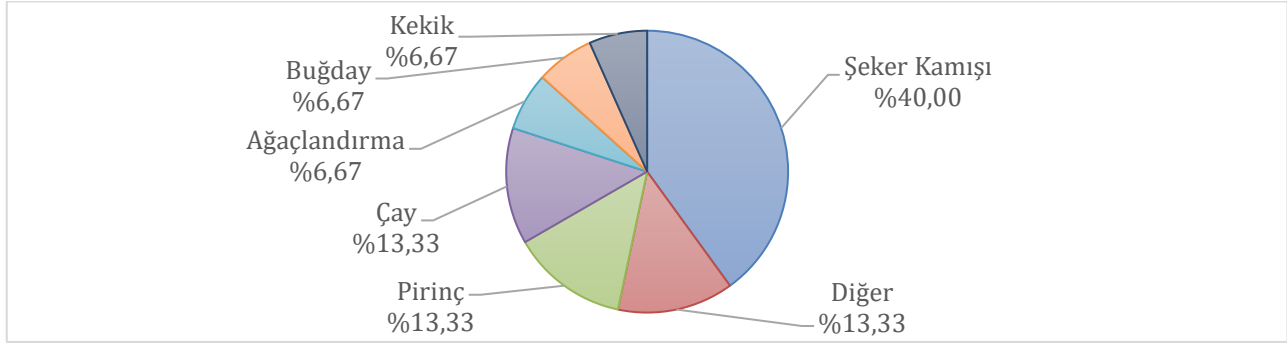
3. Literatür Araştırması (Literature Review)

Literatürde hasat optimizasyonu çeşitli isimler ile anılmaktadır: Ekim kararı optimizasyonu (Rollan vd., 2018; Sajid ve Hu, 2022), hasat çizelgeleme (Thuankaewsing vd., 2011), hasatta kullanılacak makinelerin çizelgelenmesi (Edwards vd., 2015; He vd., 2018a;), tarımda işgücü optimizasyonu (Busato ve Berruto, 2016). Çalışmalar; ele alınan bitki türü, yapılan optimizasyonun amacı ve kullanılan yöntemler açısından farklı niteliklere sahiptir. Çalışmaların bu niteliklere göre incelenmesi Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Literatür özeti (Literature review)

Yazar(lar)	Bitki Türü	Amaç	Yöntem
(Sarimehmet vd., 2023)	Çay	Hasat Optimizasyonu	Matematiksel modelleme
(Sajid ve Hu, 2022)	-	Ekim zamanı optimizasyonu	Yapay sinir ağları ve matematiksel modelleme
(Poltroniere vd., 2021)	Şeker Kamışı	Bitki türü seçim optimizasyonu	Matematiksel modelleme
(Budijati ve Iskandar, 2018)	Çay	Hasat zamanı optimizasyonu	Dinamik Programlama
(Rollan vd., 2018)	Ağaçlandırma	Bitki türü seçim optimizasyonu	Matematiksel modelleme
(He vd., 2018a)	Buğday	Tarım makinesi çizelgeleme	Tabu arama
(He vd., 2018b)	Pirinç	Tarım makinesi rotalama	Matematiksel modelleme
(Busato ve Berruto, 2016)	Pirinç	İşgücü optimizasyonu	Simülasyon
(Edwards vd., 2015)	-	Tarım makinesi çizelgeleme	Tabu arama
(Thuankaewsing vd., 2011)	Şeker Kamışı	Arazi verim tahmini ve ardından hasat çizelgeleme	Yapay sinir ağları ve matematiksel modelleme
(Grunow vd., 2007)	Şeker Kamışı	Yetiştirme ve hasat optimizasyonu	Matematiksel modelleme
(Naghdi Badi vd., 2004)	Kekik	Hasat zamanının verime etkisi	İstatistiksel yöntemler
(Salassi vd., 2002)	Şeker Kamışı	Hasat sistemi seçimi	Matematiksel modelleme
(Higgins vd., 1998)	Şeker Kamışı	Hasat zamanı ve hasat yaşına göre gelir optimizasyonu	Matematiksel modelleme
(Astika vd., 1997)	Şeker Kamışı	Ekim ve hasat zamanı optimizasyonu	Matematiksel modelleme
Bu çalışma	Çay Bitkisi	Hasat çizelgeleme	Matematiksel Modelleme

Çalışmaların ele aldıkları bitki türlerine göre dağılımı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. İncelenen çalışmaların bitki türlerine göre dağılımı (Distribution of the studies examined by plant species)

Şekil 2, literatürde en çok ele alınan bitkilerin sırasıyla şeker kamışı (Poltroniere vd., 2021; Thuankaewsing vd., 2011; Grunow vd., 2007) ve pirinç (He vd., 2018b; Busato ve Berruto, 2016) olduğunu göstermektedir. Ağaçlandırma (Rollan vd., 2018), buğday (He vd., 2018a) ve kekik (Naghdi Badi vd., 2004) üzerine gerçekleştirilmiş hasat optimizasyonu çalışmaları da mevcuttur. Tarım makinesi rotalama ve çizelgeleme gibi konulara sahip bazı çalışmalarda ise bitki türü belirtilmemiştir (Sajid ve Hu, 2022; Edwards vd., 2015). Literatürde çay hasadı çizelgeleme konusunda yapılan bir çalışmada, çay tarlalarının denizden yüksekliği dikkate alınıp hasat zamanı çizelgeleme gerçekleştirilmiştir (Budijati ve Iskandar, 2018). Bir diğer çalışmada çiftçilerin alım yerlerini esnek hale getirmenin çiftçi tercihlerine uyuma etkisi incelenmiştir (Sarımehmet vd., 2023). Fakat yapılan literatür araştırmasına göre çay hasadı çizelgeleme konusunda çiftçilerin özellikle istemediği günler daha önce ele alınmamıştır. Çalışmamız bu yönüyle hasat optimizasyonu literatüründeki boşluğu doldurmaktadır.

