



Tarım gıda tedarik zinciri ağ tasarım problemi için çok amaçlı karma tamsayı programlama modeli

Multi-objective mixed integer programming model for agriculture food supply chain network design problem

Bahtınur AKÇAY¹ , Ceren KÜÇÜKOĞLU² , Bilge BİLGİN^{3*}

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
bahtinur.akcay29@gmail.com, cerenkucukoglu01@gmail.com, bilge.bilgen@deu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 04.08.2023
Kabul Tarihi/Accepted: 26.06.2024

Düzeltilme Tarihi/Revision: 15.05.2024

doi: 10.5505/pajes.2024.72965
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Tarım-gıda tedarik zinciri, mahsulün ekilmesi ve yetiştirilmesi, mahsullerin olgunlaşmasından sonra hasat edilmesi ve son olarak da mahsulün talep noktalarına teslim edilmesi gibi birçok faaliyeti içermektedir. Bu yüzden tedarik zinciri ağ tasarımında planlamalar çok önemlidir. Alınan tarımsal ve endüstriyel kararlar planlamaları etkilemektedir. Tarımsal kararlar, üretim ve hasat sürecini endüstriyel kararlar ise talebe uygun ekim planlarını, hasat planlarını, depolama ve taşıma faaliyetlerini etkilemektedir. Bu makale kapsamında, Çukurova Bölgesi'nde Osmaniye'nin Kadirli İlçesi'ndeki tarım arazilerinde yetişen ürünlerden ana ürün olarak bilinen yer fıstığı, mısır ve buğday için hasat çizelgeleme problemi ele alınmış ve stratejik-taktiksel planlama modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde minimum maliyet amacını sağlayacak şekilde ekim, hasat, taşıma ve depolama kararlarını içeren kısıtlar göz önünde bulundurulmuştur. Ele alınan problem için karma tam sayılı programlama modeli önerilmiştir. Bunun yanında süreci etkileyen farklı durumlar için senaryo analizleri yapılarak maliyete etkileri araştırılmıştır. Ayrıca elde edilecek hasat miktarının maksimum düzeyde tutulması amacı da dikkate alınarak problem artırılmış epsilon kısıtı yöntemi kullanılarak çözülmüştür.

Anahtar kelimeler: Tarım-Gıda tedarik zinciri yönetimi, Stratejik-Taktik planlama karar seviyeleri, Karma tamsayı programlama, Artırılmış epsilon kısıtı yöntemi.

1 Giriş

Tarım-gıda endüstrisi, bir ülkenin ekonomisinin ve gıda güvenliğinin en önemli endüstrilerinden biridir [1]. İnsanların geçim kaynağı olarak zamanla önem kazanan tarım giderek yaygınlaşmış ve büyük bir sektör haline gelmiştir. Tarım, günümüz dünya nüfusunun %40'ına geçim kaynağı sağlamaktadır [2]. Yıllardır süregelen tarım uygulamalarıyla alakalı teknolojinin ve bilimin gelişmesi ile birçok çalışma yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışmalardan ürünlerin tedarikçilerden müşterilere olan hareketleri ve bu süreçteki örgütler, insanlar, teknoloji, faaliyetler ve kaynaklar sistemlerinin bütünü olan tedarik zinciri ağ tasarımı tarım-gıda sektöründe önemli ölçüde uygulanmaktadır.

Bir tarım gıda-tedarik zinciri; planlanan mahsulün ekilmesi ve yetiştirilmesi, mahsullerin olgunlaşmasından sonra uygun zamanda ve koşulda gerçekleştirilen hasat işlemi ve son olarak da mahsulün talep noktalarına (lisanslı depolar, devlet depoları, işletmeler/fabrikalar, çiftlikler ve yemciler vb.) teslim

Abstract

Agri-food supply chain includes many activities such as planting and growing the crop, harvesting the crops after they mature, and finally delivering the crop to the demand points. Therefore, planning is very important in supply chain network design. The agricultural and industrial decisions considered affect the planning. Agricultural decisions affect the production and harvesting process, while industrial decisions affect the planting plans, harvest plans, storage and transportation activities according to the demand. Within the scope of this article, the harvest scheduling problem for peanut, corn and wheat, which are known as the main products grown in the agricultural lands of Kadirli District of Osmaniye in the Çukurova Region, was discussed and a strategic-tactical planning model was proposed. In the model, constraints including planting, harvesting, transportation and storage decisions were taken into consideration to ensure minimum cost. A mixed integer programming model is proposed for the considered problem. In addition, scenario analysis were adopted for different situations affecting the process and their effects on the cost were investigated. In addition considering the aim of maximizing the amount of harvest to be obtained, the problem is solved using the augmented epsilon constraint method.

Keywords: Agri-Food supply chain management, Strategic-Tactical planning decision levels, Mixed integer programming, Augmented epsilon constraint method.

edilmesi gibi birçok faaliyeti içermektedir. Tarım-gıda tedarik zincirinin en önemli bileşenleri mahsullerin ekimi, ekim sonrasında gerçekleştirilen hasadı ve daha sonra işlenmek üzere ilgili tesislere gönderilmesidir. Bu nedenle tedarik zinciri ağ tasarımında planlamalar çok önemlidir. Planlamada yapılan yanlışlıklar tedarik sürecinde büyük ölçüde aksamalara neden olacaktır. Yanlış planlama, tedarik zinciri boyunca israfa neden olur, karlılığı ve mahsul kalitesinin bozulmasını etkiler [3].

Alınan tarımsal ve endüstriyel kararlar planlamaları etkilemektedir. Tarımsal kararlar üretim ve hasat sürecini doğrudan etkilemektedir. Tarımsal kararlar; tarla alanına ekilecek ürün, kullanılacak tohum sayısı (maksimum ve minimuma karar vermek), sulama miktarı ve sulama türü, mahsullerin ekim ve oluşturma zamanı, hasattan sonra oluşan nadas (bekleme) süresi, ekilen üründen sonra tarlaya ekilecek ve ekilemeyecek ürünlerin belirlenmesi gibi kararları içermektedir. Endüstriyel kararlar ise talebe uygun üretim planlarını, depolama ve taşıma faaliyetlerini etkilemektedir. Gelen talep doğrultusunda talebi karşılamak için gereken

*Yazışılan yazar/Corresponding author

toplam tarla alanları, hasattan sonra elde edilen mahsulün ne kadarının kullanılabilceği (istenen verimde), mahsullerin talep noktalarına taşınması için gereken araç sayısı ve kapasitesi, talep noktalarındaki kapasite kısıtı gibi kararları içermektedir. Bu kararlar çerçevesinde mahsullerin üretimine etki eden faktörler (zaman, mekân, alan kısıtı, kullanılacak su miktarı ve sulama türü gibi), mahsullerin tedarik süresinde taşınmasına etki eden faktörler (kullanılacak araçların sayısı, kapasitesi ve kullanım maliyetleri gibi) ve bölgenin yapısı gereği oluşan kısıtların istenilen amaçlara hizmet etmesi gerekmektedir.