Literatürdeki çalışmaların konuları incelendiğinde; ekim zamanı optimizasyonu (Sajid ve Hu, 2022), bitki türü seçim optimizasyonu (Poltroniere vd., 2021), tarım makinesi çizelgeleme ve rotalama (He vd., 2018a) gibi birçok amaç için hasat optimizasyonu gerçekleştirildiği görülmüştür. Çiftçilerin hasat günü tercihlerini dikkate alıp sürdürülebilir tarım için çiftçilerin ve fabrikaların kazançlarını optimize eden bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmamız bu yönüyle literatüre katkı sağlamaktadır.

Hasat optimizasyonu çalışmalarında matematiksel modelleme yönteminin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir (Poltroniere vd., 2021; Rollan vd., 2018; He vd., 2018b; Grunow vd., 2007). Yapay sinir ağlarının (Sajid ve Hu, 2022), tabu arama yönteminin (He vd., 2018a) ve istatistiksel yöntemlerin (Naghdi Badi vd., 2004) kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmada literatürde en çok tercih edilen yöntem olan matematiksel modelleme kullanılmıştır.

Hasat optimizasyonu literatüründe birçok bitki türünün farklı amaçlar doğrultusunda ele alındığı görülmektedir. Bu çalışmada gerçekleştirilen hasat optimizasyonunun literatüre katkıları aşağıdaki gibidir.

- Çay hasadı çizelgeleme probleminde çiftçilerin fayda değerlerini (hasat günü tercihleri) optimize eden matematiksel modeller geliştirilmiştir.
- Geliştirilen matematiksel modellerde çiftçilerin tercih ettiği haftalık hasat günü sayısı ve alım yeri kapasiteleri için probleme özgü kısıtlar bulunmaktadır.
- Çalışma çay hasat sürecine yenilikçi bir yaklaşım sunduğundan hasat optimizasyonu literatürüne katkı yapmaktadır.

4. Hedef Programlama (Goal Programming)

Hedef programlama (HP), 1955 yılında Charnes ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmayla ortaya çıkmıştır (Charnes vd., 1955). HP'nin ilk tanımının ise 1961 yılında Charnes ve Cooper tarafından yapıldığı görülmektedir (Winston, 1962). İlerleyen zamanlarda HP çok amaçlı modelleme alanında oldukça sık kullanılan etkin yöntemlerden biri durumuna gelmiştir (Dağdeviren ve Eren, 2001).

HP, problemin amaçlarının tümünü kısıtlara dönüştürebilmeye ve istenildiği taktirde kısıtları belirli bir önem sıralaması halinde matematiksel modele aktarmaya imkân vermektedir. Doğrusal programlama yalnızca tek bir amacı optimize etme konusunda karar vericilere yardımcı olmaktadır. Hedef programlama ise birden çok hedeften sapmaları minimize edip, birbiriyle çelişen amaçları daha doğru bir şekilde yönetmeyi sağlamaktadır (Leung vd., 2003). Genel bir HP modeli aşağıda verildiği gibidir:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^M (d_i^+ + d_i^-) \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_{ij} - d_i^+ + d_i^- = b_i \quad \forall i \quad (2)$$

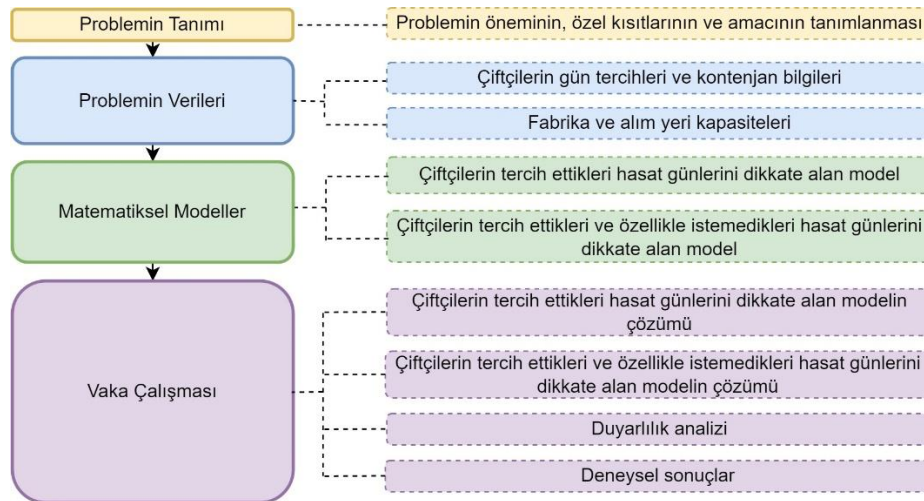
$$d_i^+ * d_i^- = 0 \quad \forall i \quad (3)$$

$$x_j, d_i^+, d_i^- \geq 0 \quad \forall i \quad (4)$$

Eşitlik (1) hedef programlama yönteminin amacı olan sapma değişkenlerinin minimizasyonunu ifade etmektedir. Sapma değişkenlerini oluşturan kısıt Eşitlik (2)'de gösterilmiştir. Eşitlik (3) sapma değişkenlerinin yalnızca tek yöne doğru olmasını sağlayan kısıtı ifade etmektedir. Eşitlik (4) ise karar değişkenlerinin ve sapma değişkenlerinin negatif olmama kısıtıdır. Bu temel HP modeli bir hedeften pozitif ve negatif sapmaları minimize etmektedir. HP yöntemi ile yalnızca negatif veya yalnızca pozitif sapmaların minimize edilebileceği gibi, birden çok hedeften sapmalar da minimize edilebilmektedir. Sapma değişkenlerine verilecek katsayılar ile sapmaların önem dereceleri belirtilebilir. Böylece öncelikli hedef programlama modeli kurulabilir.

5. Çay Hasadı Çizelgeleme (Tea Harvest Scheduling)

Çalışmada çay hasadı çizelgeleme konusunda bir hasat optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Uygulama; problemin tanımı, problemin verileri, matematiksel modeller ve örnek uygulama alt başlıklarında anlatılmıştır. Uygulamanın akış şeması Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Uygulamanın akış şeması (Flow chart of the application)

5.1. Problemin Tanımı (Problem Description)

Çay hasadı yılda ortalama üç kez gerçekleştirilmektedir. Hasat haricinde yapılacak işlemler; gübreleme, budama ve otların temizlenmesi olarak sayılabilir. Çay bitkisi sulak arazilerde yetiştiğinden sulamaya ihtiyaç duymamaktadır. Bundan ötürü çay bitkisi sürekli ilgi ve takip gerektirmez. Çiftçilikle mevsimlik olarak ilgilenen insanların genellikle birincil meslekleri farklıdır. Hasat günleri çiftçiler birincil mesleklerinden uzak kalmaktadırlar. Çiftçilerin hasat günü tercihlerinin dikkate alınması sürdürülebilir tarım ve tarıma teşvik adına önem arz etmektedir. Bu sebeple çalışmamızda bir çay hasadı çizelgeleme gerçekleştirilmiş ve çiftçilerin gün tercihleri dikkate alınmıştır.

Her çiftçi ikametgâh adresine göre bir alım yerine bağlıdır. Alım yerlerinde oluşan yoğunluklar çayların gölgelik alanlar yerine güneşte kalmasına sebep olabilmektedir. Hasadın güneşte fazla bekletilmesi çayları yakmakta, bir kısmının veya tamamının fabrika tarafından reddedilmesine yol açmaktadır. Gübrelenen, yabancı otlarından temizlenen, zamanı gelince hasat edilen ve alım yerine taşınan bu çayların reddedilmesi; çiftçinin bütün emeğini boşa çıkarmakta, milli serveti israf etmektedir. Bu sebeple çalışmamızda bir çay hasadı çizelgeleme gerçekleştirilmiş ve alım yeri kapasiteleri dikkate alınmıştır.

5.2. Problemin Verileri (Problem Data)

Örnek uygulama Rize’de 988 çiftçinin ve 3392 dekar çay tarlasının bulunduğu bir bölgede gerçekleştirilmiştir. Bu bölgede 12 alım yeri bulunmaktadır ve bütün alım yerleri tek bir fabrikaya bağlıdır. Fabrikanın ele alınan bölge için kapasitesi günlük 288 tondur. Alım yeri kapasiteleri her gün aynı olup Tablo 2’de verildiği gibidir.

Tablo 2. Alım yerlerinin günlük kapasiteleri (Daily capacity of purchase places)

Alım Yeri	Kapasite (kg)
1	32827
2	33452
3	25021
4	12278
5	16679
6	11719
7	14612
8	37289
9	41125
10	31542
11	17984
12	20207

Kişisel veriler korunarak çiftçilerin arazilerinin dekar bilgileri alınmıştır. Uzman görüşüne göre dekar başına 500 kg olacak şekilde haftalık kontenjan belirlenmiştir. Haftalık kontenjan çiftçilerin adil bir şekilde satış yapmaları açısından önemlidir. Haftanın altı günü çay satışı yapılabilmektedir. Uygulamada, çiftçilerin haftalık hasat günü sayısı ve gün tercihleri belirlenmiştir. Bu tercihlerin oluşturulması esnasında öncelikle bir normalize değer hesaplanmıştır. Normalize değer her çiftçinin haftalık kontenjanının, maksimum kontenjana bölünmesinden meydana gelmektedir. Bu normalize değere göre hasat günü sayılarının belirlenmesi için kullanılacak aralıklar uzman görüşü desteği ile oluşturulmuştur. Tablo 3’te bu aralıklar gösterilmiştir.

Tablo 3. Çiftçilerin hasat günü sayısı tercihleri (Harvest day number of farmers preferences)

Normalize değer aralığı	Hasat günü sayısı
[0 - 0,1)	1
[0,1 - 0,15)	2
[0,15 - 0,2)	3
[0,2 - 0,3)	4
[0,3 - 0,4)	5
[0,4 - 1]	6

Belirlenen hasat günü sayısına göre çiftçilerin dağılımı Tablo 4’teki gibidir.

Tablo 4 Haftalık hasat günlerine göre çiftçi sayıları (Numbers of the farmers in terms of the daily harvest)

Haftalık Hasat Günü	Çiftçi Sayısı
1	363
2	267
3	155
4	144
5	38
6	21

Çiftçilerin gün tercihleri, haftalık hasat günü sayısına göre rastgele bir şekilde yapılmıştır. Buna ek olarak istenmeyen günler de belirlenmiştir. Haftalık hasat günü sayısı beşten küçük olan çiftçiler için istenmeyen bir gün rastgele olarak belirlenmiştir. Hasat günü sayısı beş olanların istemeyecekleri yalnızca bir gün kaldığından ve

hasat günü sayısı altı olanların istemeyecekleri gün kalmadığından bu çiftçiler adına istenmeyen gün tercihi yapılmamıştır.