Bu makalede, birden çok ürünün ekim, hasat, taşıma ve depolama kararlarını içeren bir model önerilmekte, önerilen modelin formülasyonu ve çözümü sunulmaktadır. Toplam maliyetleri (tohum, gübre, tarımsal araç kullanma, sulama, taşıma araçlarının, taşıma gereçlerinin, işçilik maliyeti) en aza indirmek amacıyla tarım-gıda tedarik zincirinin spesifik özelliklerini göz önünde bulundurarak matematiksel bir model geliştirilmiştir.

Kısıtlar ve amaçlar göz önüne alındığında dikkate alınan problem için karma tamsayı programlama (KTP) modeli

oluşturulmuş ve çözülmüştür. Çevre koşulları, doğal afetler, ürünlerin optimum verim miktarları, mahsullerin minimum ve maksimum hasat dönemlerine bağlı olarak hasat süresi değişimi gibi senaryo analizleri yapılarak maliyete etkileri araştırılmıştır. Ek olarak model, hem minimum maliyet amacına hizmet eden, hem de planlama ufku boyunca elde edilen hasat miktarını maksimum yapma amacı ile çözülmüştür. Çözüm için oluşturulan model artırılmış epsilon kısıtı yöntemi ile çözülmüştür.

Bu makalenin içeriği şu şekilde özetlenmiştir. Bölüm 2’de, literatür araştırması, Bölüm 3’te problem tanımı ve Bölüm 4’te önerilen KTP modeli sunulmuştur. Bölüm 5’te, senaryoların ve epsilon kısıt yönteminin hesaplama sonuçları tartışılmıştır. Son olarak, sonuç ve çıkarımlar Bölüm 6’da sunulmuştur.

2 Literatür araştırması

Makale kapsamına uygun olarak kaynaklar incelenmiştir. Bu kaynakların karar seviyelerine, karar türlerine ve kullanılan çözüm yöntemine göre detaylı analizi yapıp sınıflandırılarak Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Karar seviyeleri, türleri ve çözüm yöntemlerine göre çalışmalar.

Table 1. Studies according to decision levels, types and solution methods.

Yazar	Yıl	Karar Seviyesi			Karar Değişkenleri				Modelleme Yaklaşımı						Çözüm Yöntemi
		S	T	O	Ü	H	T	D	LP	SP	DP	SDP	KTP	KTDP	
[4] Munhoz ve diğ.	2014		X		X	X		X	X						Robust Optimizasyon
[5] Costa ve diğ.	2014	X			X	X	X	X	X						İki Aşamalı Stokastik Programlama
[6] Wishon ve diğ.	2015		X		X	X							X		
[7] Ghezavati ve diğ.	2015		X	X			X	X	X						Bender's Decomposition
[8] Reis ve diğ.	2015		X		X	X	X	X	X						Barrier Algoritması
[9] Thuankaewsing ve diğ.	2015	X	X		X									X	Duyarlılık Analizi
[10] Francisco da Silva ve diğ.	2015	X	X		X	X									multi-choice goal programming (RMCGP-LHS)
[11] Rocco ve diğ.	2016		X		X	X	X		X						
[12] Kun An ve diğ.	2016	X			X	X	X	X							İki Seviyeli Robust Optimizasyon
[13] D. Rocco ve diğ.	2016		X		X		X		X						Robust Optimizasyon
[14] Accorsi ve diğ.	2016	X	X	X			X	X	X						
[15] Catalá ve diğ.	2016		X		X		X	X	X						Çok Amaçlı Optimizasyon-Lexicographic Metod
[16] Herrera-Cáceres ve diğ.	2017		X		X	X								X	
[17] Varsei ve diğ.	2017	X			X		X								Çok-Amaçlı Karma Tamsayı Programlama
[18] JV Caixeta-Filho ve diğ.	2017		X			X			X						
[19] Grilloa ve diğ.	2017			X	X		X	X							Karma Tamsayı Matematiksel Programlama
[20] Gholamian ve diğ.	2017	X	X				X	X						X	
[21] Miranda-Ackerman ve diğ.	2017	X		X	X		X	X							Genetik Algoritma ile Çok Amaçlı Optimizasyon
[22] Basso ve diğ.	2017			X									X		Çok Amaçlı Karar Verme Araçları (TOPSIS)
[23] Allaoui ve diğ.	2018			X	X		X								Greedy Algoritması
[24] Marchal ve diğ.	2018	X	X		X	X									Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Sıralı Ağırlıklı Ortalama (OWA) Çok Aşamalı Stokastik Programlama

Tablo 1. Devamı.

Table 1. Continued.

Yazar	Yıl	Karar Seviyesi			Karar Değişkenleri				Modelleme Yaklaşımı						Çözüm Yöntemi
		S	T	O	Ü	H	T	D	LP	SP	DP	SDP	KTP	KTDP	
[25] Cheraghalipoura ve diğ.	2018	X	X	X	X		X	X						X	Çok Amaçlı Kestel Algoritması (MOKA) Genetik Algoritmalar (NSGA-II)-(NRGA) Çok Amaçlı Benzetilmiş Tavlama (MOSA)
[26] Flores ve diğ.	2018	X		X	X	X	X	X						X	
[27] Sazvar ve diğ.	2018	X						X						X	Karma Tamsayı Doğrusal Olmayan Programlama Arttırılmış e-Kısıt Metodu
[28] Solano ve diğ.	2019	X	X	X	X	X									Yöneylem Araştırması
[29] Vlah Jerić ve diğ.	2019	X			X	X	X	X							Çok-Amaçlı Karma Tamsayı Doğrusal Programlama
[30] Junqueira ve diğ.	2019		X	X		X	X						X		
[31] Suthar ve diğ.	2019		X	X		X	X						X		
[32] Jonkmana ve diğ.	2019	X			X	X	X	X						X	
[33] Pengfei He ve diğ.	2019		X			X	X							X	Memetik Algoritma İki-Aşamalı Rotalama
[34] Banasik ve diğ.	2019		X	X	X										Stokastik Optimizasyon
[35] Roghanian ve diğ.	2019	X	X	X			X								Çok Amaçlı Ağaç Büyüme Algoritması (MOTGA) Çok Amaçlı Kestel Algoritması (MOKA) Genetik Algoritmalar (NSGA-II)-(NRGA) Çok Amaçlı Benzetilmiş Tavlama (MOSA)
[36] Flores ve diğ.	2020	X	X		X	X									Stokastik Optimizasyon
[37] Alemany ve diğ.	2021			X	X	X	X							X	
[38] Fikry ve diğ.	2021	X	X			X	X	X						X	
[39] Avanzini ve diğ.	2021		X			X		X		X					
[40] Estes ve diğ.	2023		X		X	X	X							X	
[41] Montenegro-Dos Santos ve diğ.	2023			X	X	X								X	Çok Aşamalı Stokastik Programlama
Bu Çalışma		X	X		X	X	X	X					X		Çok-Amaçlı Karma Tamsayı Doğrusal Programlama

S: Stratejik, T: Taktik, O: Operasyonel, Ü: Üretim, H: Hasat, T: Taşıma, D: Depolama, LP: Lineer Programlama, SP: Stokastik Programlama, DP: Dinamik Programlama, SDP: Stokastik-Dinamik Programlama, KTP: Karma Tamsayılı Programlama., KTDP: Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama.