5.3. Matematiksel Modeller (Mathematical Models)

Çay hasadı çizelgeleme problemine farklı açılardan çözüm üreten 2 farklı matematiksel model geliştirilmiştir. Modellerin özellikleri Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Önerilen matematiksel modellerin özellikleri (Characteristics of proposed mathematical model)

Model	Parametreler			Amaç
	Kaç Gün	Hangi Günler	İstenmeyen Günler	
Çiftçilerin tercih ettikleri hasat günlerini dikkate alan model	Çiftçi belirler	Çiftçi tercih eder	Dikkate alınmamıştır	Çiftçi Tercihlerine Uyum
Çiftçilerin tercih ettikleri ve özellikle istemedikleri hasat günlerini dikkate alan model	Çiftçi belirler	Çiftçi tercih eder	Çiftçi tercih eder	

Matematiksel modellerde kullanılan notasyonlar aşağıda verilmiştir.

İndisler

c: Çiftçi indisi (1..988)

a: Alım yeri indisi (1..12)

g: Gün indisi (1..6)

Parametreler

k_{ag}: *a*. alım yerinin *g*. gün kapasitesi (kg)

f_g: *g*. gün fabrikanın kapasitesi (kg)

m_c: *c*. çiftçinin haftalık kontenjani (kg)

I_{ca}: *c*. çiftçinin *a*. alım yerine ait olması (1:ait, 0:ait değil)

g_c: *c*. çiftçinin haftada kaç gün hasat yapmak istediği

p_{cg}: *c*. çiftçinin *g*. gün satış yapmak istemesi (1:istiyor, 0:istemiyor)

j_{cg}: *c*. çiftçinin *g*. gün hasat yapmayı özellikle istememesi (1:hasat yapmak istemiyor, 0:istememe durumu yok,)

M: yeterli büyüklükteki bir sayı

Sapma değişkenleri

d_{cg}: İstenen günler için sapma değişkenleri (1: sapma var, 0:sapma yok)

t_{cg}: İstenmeyen günler için sapma değişkenleri (1: sapma var, 0:sapma yok)

Karar değişkenleri

X_{cg}: *c*. çiftçinin *g*. güne atanması (1:atandı, 0:atanmadı)

5.3.1. Çiftçilerin Tercih Ettikleri Hasat Günlerini Dikkate Alan Model (The Model That Takes Into Account the Harvest Days Preferred by the Farmers)

Bu modelde çiftçilerin gün tercihlerine olabildiğince uymak amaçlanmıştır. Geliştirilen hedef programlama modeli şu şekildedir.

$$\text{Min } Z = \sum_{c=1}^{988} \sum_{g=1}^6 d_{cg} \quad (5)$$

Kısıtlar:

$$x_{cg} - p_{cg} + d_{cg} \geq 0 \quad \forall c, g \quad (6)$$

$$\sum_{g=1}^6 x_{cg} = \sum_{g=1}^6 p_{cg} \quad \forall c, g \quad (7)$$

$$\sum_{c=1}^{988} (I_{ca} x_{cg} (m_c / g_c)) \leq k_{ag} \quad \forall a, g \quad (8)$$

$$\sum_{c=1}^{988} (x_{cg} (m_c / g_c)) \leq f_g \quad \forall g \quad (9)$$

$$x_{cg}, d_{cg} 0 \text{ veya } 1 \quad \forall c, g \quad (10)$$

Eşitlik (5) sapma değişkenlerinin minimizasyonunu içeren amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Eşitlik (6) sapma değişkenlerini oluşturan kısıtı ifade etmektedir. Eşitlik (7) çiftçilerin haftada atanması gerektiği kadar güne atanmasını sağlamaktadır. Eşitlik (8) alım yerinin kapasite kısıtlarını ifade etmektedir. Eşitlik (9) fabrikanın kapasite kısıtıdır ve günlük olarak fabrikanın ele alınan bölge için ayırdığı kapasiteyi ihtiva eder. Eşitlik (10) karar değişkenlerinin ve sapma değişkenlerinin 0 veya 1 olma kısıtını ifade etmektedir.

5.3.2. Çiftçilerin Tercih Ettikleri ve Özellikle İstemedikleri Hasat Günlerini Dikkate Alan Model (The Model That Takes Into Account the Harvest Days That Farmers Prefer And Especially Do Not Prefer)

Bu model çiftçilerin tercih ettikleri günlerin yanı sıra özellikle istemedikleri bir günü de dikkate almaktadır. Çizelgeleme esnasında çiftçiler bu günlere olabildiğince atanmamaya çalışılmıştır. Bu modelde; temel modelde yer alan Eşitlik (5), Eşitlik (11) ile değiştirilmiştir. Modele Eşitlik (12) eklenmiştir. Eşitlik (10), Eşitlik (13) şeklinde güncellenmiştir. Diğer kısıtlar temel model ile aynıdır.

$$\text{Min } Z = \sum_{c=1}^{988} \sum_{g=1}^6 (d_{cg} + t_{cg}) \quad (11)$$

Kısıtlar:

Eşitlik (6), Eşitlik (7), Eşitlik (8), Eşitlik (9)

$$M(1 - x_{cg}) \geq j_{cg} - t_{cg} \quad \forall c, g \quad (12)$$

$$x_{cg}, d_{cg}, t_{cg} 0 \text{ veya } 1 \quad \forall c, g \quad (13)$$

Eşitlik (11) tercih edilen günlerden sapmaları ve istenmeyen günlere atanmaları minimize etmektedir. Eşitlik (12) istenmeyen günlerin sapma değişkeni kısıtıdır. Eşitlik (13) karar değişkenlerinin ve sapma değişkenlerinin 0 veya 1 olma kısıtını ifade etmektedir.

5.4. Vaka Çalışması (Case Study)

Önerilen matematiksel modeller IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.8.0 (COS) ve Python 3.7.7'de COS'un uygulama programlama arayüzü (API) kullanılarak kodlanmış ve çözümler bu yazılımlardan elde edilmiştir. Model çözümünde Intel(R) Core(TM) i7-7700HQ CPU @ 2.80GHz 2.81 GHz, 8 GB RAM özelliklerine sahip bir kişisel bilgisayar kullanılmıştır.

5.4.1. Çiftçilerin Tercih Ettikleri Hasat Günlerini Dikkate Alan Modelin Sonuçları (The Results Of The Model That Takes Into Account the Harvest Days Preferred by the Farmers)

988 çiftçinin yapması gereken 2254 hasat günü tercihi bulunmaktadır. Bu tercihler çiftçiler adına rastgele üretilmiş ve model çözülmüştür. COS ile gerçekleştirilen çözüm 2,22 saniye sürmüştür. Çizelge incelendiğinde 2254 hasat günü tercihinden 2188 adetine uyulduğu görülmüştür. Buna göre çiftçilerin hasat günü tercihlerine uyum oranı %97,07 olarak hesaplanmıştır. İncelenmesi için birinci alım yerine bağlı 116 çiftçinin gün tercihlerine atanma durumları Tablo 6'da gösterilmiştir. Tablodaki yeşil hücreler çiftçinin o günü tercih edip atandığı, kırmızı hücreler ise isteyip atanmadığı anlamına gelmektedir. Boş hücreler çiftçinin o günü tercih etmediği anlamına gelmektedir.

Tablo 6. Birinci alım yerinin birinci model ile oluşturulmuş çizelgesi (The schedule of the first purchase location with the first model)

Çiftçi	Gün						Çiftçi	Gün						Çiftçi	Gün						Çiftçi	Gün					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
1							30						59						88								
2							31						60						89								
3							32						61						90								
4							33						62						91								
5							34						63						92								
6							35						64						93								
7							36						65						94								
8							37						66						95								
9							38						67						96								
10							39						68						97								
11							40						69						98								
12							41						70						99								
13							42						71						100								
14							43						72						101								
15							44						73						102								
16							45						74						103								
17							46						75						104								
18							47						76						105								
19							48						77						106								
20							49						78						107								
21							50						79						108								
22							51						80						109								
23							52						81						110								
24							53						82						111								
25							54						83						112								
26							55						84						113								
27							56						85						114								
28							57						86						115								
29							58						87						116								

Birinci alım yerine bağlı çiftçilerin toplam 267 gün tercihi bulunmaktadır. Oluşturulan çizelge ise 261 gün tercihinin uymaktadır. Bu sonuca göre birinci alım yerine bağlı çiftçilerin gün tercihlerine uyum oranı %97,75 olarak bulunmuştur. Birinci alım yerinin günlük kapasitesi 32827 kilogramdır. Tablo 7'de birinci alım yerinde satışı yapılacak çay miktarları ve kapasite kullanım oranları gösterilmiştir.

Tablo 7. Birinci alım yerinin birinci modele göre kapasite kullanımı (Capacity usage for the first model of the first purchase location)

Gün	Toplam Hasat Miktarı (kg)	Kapasite Kullanımı
1	32621,7	%99,37
2	32573,0	%99,23
3	29638,7	%90,29
4	32760,7	%99,80
5	31414,0	%95,70
6	31952,4	%97,34

Tablo 7 incelendiğinde birinci alım yerinde kapasite kısıtlarına uyulduğu görülmektedir.

5.4.2. Çiftçilerin Tercih Ettikleri ve Özellikle İstemedikleri Hasat Günlerini Dikkate Alan Modelin Sonuçları (The Results of the Model That Takes Into Account the Harvest Days That Farmers Prefer and Especially Do Not Prefer)

Model 2'de 2254 tercih edilen gün ve 929 istenmeyen gün olmak üzere toplam 3183 tercih bulunmaktadır. Bu tercihler çiftçiler adına rastgele üretilmiş ve model çözülmüştür. Çizelge incelendiğinde 3183 hasat günü tercihinden 3117 adetine uyulduğu görülmüştür. Buna göre çiftçilerin hasat günü tercihlerine uyum oranı %97,93

olarak hesaplanmıştır. İncelenmesi için birinci alım yerine bağlı 116 çiftçinin gün tercihlerine atanma durumları Tablo 8'de gösterilmiştir. Tablodaki yeşil hücreler çiftçinin o günü tercih edip atandığı, kırmızı hücreler isteyip atanmadığı, mavi hücreler istemeyip atanmadığı anlamına gelmektedir. Herhangi bir çiftçinin istemeyip atandığı gün bulunmamaktadır. Boş hücreler çiftçinin o günü tercih etmediği anlamına gelmektedir.

Tablo 8. Birinci alım yerinin ikinci model ile oluşturulmuş çizelgesi (The schedule of the first purchase location with the second model)

Çiftçi	Gün						Çiftçi	Gün						Çiftçi	Gün						Çiftçi	Gün					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
1							30						59						88								
2							31						60						89								
3							32						61						90								
4							33						62						91								
5							34						63						92								
6							35						64						93								
7							36						65						94								
8							37						66						95								
9							38						67						96								
10							39						68						97								
11							40						69						98								
12							41						70						99								
13							42						71						100								
14							43						72						101								
15							44						73						102								
16							45						74						103								
17							46						75						104								
18							47						76						105								
19							48						77						106								
20							49						78						107								
21							50						79						108								
22							51						80						109								
23							52						81						110								
24							53						82						111								
25							54						83						112								
26							55						84						113								
27							56						85						114								
28							57						86						115								
29							58						87						116								

Birinci alım yerine bağlı çiftçilerin toplam 379 gün tercihi bulunmaktadır. Oluşturulan çizelge ise 373 gün tercihinin uymaktadır. Bu sonuca göre birinci alım yerine bağlı çiftçilerin gün tercihlerine uyum oranı %98,42 olarak bulunmuştur. Birinci alım yerinin günlük kapasitesi 32827 kilogramdır. Tablo 9'da birinci alım yerinde satışı yapılacak çay miktarları ve kapasite kullanım oranları gösterilmiştir.