Yapılan literatür araştırmaları ile karar seviyeleri, karar türleri ve yöntemlerine göre makaleler incelenmiş, uygulanan diğer yöntemler araştırılmıştır. İncelenen makaleler çok amaçlı amaç fonksiyonunu ve duyarlılık analizini dikkate almıştır. Genellikle taktiksel seviyede üretim kararları doğrultusunda lineer programlama kullanılmıştır. Bu makalede şu araştırma sorularına cevap aranmaktadır. (1) Dikkate alınan bölgede optimum hasat planlaması nasıl yapılmalıdır? (2) Senaryolar model sonucuna ne şekilde etki etmektedir? (3) Maliyet minimizasyonu ile hasat maksimizasyonu modeli ne şekilde etkileyecektir?

Literatür taraması sonrası elde edilen bilgiler doğrultusunda bu makalede stratejik ve taktiksel karar seviyelerinde üretim, hasat, taşıma ve depolama kararları için KTP modeli önerilmiştir. Bu model tek amaçlı ve çok amaçlı olmak üzere iki şekilde analiz edilmiştir.

3 Problem tanımı

Ülkemiz sahip olduğu elverişli iklim koşulları, verimli arazileri ile tarım faaliyetleri için oldukça uygun konumdadır. Ülkemizde yaygın olarak sürdürülen tarım faaliyetlerinin var oluşunun da etkisiyle tarım-gıda tedarik zinciri ağ tasarımı çalışması için Osmaniye ilinin Kadirli ilçesini uygulama alanı olarak belirlenmiştir.

Tarımda ürünlerin değeri ekim ve hasat dönemlerine bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Bu dönemler göz önüne alındığında mahsul kayıplarını en aza indirmek için hasat edilen mahsullerin taşınması ve depolanması için doğru planlama ve lojistik gerekmektedir. Bu anlamda süreç içerisinde verilecek kararlar ciddi anlamda önem taşımaktadır. Bu kararlardan olan stratejik planlama kararları ekim yapılacak mahsulü, ekim yapılacak alanları vb. ve taktik planlama kararları ekilen alanların büyüklüğü, hasat planları,

mahsullerin tarım alanlarından depolara taşınması vb. ile ilgilidir.

Tarım için yanlış olan kararlar, üretim aşamasından sonraki adımları etkileyecektir. Bu nedenle tarım-gıda tedarik zincirini sorunsuz kılabilme amacıyla ilgili kısıtları sağlayabilmek için aşamalar arasında koordinasyon gereklidir. Tarımda yapılacak planlamalarla gelecek için kaynaklar daha sistemli ve kontrollü olarak kullanılarak insanların ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılayabilmektedir. Yanlış planlama, tedarik zincirinde israfa neden olmakta ve alınan tarımsal ve endüstriyel kararlar planlamaları etkilemektedir.

Tarım-gıda tedarik zincirini etkin bir şekilde kontrol etmek için mahsul ekimi, hasat, taşıma ve depolama kararlarının planlanması ve birbirine uyumlu olması gereklidir. Tedarik zinciri bu aşamalarda birbirine bağlı özelliklere sahiptir ve bu özelliklerin aşağıdaki gibi bazı sonuçları vardır:

1. Bir ürün yeniden ekilmeden önce bir zaman aralığı gereklidir ve bir ürün kendi ürün rotasyon döngüsüne göre yetiştirilmelidir. Genellikle bir mahsul ekildiği dönemden sonraki ekim döneminde verim düşmesi yaşanabilmesinden dolayı tekrar aynı tarlaya ekilmez,
2. Mahsul ekimi gerçekleştiikten sonra sulama miktarı ürünün ihtiyacı kadar olmalıdır. Buna bağlı olarak mahsullerin istenilen özelliklere gelmesi halinde hasat hızlı bir şekilde gerçekleşmelidir. Yanlış sulamalar ve yanlış hasat zamanları mahsullerin verimsizliğine neden olmaktadır,
3. Sıcaklık, nem vb. etkiler nedeniyle uzun süreli depolamaya izin verilmez, bu da hasadın doğru bir şekilde planlanması ve ihtiyaca göre yürütülmesi gerektiğini ortaya çıkarır,
4. Taşıma yapılırken her ürün ayrı araçlarda ve uygun şekilde araç kullanılarak taşınmalıdır. Farklı mahsullerin aynı araçta taşınması istenmemektedir.

Bu nedenle ekim yapılabilecek tarım alanları için uygun tarım planlarının yapılması gereklidir. Bu, ekimi gerçekleşen mahsullerden en yüksek verimi alacak şekilde yani en az mahsul kaybı ile hasat, taşıma ve depolama aşamalarını etkiler. Çünkü kayıplar sonucunda çiftçiler için maliyet doğar. Verimli mahsullerin satışı yapıldığı için verimsiz mahsuller zarardır.

Bahsedilen tüm hususlar, tarım-gıda için entegre üretim, taşıma ve depolama için stratejik ve taktiksel planlama problemini karmaşık ve zorlu bir hale getirmektedir. Bu makalede tarım-gıda endüstrisinde tedarik zinciri ağ tasarımı için stratejik ve taktiksel karar seviyelerinde ekim, hasat, taşıma ve depolama kararlarını kapsamında maliyet minimizasyonu ve hasat miktarı maksimizasyonu problemi ele alınmıştır. Bu çalışma, tarım-gıda endüstrisinin karşılaştığı bütünsel üretim, taşıma ve depolama planlama problemi için kavramsal bir şema sunmakta ve ekim, hasat, taşıma ve depolama kararlarını içeren karma tamsayılı bir programlama modeli önermektedir.