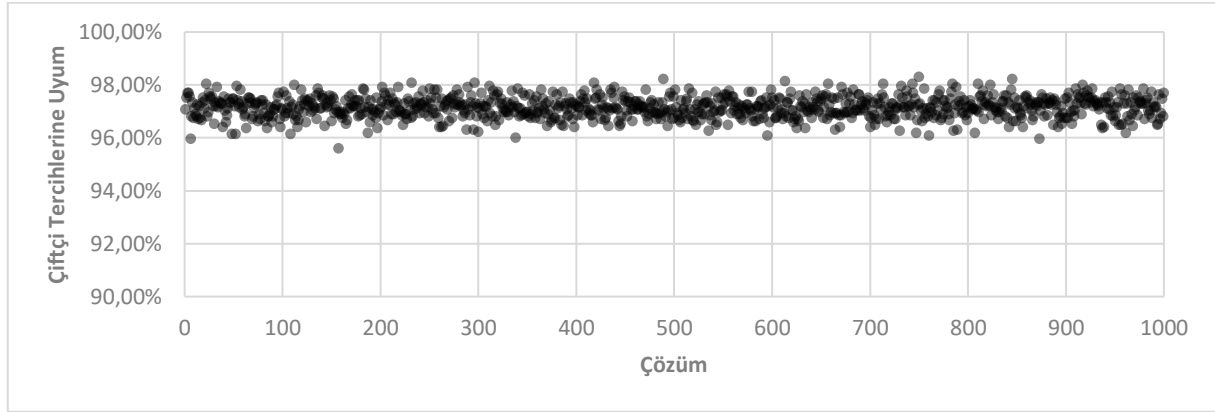
Tablo 9. Birinci alım yerinin ikinci modele göre kapasite kullanımı (Capacity usage for the second model of the first purchase location)

Gün	Toplam Hasat Miktarı (kg)	Kapasite Kullanımı
1	32659,21	%99,49
2	32023,25	%97,55
3	30890,67	%94,10
4	32760,71	%99,80
5	30301,5	%92,31
6	32325,17	%98,47

Tablo 9 incelendiğinde birinci alım yerinde kapasite kısıtlarına uyulduğu görülmektedir.

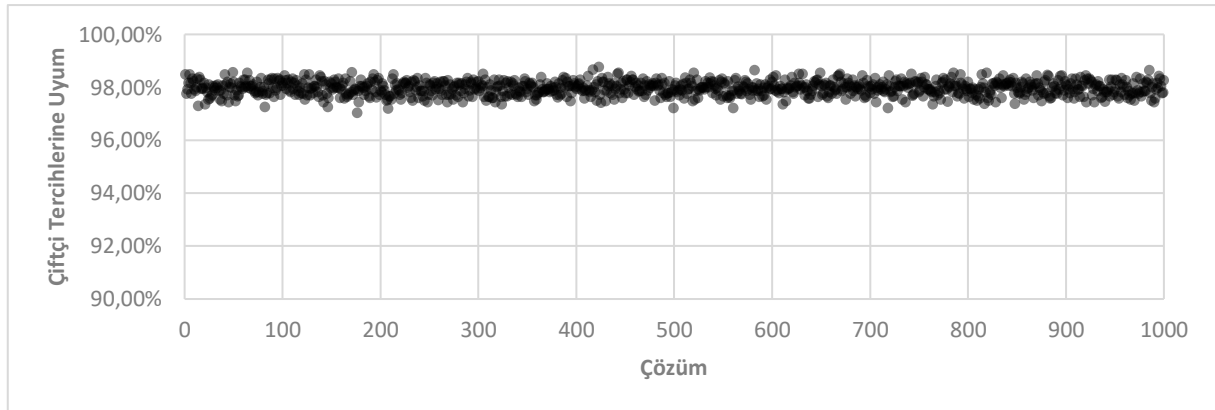
5.4.3. Duyarlılık Analizi (Sensitivity Analysis)

Matematiksel modellerin çözümünde rassal bir tercih matrisi kullanıldığından modellerin farklı tercih matrislerindeki duyarlılığı analiz edilmiştir. Her iki modelde kullanılmak üzere 1000 rassal tercih matrisi oluşturulmuştur. Bu tercih matrisleri Python ve COS kullanılarak çözülmüştür. Çiftçilerin tercih ettikleri hasat günlerini dikkate alan modelin duyarlılık analizi Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Çiftçilerin tercih ettikleri hasat günlerini dikkate alan modelin duyarlılık analizi (Sensitivity analysis of the model, which takes into account the harvest days preferred by farmers)

Çiftçilerin tercih ettikleri ve özellikle istemedikleri hasat günlerini dikkate alan modelin duyarlılık analizi Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Çiftçilerin tercih ettikleri ve özellikle istemedikleri hasat günlerini dikkate alan modelin duyarlılık analizi (Sensitivity analysis of the model, which takes into account the harvest days that farmers prefer and especially do not prefer)

Çözüm sonuçlarına göre modellerin duyarlılık analizi sonuçları Tablo 10'da özetlenmiştir.

Tablo 10. Duyarlılık analizi sonuçları (Results of the sensitivity analysis)

Model	Ortalama çiftçi tercihlerine uyum oranı	Maksimum çiftçi tercihlerine uymayan gün sayısı	Minimum çiftçi tercihlerine uymayan gün sayısı	Çiftçi tercihlerine uymayan gün sayıları standart sapması
Çiftçilerin tercih ettikleri hasat günlerini dikkate alan model	%97,15	99	38	17,68
Çiftçilerin tercih ettikleri ve özellikle istemedikleri hasat günlerini dikkate alan model	%97,98	94	39	16,95

Tablo 10 incelendiğinde her iki modelin de fabrika ve alım yeri kapasitesi kısıtları altında ortalama %97 oranında çiftçi tercihlerine uyduğu gözlemlenmiştir. Bu durum modellerin başarısını ispatlamaktadır.

5.4.4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Rize’de 988 çiftçi, 3392 dekar çay tarlası, 12 alım yeri ve bir fabrika ele alınarak yapılan örnek uygulama ile geliştirilen matematiksel modellerin başarısı ispatlanmıştır. Tablo 11’de modellerin dikkate aldıkları hasat günü tercihi sayıları, bu tercihlere uyan atama sayıları, tercihlere uyum oranları ve duyarlılık analizine göre ortalama çiftçi tercihlerine uyum oranı gösterilmiştir.

Tablo 11. Deneysel sonuçlar (Experimental results)

Model	Hasat günü tercihi sayısı	Özellikle istenmeyen hasat günü tercihi sayısı	Tercihlere uyan atama sayısı	Çiftçi tercihlerine uyum oranı	Duyarlılık analizine göre ortalama çiftçi tercihlerine uyum oranı
Çiftçilerin tercih ettikleri hasat günlerini dikkate alan model	2254	0	2188	97,07%	97,15%
Çiftçilerin tercih ettikleri ve özellikle istemedikleri hasat günlerini dikkate alan model	2254	929	3117	97,93%	97,98%

Tablo 11 incelendiğinde, yapılan vaka çalışmasında ortalama %97 oranında çiftçi tercihlerine uyulduğu görülmektedir. Ayrıca yapılan duyarlılık analizi sonucunda bin adet tercih matrisi ile modellerin test edilmesi ve ortalama %97 tercihlere uyum oranının yakalanması modellerin farklı tercih matrislerindeki başarısını ispatlamaktadır.

6. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Çalışmada sürdürülebilir tarım için bir hasat optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Çay hasadı çizelgeleme konusunda çiftçilerin hasat günü tercihlerini dikkate alan matematiksel modeller önerilmiştir. 988 çiftçinin, 3392 dekar çay tarlasının, 12 çay alım yerinin ve bir fabrikanın bulunduğu bir bölgede örnek vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan duyarlılık analizi ile farklı tercih matrislerinde modellerin başarısı test edilmiştir. Oluşturulan hasat çizelgelerinin; fabrika ve alım yeri kapasite kısıtları dahilinde, çiftçilerin hasat günü tercihlerine uyma konusunda ortalama %97 oranında başarılı oldukları görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, önerilen matematiksel modellerin çay tarımında sürdürülebilirliği artıracaklarını göstermektedir.

Gelecek çalışmalarda çay hasadı çizelgeleme problemine araç rotalama ve personel çizelgeleme problemleri de dahil edilebilir. Çiftçilerin hangi günler hasat yapacağını yanı sıra fabrikanın araçlarının hangi rotayı izleyeceği, hangi alım yerlerine uğrayacağı kararı verilebilir. Şoförler ve alım yeri görevlileri için personel çizelgeleme çalışması gerçekleştirilebilir. Daha büyük problemler ele alınıp fabrikaya bağlı olan bütün alım yerleri için çizelgeleme gerçekleştirilebilir. Modellerin karmaşıklığı arttığı için sezgisel veya meta-sezgisel yöntemlerle çözümler gerçekleştirilebilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Andrei, J. V., Popescu, G. H., Nica, E., Chivu, L., 2020. The Impact of Agricultural Performance on Foreign Trade Concentration and Competitiveness: Empirical Evidence From Romanian Agriculture. *Journal of Business Economics and Management*, 21(2), 317–343.
- Astika, I. W., Sasao, A., Djojomartono, M., Pertiwi, S., Wiryokusumo, H., 1997. Optimization of Sugarcane Planting-harvesting Schedule for Dry Land Sugarcane Plantations. *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery*, 59(5), 73–81.
- Budijati, S. M., Iskandar, B. P., 2018. Dynamic programming to solve picking schedule at the tea plantation. *International Journal of Engineering and Technology*, 7(4), 285-290.
- Busato, P., Berruto, R., 2016. Minimising Manpower in Rice Harvesting and Transportation Operations. *Biosystems Engineering*, 151, 435–445.
- Ceylan, Z., Karan, R. E., Bakırcı, Ç., Sabuncu, S., 2019. Single Machine Scheduling Problem with Sequence Dependent Setup Times: An Application in White Goods Industry. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 3(1), 14–21.