4 Önerilen matematiksel model

4.1 Model varsayımları

1. Her arsa için tahmini verim bellidir. Bu verim ürünün ekim dönemine, olgunlaşma düzeyine ve hasat dönemine bağlıdır,
2. Her ürün için belirli bir hasat yüzdesi vardır. Bu yüzde hasat işlemi sırasında ürünün kaybettiği miktarsal olarak değere bağlıdır,
3. Bölgede ele alınan arsalar kalite anlamında eşdeğerdir. Bu sebeple mahsul verimi, ihtiyaç duyulan araç tipi ve kullanılacak gübre çeşidi arsa boyutundan bağımsız olarak aynıdır,
4. Bir ürünün beklenen verimi kendinden önce ekilen ürüne, gübre çeşidine ve sulama suyu kalitesi bağlı değildir,

5. Beklenen mahsul verimi yalnızca ürünün kendine bağlıdır,
6. Ekim ve hasat dönemlerinde kullanılacak tarımsal araçların kullanım maliyetleri planlama ufkundaki tüm yıllar için eşittir,
7. Planlama ufkundaki tüm yıllar boyunca taşıma araçları maliyetleri sabittir,
8. Tohum maliyetler, gübre maliyeti ve sulama maliyeti planlama ufkundaki tüm yıllar boyunca sabittir,
9. Ekim ve hasat dönemlerindeki işçilik maliyetleri planlama ufkundaki tüm yıllar boyunca sabittir,
10. Yıllık kullanılabilir toplam su miktarı planlama ufkundaki tüm yıllar boyunca sabittir,
11. Her deponun hasat döneminin sonunda talep ettiği bir hasat miktarı oranı vardır,
12. Toprakta depolanmış su yoktur,
13. Hasattan sonra, hasat edilen miktar doğrudan depolara taşınır,
14. Envanter depolarda tutulur. Tarlalarda envanter tutulmaz,
15. Depolara gönderilmesi gereken miktar, depo talebi, her dönem için bilinir ve sabittir ve her zaman diliminin sonunda tedarik edilebilir,
16. Kullanılan taşıma araçları kapasiteleri her dönem için sabittir,
17. Ekim ve hasat işlemleri için ihtiyaç duyulan işgücü saati günlük olarak her dönem için sabittir.

4.2 Model notasyonu

Bu bölümde makale kapsamında oluşturulan matematiksel modele ait notasyon Tablo2’de sunulmaktadır.

Tablo 2. Model notasyonu.

Table 2. Model notation.

İndisler, kümeler

$i \in I$ Ürünler kümesi

$j \in J$ Zaman dilimleri kümesi

$k \in K$ Arsalar kümesi

$t \in T$ Yıllar kümesi

$f \in F$ Depolar kümesi

$h_{it} \subseteq J$ Mahsul i için izin verilen hasat dönemleri

Parametreler

KT_{ik} : i ürününün k arsasına ekimi için gerek duyulan tohum miktarı (ton)

TT_i : i ürününün tohum maliyeti (TL/ton)

KG_{ik} : i ürününün k arsasında ihtiyaç duyduğu gübre miktarı (ton)

G : Gübre maliyeti (TL/ton)

EA_k : k arsasında yapılacak ekim işlemi için ihtiyaç duyulan tarımsal araç kullanımı (saat)

EAM : Ekim işlemi için tarımsal araç kullanma maliyeti (TL/saat)

HA_k : k arsasında yapılacak hasat işlemi için ihtiyaç duyulan tarımsal araç kullanımı (saat)

HAM : Hasat işlemi için tarımsal araç kullanma maliyeti (TL/saat)

CW : Kullanılan su maliyeti (TL/m³)

d_{kf} : k arsasından f deposuna yapılan yolculuk mesafesi (km)

YM : Yapılan yolculuk maliyeti (TL/km)

EI_k : k arsasında yapılacak ekim işlemi için ihtiyaç duyulan işgücü (saat)

HI_k : k arsasında yapılacak hasat işlemi için ihtiyaç duyulan işgücü (saat)

$İM$: İşçilik maliyeti (TL/saat)

S_{it} : t yılında i ürünü ekim başlangıç dönemi, $S_{it} \in J$

os_i : i ürününün olgunlaşma süresi

E_{it} : t yılında i ürünü hasat bitiş dönemi $E_{it} \in J$

PS : Yıllık farklı ekim mevsimi sayısı

AP : Yıllık mevcut arsa sayısı

B_{it} : Yıllık olarak mahsul i'ye atanan minimum arsa sayısı

$Tarla_k$: k arsası boyutu (dönüm)

W_i : i ürününü sulamak için gerekli su miktarı (m^3 /dönüm)

AW : Yıllık toplam kullanılabilir su miktarı (m^3)

MT_i^{min} : Mahsul i için minimum olgunlaşma süresi, $MT_{imin} \subseteq h_{it}$

MT_i^{max} : Mahsul i için maksimum olgunlaşma süresi,

$MT_i^{max} \subseteq h_{it}$

TP_{ik} : k parseli içinde ekilen i mahsulünün optimum verim miktarı (ton/dönüm)

YLD : Mahsulün beklenen hasat yüzdesi (%)

$TCAP$: Mahsullerin taşınması için kullanılan kamyon kapasitesi(ton)

N_k^{max} : k arsasına maksimum yolculuk sayısı

S_{ijf}^{max} : j döneminde i mahsulüne ayrılan f deposu kapasitesi (ton/periyot)

$Oran_f$: Depolara gönderilen hasat oranı (%)

Karar değişkenleri

X_{ijk} : k arsasında j zamanında i ürünü dikilmesi(ikili)

Y_{ikt} : k arsasında t zamanında i ürünün dikili olması (ikili)

Z_{ijk} : k arsasında j zamanında i ürünü hasar etmek (ikili)

H_{ijk} : i ürünün j döneminde k arsasından hasat miktarı(ton)

SQ_{ijkf} : i ürününün j zamanında k arsasından f deposuna gönderilen miktar(ton)

IP_{ijf} : f deposunda j döneminde i ürün miktarı(ton)

NT_{ijkf} : i ürününün j zamanında k arsasından f deposuna yapılan yolculuk sayısı

4.3 Model formülasyonu

$$\begin{aligned} \text{MİN} \quad & \sum_i \sum_j \sum_k TT_i * KT_{ik} * X_{ijk} + \sum_i \sum_j \sum_k G * KG_{ik} * X_{ijk} + \\ & \sum_i \sum_j \sum_k EAM * EA_k * X_{ijk} + \sum_i \sum_j \sum_k HAM * HA_k * Z_{ijk} + \\ & \sum_i \sum_k \sum_t CW * W_i * Tarla_k * Y_{ikt} \\ & + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_f YM * NT_{ijkf} * d_{kf} + \\ & \sum_i \sum_j \sum_k İM * Eİ_k * X_{ijk} + \sum_i \sum_j \sum_k İM * Hİ_k * Z_{ijk} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{MAX} \quad \sum_i \sum_j \sum_k H_{ijk} \quad (2)$$

$$\sum_i X_{ijk} \leq 1 \quad \forall j \in J, k \in K \quad (3)$$

$$\sum_j \sum_k X_{ijk} \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$\sum_k \sum_{j \in J / \{S_{it} \dots E_{it}\}} X_{ijk} = 0 \quad \forall i \in I, t \in T \quad (5)$$

$$Y_{ikt} - X_{is_{ik}} = 0 \quad \forall i \in I, k \in K, t \in T \quad (6)$$

$$\sum_i Y_{ikt} \leq PS \quad \forall k \in K, t \in T \quad (7)$$

$$\sum_i \sum_k Y_{ikt} \leq PS * AP \quad \forall t \in T \quad (8)$$

$$\sum_k Y_{ikt} \geq B_{it} \quad \forall i \in I, t \in T \quad (9)$$

$$\sum_i \sum_k W_i * Tarla_k * Y_{ikt} \leq AW \quad \forall t \in T \quad (10)$$

$$\sum_{MT_i^{min}}^{MT_i^{max}} Z_{ijk} = Y_{ikt} \quad \forall i \in I, k \in K, t \in T \quad (11)$$

$$H_{ijk} = YLD * TP_{ik} * Tarla_k * Z_{ijk} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (12)$$

$$Z_{ijk} = 0 \quad \forall i \in I, k \in K, t \in T, j \in J / MT_i^{min} \dots MT_i^{max} \quad (13)$$

$$H_{ijk} * oran_f = SQ_{ijkf} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, f \in F \quad (14)$$

$$SQ_{ijkf} / TCAP = NT_{ijkf} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, f \in F \quad (15)$$

$$NT_{ijkf} \leq N_k^{max} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, f \in F \quad (16)$$

$$IP_{ijf} = IP_{i(j-1)f} + \sum_k SQ_{ijkf} \quad \forall i \in I, j \in J, f \in F \quad (17)$$

$$IP_{ijf} \leq S_{ijf}^{max} \quad \forall i \in I, j \in J, f \in F, j \in h_{it} \quad (18)$$

4.4 Amaç fonksiyonları

Tüm maliyetlerin toplamının minimum olmasını sağlayan ilk amaç fonksiyonu denklem (1) ile gösterilmektedir. Hasat miktarının en büyüklüğünü dikkate alan amaç fonksiyonunu denklem (2) ile gösterilmektedir.

4.5 Ekim ile ilgili kısıtlar

Kısıt (3), bir dönemde bir arsaya yalnızca bir ürün ekilmesini garanti eder. Kısıt (4), her ürün için tüm zaman dilimlerinde tüm arsalarla yapılan ekim sayısı en az bir olmasını sağlar. Kısıt (5), bir ürünün kendi ekim dönemi dışında ekilmemesini garanti eder. Kısıt (6), bir yıl içerisinde belirli bir zaman diliminde bir ürünün ekiminin yapılması durumunda o yıl için ekim yapıldığını gösterir. Kısıt (7), bir arsaya bir yılda en fazla

belirli sayıda ürünün ekilmesini sağlar. Kısıt (8), bir yılda tüm tarlalara yapılan tüm ürünlerin ekim sayısının yıllık olarak yapılabilecek ekim sayısını geçmemesini sağlar. Kısıt (9), bir ürünün bir yılda ekiminin yapılması gereken minimum arsa sayısını gösterir. Kısıt (10), sulama için gereken su miktarının yıllık kullanılabilir su miktarını aşmamasını sağlar.

4.6 Hasat ile ilgili kısıtlar

Kısıt (11), belirli bir arsaya bir ürün ekilmişse hasadın ekimi yapılan ürün için yalnızca bir kez gerçekleşmesini sağlar. Kısıt (12), hasat miktarının tarla boyutu, tarla ve hasat verimine bağlı olduğunu gösterir. Kısıt (13), bir ürünün hasadının kendi hasat dönemi dışında gerçekleşmemesini garanti eder.

4.7 Taşıma ile ilgili kısıtlar

Kısıt (14), hasat döneminde arsalarla gerçekleşen hasat miktarının belli bir yüzdesinin depolara gönderilen miktara eşit olmasını sağlar. Kısıt (15), tarladan depolara yapılan yolculuk sayısının depolara gönderilecek ürün miktarını karşılayacak şekilde olmasını sağlar. Kısıt (16), taşıma için hasat dönemlerinde tarladan depolara yapılan yolculuk sayısının o tarlaya yapılacak maksimum yolculuk sayısını aşmamasını sağlar.

4.8 Depolama ile ilgili kısıtlar

Kısıt (17), bir depodaki ürün miktarının bir önceki dönem depoda kalan ürün miktarı ile mevcut dönemde hasat edilip depoya gelen ürün miktarı kadar olmasını garanti eder. Kısıt (18), bir dönemde depoda bulunan ürün miktarının depo kapasitesini aşmamasını sağlar.

5 Hesaplamalı analiz

Osmaniye'nin Kadirli ilçesindeki çiftçilerle görüşmeler sonucunda bölge bilgisi alınmıştır. Tarım hakkında genel bilgiler elde edildikten sonra Kadirli İlçe Tarım Müdürlüğü ile görüşülmüştür. Kadirli İlçe Tarım Müdürlüğü'nden alınan veriler ve çiftçilerden alınan bilgiler doğrultusunda veriler oluşturulmuş ve çalışma gerçekleştirilmiştir. Makalenin bu aşamasında kullanılmak üzere matematiksel modelleme için yazılım programları incelenerek LINGO 20.0.12 versiyonu seçilerek Intel Core i5 CPU işlemcili 8 GB RAM'e sahip bilgisayarda çözülmüştür. Makale kapsamında kullanılan veriler Tablo 3 ile Tablo 16 arasında verilmektedir.

Tablo 3. Mahsullerin izin verilen hasat dönemleri.

Table 3. Permissible harvest periods of crops.

h_{it}	Yıl1	Yıl2	Yıl3
Yer Fıstığı	9	9	9
Mısır	8	8	8
Buğday	7	7	7

Tablo 4. Arsalarla ekim için gereken tohum miktarı.

Table 4. The amount of seeds required for sowing on the plot.

KT_{ik} (ton)	Yer Fıstığı	Mısır	Buğday
Tarla1	9.1	2.1	16.1
Tarla2	8.45	1.95	14.95
Tarla3	12.675	2.925	22.425
Tarla4	7.15	1.65	12.65
Tarla5	7.8	1.8	13.8
Tarla6	9.75	2.25	17.25

Tablo 5. Tohum maliyetleri.

Table 5. Seed costs.

Ürünler	TT_i (TL/ton)
Yerfıstığı	80 000
Mısır	35 000
Buğday	80 000

Tablo 6. Ekim ve hasat için tarımsal araç kullanımı.

Table 6. The use of agricultural means for sowing and harvesting.

Tarlalar	EA_k (saat)	HA_k (saat)
Tarla1	28 000	56 000
Tarla2	26 000	52 000
Tarla3	39 000	78 000
Tarla4	22 000	44 000
Tarla5	24 000	48 000
Tarla6	30 000	60 000

Tablo 7. Tarlalar ile depolar arası mesafeler.

Table 7. Distances between fields and warehouses.

d_{kf} (km)	Depo1	Depo2	Depo3
Tarla1	8	15	38
Tarla2	9	13	44
Tarla3	10	18	39
Tarla4	7	10	36
Tarla5	7	16	41
Tarla6	13	12	42

Tablo 8. Arsalar için gereken gübre miktarı.