- Charnes, A., Cooper, W. W., Ferguson, R. O., 1955. Optimal estimation of executive compensation by linear programming. *Management Science*, 1(2), 138–151.
- Çolak, R., Yiğit, T., 2021. Üniversite Ders Çizelgeleme Probleminin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(6), 150–166.
- Cullum, J., Binns, J., Lonsdale, M., Abbassi, R., Garaniya, V., 2018. Risk-Based Maintenance Scheduling with Application to Naval Vessels and Ships. *Ocean Engineering*, 148, 476–485.
- Çaykur 2019 Çay Sektörü Raporu. (2022, December 16). <https://www.caykur.gov.tr/Pages/Yayinlar/YayinDetay.aspx?ItemType=5&ItemId=721>
- Dağdeviren, M., Eren, T., 2001. Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16(1), 41–52.
- Dündar, D. R., Sarıççek, İ., Yazıcı, A., 2021. Bakım Faaliyetlerini Dikkate Alan Makine Çizelgeleme: Literatür Araştırması. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 26(2), 737–756.
- Edwards, G., Sørensen, C. G., Bochtis, D. D., Munkholm, L. J., 2015. Optimised Schedules for Sequential Agricultural Operations Using a Tabu Search Method. *Computers and Electronics in Agriculture*, 117, 102–113.
- Eren, T., Bedir, N., Taş, C., 2018. 0-1 Tamsayılı Programlama ile Ders Programı Çizelgeleme Probleminin Çözümü: Bir Yükseköğretim Kurumunda Uygulama. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3), 166–175.
- Fanjul-Peyro, L., Ruiz, R., Perea, F., 2019. Reformulations and an Exact Algorithm for Unrelated Parallel Machine Scheduling Problems with Setup Times. *Computers & Operations Research*, 101, 173–182.
- Grunow, M., Günther, H.-O., Westin, R., 2007. Supply Optimization for the Production of Raw Sugar. *International Journal of Production Economics*, 110(1), 224–239.
- He, P., Li, J., Wang, X., 2018a. Wheat Harvest Schedule Model for Agricultural Machinery Cooperatives Considering Fragmental Farmlands. *Computers and Electronics in Agriculture*, 145, 226–234.
- He, P., Li, J., Zhang, D., Wan, S., 2018b. Optimisation of the Harvesting Time Of rice in Moist and Non-Moist Dispersed Fields. *Biosystems Engineering*, 170, 12–23.
- Higgins, A. J., Muchow, R. C., Rudd, A. v, Ford, A. W., 1998. Optimising Harvest Date in Sugar Production: A Case Study for the Mossman Mill Region in Australia: I. Development Of Operations Research Model And Solution. *Field Crops Research*, 57(2), 153–162.
- Karlı, B., Gül, M., Kadakoğlu, B., 2018. Türkiye’de Tarımda Üretici Örgütlenmesinin Önemi ve Gelişimi. *Akademia Sosyal Bilimler Dergisi*, 318–329.
- Lei, D., Liu, M., 2020. An Artificial Bee Colony with Division for Distributed Unrelated Parallel Machine Scheduling with Preventive Maintenance. *Computers & Industrial Engineering*, 141, 106320.
- Lei, D., Yuan, Y., Cai, J., 2021. An Improved Artificial Bee Colony for Multi-Objective Distributed Unrelated Parallel Machine Scheduling. *International Journal of Production Research*, 59(17), 5259–5271.
- Leung, S. C. H., Wu, Y., Lai, K. K., 2003. Multi-Site Aggregate Production Planning with Multiple Objectives: A Goal Programming Approach. *Production Planning & Control*, 14(5), 425–436.
- Naghdi Badi, H., Yazdani, D., Ali, S. M., Nazari, F., 2004. Effects of Spacing and Harvesting Time on Herbage Yield and Quality/Quantity of Oil in Thyme, *Thymus Vulgaris* L. *Industrial Crops and Products*, 19(3), 231–236.
- Özcan, E., Danişan, T., Eren, T., 2020. Hidroelektrik Santrallarda Bakım Çizelgeleme İçin Hibrid Bir Model Önerisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(4), 1815–1828.
- Poltroniere, S. C., Aliano Filho, A., Caversan, A. S., Balbo, A. R., Florentino, H. de O., 2021. Integrated Planning for Planting and Harvesting Sugarcane and Energy-Cane for the Production of Sucrose and Energy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 184, 105956.
- Rollan, C. D., Li, R., San Juan, J. L., Dizon, L., Ong, K. B., 2018. A Planning Tool for Tree Species Selection and Planting Schedule in Forestation Projects Considering Environmental and Socio-Economic Benefits. *Journal of Environmental Management*, 206, 319–329.
- Sajid, S. S., Hu, G., 2022. Optimizing Crop Planting Schedule Considering Planting Window and Storage Capacity. *Frontiers in Plant Science*, 13.
- Sarimehmet, B., Pınarbaşı, M., Alakaş, H.M., Eren, T. 2023. Çiftçi ve Fabrika İş Birliği ile Sürdürülebilir Hasat Çizelgeleme. 5th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, 1(1), 702-707.
- Salassi, M. E., Breaux, J. B., Naquin, C. J., 2002. Modeling Within-Season Sugarcane Growth for Optimal Harvest System Selection. *Agricultural Systems*, 73(3), 261–278.
- Thuankaewsing, S., Pathumnakul, S., Piewthongngam, K., 2011. Using an Artificial Neural Network and a Mathematical Model for Sugarcane Harvesting Scheduling. 2011 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 308–312.
- Ünal, F. M., Eren, T., 2016. Hedef Programlama ile Nöbet Çizelgeleme Probleminin Çözümü. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 4(1), 28-37.
- Varlı, E., Eren, T., 2017a. Hemşire Çizelgeleme Problemi ve Hastanede Bir Uygulama. *Academic Platform - Journal of Engineering and Science*, 5(1), 34–40.
- Winston, C., 1962. *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*, Vol. 1 (A. Charnes and WW Cooper). *Society for Industrial and Applied Mathematics*, 4(1), 38-91.
- Yurtsal, A., Kaynar, O., 2022. Sezgisel Algoritmalar Yardımıyla Ders Programı Optimizasyonu. *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 8(1), 1-18.