Table 8. The amount of fertilizer required for the plot.

KG_{ik} (ton)	Yer Fıstığı	Mısır	Buğday
Tarla1	42	70	49
Tarla2	39	65	45.5
Tarla3	58.5	97.5	68.25
Tarla4	33	55	38.5
Tarla5	36	60	42
Tarla6	45	75	52.5

Tablo 9. Ekim ve hasat için ihtiyaç duyulan iş gücü.

Table 9. The labor needed for sowing and harvesting.

	$E\bar{I}_k$ (saat)	$H\bar{I}_k$ (saat)
Tarla1	56 000	28 000
Tarla2	52 000	26 000
Tarla3	78 000	39 000
Tarla4	44 000	22 000
Tarla5	48 000	24 000
Tarla6	60 000	30 000

Tablo 10. Mahsullerin ekim başlangıç, olgunlaşma süreleri ve hasat bitiş dönemleri.

Table 10. Sowing start ripening times and harvest end periods of crops.

		Yer Fıstığı	Mısır	Buğday
S_{it}	Yıl1	4	3	1
	Yıl2	4	3	1
	Yıl3	4	3	1
os_i	Süre(dönem)	5	5	6
E_{it}	Yıl1	9	8	7
	Yıl2	9	8	7
	Yıl3	9	8	7

Tablo 11. Tarla boyutları.

Table 11. Field dimensions.

	$Tarla_k$ (dönüm)
Tarla1	700
Tarla2	650
Tarla3	975
Tarla4	550
Tarla5	600
Tarla6	750

Tablo 12. Depolara gönderilen hasatların yüzdesi.

Table 12. The percentage of harvests sent to warehouses.

	Depo1	Depo2	Depo3
Oran	25	25	50

Tablo 13. Mahsulleri sulamak için gereken su miktarı.

Table 13. The amount of water needed to irrigate crops.

	W_i (m ³ /dönüm)
Yer Fıstığı	12
Mısır	13
Buğday	0

Tablo 14. Mahsullerin minimum ve maksimum olgunlaşma süreleri(dönem).

Table 14. Minimum and maximum ripening periods of crops (period).

	MT_i^{min}	MT_i^{max}
Yer Fıstığı	8	10
Mısır	7	9
Buğday	6	8

Tablo 15. Mahsullerin optimum verim miktarı.

Table 15. The optimum amount of yield of crops.

TP_{ik} (ton)	Yer Fıstığı	Mısır	Buğday
Tarla1	0.5	1.5	0.75
Tarla2	0.5	1.5	0.75
Tarla3	0.5	1.5	0.75
Tarla4	0.5	1.5	0.75
Tarla5	0.5	1.5	0.75
Tarla6	0.5	1.5	0.75

Tablo 16. Diğer maliyetler.

Table 16. Other costs.

Maliyet İsmi	Maliyet Tutarı
G	45.000 TL/ton
EAM	50 TL/saat
HAM	65 TL/saat
YM	20 TL/km
$İM$	44 TL/saat
CW	0.62 TL/m ³

AW: Yıllık toplam kullanılabilir su miktarı (m³)

1 676 000 000 m³

PS: Yıllık farklı ekim mevsimi sayısı.

Yıllık ekim mevsimi sayısı 1'dir.

AP: Yıllık mevcut arsa sayısı

Yıllık mevcut arsa sayısı 6'dir.

B_{it}: t yılında mahsul i'ye atanan minimum arsa sayısı

Yıllık olarak bir mahsule atanan minimum arsa sayısı 2'dir.

S_{ijf}^{max}: j döneminde f tesisine gerekli maksimum mahsul tedariki (ton/periyot)

Her ürün için her depoya 1 200 ton/periyot

YLD: Beklenen hasat yüzdesi (%) %96

S_{it} ve E_{it}: t yılında i ürünü ekim başlangıç ve hasat bitiş dönemi, $S_{it} \in J, E_{it} \in J$

TCAP: Mahsullerin taşınması için kullanılan araç kapasitesi (ton) 10 ton

N_k^{max}: k arsasına maksimum yolculuk sayısı 150

os_i: i ürünün olgunlaşma süresi

MT_i^{min} ve MT_i^{max}: Mahsul i için minimum ve maksimum olgunlaşma süresi, $MT_i^{min} \subseteq h_{it}, MT_i^{max} \subseteq h_{it}$

5.1 Senaryo analizleri

Uygulamamızda, tarım sektörüne ilişkin bazı veriler bulunmaktadır. Bu nedenle bazı değerlerde yapılan değişikliklerin basit bir senaryo analizini yapmak, amaç fonksiyonu olan maliyet minimizasyonundaki değişikliği vurgulamaktadır.

0. Senaryo: Bölgenin alınan veriler ve bilgiler doğrultusunda ideal koşullarda ekim ve hasat işlemlerinin gerçekleştirilmesidir,
1. Senaryo: Küresel ısınma sonucunda değişen hava olaylarından biri olan sel olayının bölgede gerçekleşmesi ve beklenen hasat yüzdesini düşürmesidir,
2. Senaryo: Ülkemizin jeolojik yapısı ve jeodinamik konumundan dolayı çok sayıda aktif fay hattı bulunmaktadır. Bu nedenle ülkemiz deprem bölgesi olarak nitelendirilmektedir. Deprem olayının bölgede gerçekleşmesi ve beklenen hasat yüzdesini düşürmesidir,
3. Senaryo: Her mahsulün kullanılan tohum ve gübre kalitesine bağlı olarak verimi değişmektedir. Yer fıstığında farklı bir tohum kullanılarak optimum verim miktarının düşmesidir,
4. Senaryo: Her mahsulün kullanılan tohum ve gübre kalitesine bağlı olarak verimi değişmektedir. Mısırdaki farklı bir tohum ve gübre kullanılarak optimum verim miktarının artmasıdır,
5. Senaryo: Her mahsulün kullanılan tohum ve gübre kalitesine bağlı olarak verimi değişmektedir. Buğdayda farklı bir gübre kullanılarak optimum verim miktarının artmasıdır,
6. Senaryo: Rutubet oranı mahsulün olgunlaşma süresini belirlemektedir. Yer fıstığının nem oranının ideal durumdan daha düşük olduğunda hasat döneminin bir önceki dönemde gerçekleşmesidir,
7. Senaryo: Rutubet oranı mahsulün olgunlaşma süresini belirlemektedir. Yer fıstığının nem oranının ideal durumdan daha yüksek olduğunda hasat döneminin bir sonraki dönemde gerçekleşmesidir,
8. Senaryo: Rutubet oranı mahsulün olgunlaşma süresini belirlemektedir. Mısırdaki nem oranının ideal durumdan daha düşük olduğunda hasat döneminin bir önceki dönemde gerçekleşmesidir,
9. Senaryo: Rutubet oranı mahsulün olgunlaşma süresini belirlemektedir. Mısırdaki nem oranının ideal durumdan daha yüksek olduğunda hasat döneminin bir sonraki dönemde gerçekleşmesidir,
10. Senaryo: Rutubet oranı mahsulün olgunlaşma süresini belirlemektedir. Buğdayın nem oranının ideal durumdan daha düşük olduğunda hasat döneminin bir önceki dönemde gerçekleşmesidir,
11. Senaryo: Rutubet oranı mahsulün olgunlaşma süresini belirlemektedir. Buğdayın nem oranının ideal durumdan daha yüksek olduğunda hasat döneminin bir sonraki dönemde gerçekleşmesidir,
12. Senaryo: İnsanlar sürekli öğrenen canlılardır. Bilgi ve becerilerinin artması isteklerini etkilemekte ve bu durumda teknolojik gelişmelere yansımaktadır. Tarım araçlarında yapılan iyileştirmeler ile ekim işçilik saatleri ve tarımsal araç kullanım saatlerinin azalmasıdır,
13. Senaryo: Tarım araçlarında yapılan iyileştirmeler ile hasat işçilik saatleri ve tarımsal araç kullanım saatlerinin azalmasıdır.

5.2 Senaryoların uygulaması ve sonuçlarının analizi

0.Senaryo (Ana Durum): Kadirli İlçe Tarım Müdürlüğü'nden ve çiftçilerden alınan veriler kullanılarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Ana durumda maliyet 213 987 900 TL'dir. Ekilen ürünlerin ekim periyotları Şekil 1'deki gibidir.

TARLA/YIL	YIL1												YIL2												YIL3											
DÖNEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TARLA1				M											M																					
TARLA2			B												B																					
TARLA3				YF											YF																					YF
TARLA4				M											M																					M
TARLA5				B											B																					B
TARLA6				YF											YF																				YF	

Şekil 1. Ana durum 0. Senaryo sonucu.

Figure 1. The main state is 0. Scenario result.

1. Senaryo: Küresel ısınma sonucunda dünyada ve ülkemizde bazı hava değişiklikleri gözlenmeye başlanmıştır. Bunlardan birisi de bölgede gerçekleşebilme ihtimali olan sel olayıdır. Bu 1. durumda beklenen hasat yüzdesi %96 olduğu durumdan %85 olduğu duruma geldiğinde maliyet 5 400 TL azalmıştır. Ekilen ürünlerin ekim periyotları Şekil 2'deki gibidir.

TARLA/VIL	YIL1												YIL2												YIL3											
DÖNEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TARLA1					YF												YF																			
TARLA2				M														YF													M					
TARLA3					YF													YF															YF			
TARLA4		B											B																	B						
TARLA5		B											B																B							
TARLA6			M											M																		M				

Şekil 2. 1.Senaryo beklenen hasat yüzdesi %85 sonucu.

Figure 2. Scenario 1 is the result of 85% expected harvest percentage.

2. Senaryo: Ülkemizin, karmaşık jeolojik yapısı ve jeodinamik konumundan dolayı çok sayıda aktif fay hattı bulunmaktadır. Bu nedenle ülkemiz deprem bölgesi olarak nitelendirilmektedir. Bu yıl yaşadığımız deprem felaketi sonucunda bu çalışmada depremin tarım-gıda sektörüne etkileri düşünülmüş ve olası etkileri düşünülerek incelenmiştir. Bu doğrultuda insanların önceliklerinin değişmesi diğer sektörlerde olduğu gibi tarım-gıda sektörünü de etkilemektedir. Bu doğrultuda 2. durumda beklenen hasat yüzdesinin %96 olduğu durumdan %70 olduğu duruma geldiğinde maliyet 99 100 TL azalmıştır. Ekilen ürünlerin ekim periyotları Şekil 3'teki gibidir.

[illegible]

Şekil 3. 2.Senaryo beklenen hasat yüzdesi %70 sonucu.

Figure 3. Scenario 2 is the result of 70% expected harvest percentage.

3. Senaryo: Her mahsulün kullanılan tohum ve gübre kalitesine bağlı olarak verimi değişmektedir. Ana çalışmada yer fıstığı için optimum verim miktarı 0.5ton olarak ele alınmıştır. Yer fıstığında aynı maliyete sahip farklı bir tohum kullanılarak tohum kalitesi düşürüldüğünde optimum verim miktarı 0.4 tona düşmüştür. Bu 3. durumda optimum verim miktarı 0.5 tondan 0.4 ton olduğu duruma geldiğinde maliyet 76 800 TL artmıştır. Ekilen ürünlerin ekim periyotları Şekil 4'teki gibidir.

[illegible]

Şekil 4. 3.Senaryo yer fıstığının optimum verim miktarı değişimi sonucu.

Figure 4. Scenario 3 is the result of the change in the optimum yield amount of peanuts.

4. Senaryo: Ana çalışmada mısır için optimum verim miktarı 1.5 ton olarak ele alınmıştır. Mısırdaki aynı maliyete sahip farklı bir tohum ve gübre kullanılarak tohum ile gübre kalitesi artırıldığında optimum verim miktarı 1.7 tona çıkmıştır. Bu 4. durumda optimum verim miktarı 1.5 tondan 1.7 ton olduğu durumda geldiğinde maliyet 165 600 TL artmıştır. Ekilen ürünlerin ekim periyotları Şekil 5'teki gibidir.

[illegible]

Şekil 5. 4.Senaryo mısırın optimum verim miktarı değişimi sonucu.

Figure 5. Scenario 4 is the result of the change in the optimum yield amount of peanuts.

5. Senaryo: Ana çalışmada buğday için optimum verim miktarı ise 0.75 ton olarak ele alınmıştır. Buğday aynı maliyete sahip farklı bir gübre kullanılarak gübre kalitesi artırıldığında optimum verim miktarı 0.9 tona çıkmıştır. Bu 5. durumda optimum verim miktarı 0.75 tondan 0.9 ton olduğu duruma geldiğinde maliyet 302 400 TL artmıştır. Ekilen ürünlerin ekim periyotları Şekil 6'daki gibidir.

TABLE A	YIL1												YIL2												YIL3											
DÖNEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TARL A1		B												B													B									
TARL A2			YF												YF														YF							
TARL A3				B												B														YF						
TARL A4					B												B														B					
TARL A5						M												M														M				
TARL A6							M												M														M			

Şekil 6. 5.Senaryo buğdayın optimum verim miktarı değişimi sonucu.

Figure 6. Scenario 5 is the result of a change in the optimum yield amount of wheat.

6. Senaryo: Yer fıstığında rutubet oranı ölçüm yapılarak kontrol edilmektedir. Yer fıstığında nem oranının kabuklu olarak %9 seviyesinde olduğu zaman hasat için en uygun zamandır. Bu nedenle yer fıstığında %9 nem oranı ölçümler ve gözlemler sayesinde tespit edildiğinde hasat işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu oran her zaman yakalanamaya bilmektedir. %9 altına düştüğü zaman hasat işlemi hızlı bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu durumda hasat erken gerçekleşmekte yani ideal zamanı olan 9. dönemde değil 8. dönemde hasat işlemi yapılmaktadır. Hasat işlemi 8.dönemde gerçekleştirildiği maliyet 43500 TL artmıştır. Ekilen ürünlerin ekim periyotları Şekil 7'deki gibidir.

[illegible]

Şekil 7. 6.Senaryo yer fıstığı 8. Dönem hasat sonucu.

Figure 7. Scenario 6 is the result of the 8th period harvest of peanuts.

7. Senaryo: Bir diğer durum ise nem oranının %9 oranının üstüne çıkmasıdır. Bu koşullarda mahsul hemen depolanamayacağı için mahsul nem oranının %9 olması beklenmektedir. Mahsul tarlada güneşe bırakılarak kurutulması gerekmekte ve beklenen süre içerisinde ölçüm sayıları artırılmaktadır. Bu durumda ideal zaman olan 9. dönemde değil 10. dönemde hasat işlemi yapılmaktadır. Hasat

işlemi 10.dönemde gerçekleştiğinde maliyet 43500 TL artmıştır. Ekilen ürünlerin ekim periyotları Şekil 8'deki gibidir.

TARLA VII	YIL1							YIL2								YIL3								
DÖNEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TARLA1						YF												YF						
TARLA2		M											M							M				
TARLA3					YF										YF									YF
TARLA4	B										B								B					
TARLA5	B										B								B					
TARLA6		M									M									M				

Şekil 8. 7.Senaryo yer fıstığı 10. dönem hasat sonucu.

Figure 8. Scenario 7 is the result of the 10th period harvest of peanuts.

8. Senaryo: Mısırdan nem oranı ölçüm yapılarak kontrol edilmektedir. Mısırdan nem oranının (halk ve çiftçiler arasında tansiyon diye bilinen) %15 seviyesinde olduğu zaman hasat için en uygun zamandır. Bu nedenle mısırdan %15 nem oranı ölçümler ve gözlemler sayesinde tespit edildiğinde hasat işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu oran her zaman yakalanamaya bilmektedir. %15 altına düştüğü zaman hasat işlemi hızlı bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu durumda hasat erken gerçekleşmekte yani ideal zamanı olan 8. dönemde değil 7. dönemde hasat işlemi yapılmaktadır. Hasat işlemi 7.dönemde gerçekleştiğinde maliyet 95100 TL artmıştır. Ekilen ürünlerin ekim periyotları Şekil 9'daki gibidir.

TARL A YIL	YIL1												YIL2												YIL3											
DONEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TARL A1				M												M													M							
TARL A2				M												M													M							
TARL A3					YF												YF														YF					
TARL A4			B												B														B							
TARL A5				B												B														B						
TARL A6					YF												YF															YF				

Şekil 9. 8.Senaryo mısırın 7. dönem hasat sonucu.

Figure 9. Scenario 8 is the result of the 7th period harvest of corn.

9. Senaryo: Bir diğer durum ise nem oranının %15 oranının üstüne çıkmasıdır. Bu koşullarda mahsul hemen depolanamayacağı için mahsul nem oranının %15 olması beklenmektedir. Mahsul tarlada güneşe bırakılarak kurutulması gerekmekte ve beklenen süre içerisinde ölçüm sayıları arttırılmaktadır. Bu durumda ideal zaman olan 8. dönemde değil 9. dönemde hasat işlemi yapılmaktadır. Hasat işlemi 9. dönemde gerçekleştiğinde maliyet 95100 TL artmıştır. Ekilen ürünlerin ekim periyotları Şekil 10'daki gibidir.

[illegible]

Şekil 10. 9.Senaryo mısırın 9. dönem hasat sonucu.

Figure 10. Scenario 9 Harvest result of the corn in the 9th period.

10. Senaryo: Buğdayda rutubet oranı ölçüm yapılarak kontrol edilmektedir. Tanedeki nem oranı %13.5 seviyesinde olduğu zaman hasat için en uygun zamandır. Bu nem oranında bitkiler tamamen altın sarısı renk almakta ve taneler sertleşmektedir. Bu nedenle buğday tanelerinde %13.5 nem oranı ölçümler ve gözlemler sayesinde tespit edildiğinde hasat işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu oran her zaman yakalanamaya bilmektedir. %13.5 altına düştüğü zaman hasat işlemi hızlı bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu durumda hasat erken gerçekleşmekte yani ideal zamanı olan 7. dönemde değil 6. dönemde hasat işlemi yapılmaktadır. Hasat işlemi 6.dönemde

gerçekleştğinde maliyet 138500 TL azalmıştır. Ekilen ürünlerin ekim periyotları Şekil 11'deki gibidir.

[illegible]

Şekil 11. 10.senaryo buğdayın 6. dönem hasat sonucu.

Figure 11. Scenario 10 is the result of the 6th period harvest of wheat.

11. Senaryo: Bir diğer durum ise nem oranının %13.5 oranının üstüne çıkmasıdır. Bu koşullarda mahsul hemen depolanamayacağı için mahsul nem oranının %13.5 olması beklenmektedir. Mahsul tarlada güneşe bırakılarak kurutulması gerekmekte ve beklenen süre içerisinde ölçüm sayıları arttırılmaktadır. Bu durumda ideal zaman olan 7. dönemde değil 8. dönemde hasat işlemi yapılmaktadır. Hasat işlemi 8. dönemde gerçekleştiğinde maliyet 138500 TL azalmıştır. Ekilen ürünlerin ekim periyotları Şekil 12'deki gibidir.

TARLA\YIL	YIL1												YIL2												YIL3											
DÖNEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TARLA1						YF													YF																	YF
TARLA2		B												B															B							
TARLA3					YF										YF															YF						
TARLA4			M											M																M						
TARLA5		B												E															B							
TARLA6			M											M																	M					

Şekil 12. 11.senaryo buğdayın 8. dönem hasat sonucu.

Figure 12. Scenario 11 is the 8th period harvest result of wheat.

12.Senaryo ve 13. Senaryo: İnsanlar sürekli öğrenen canlılardır. Bu nedenle bilgi ve becerilerini arttırdığı zaman çalışmalarını daha verimli şekilde gerçekleştirebilmektedir. Sürekli gelişen teknoloji sayesinde dünyada ve ülkemizde tarım fuarları gerçekleşmekte ve bu fuarlarda son teknoloji tarım araç-gereçleri tanıtılmaktadır. Bu çalışmalar doğrultusunda ekim işçilik saatleri, ekim araç kullanım saatleri ve hasat işçilik saatleri, hasat araç kullanım saatlerinde değişme olmuştur. Alınan aracı öğrenme zamanına bağlı olarak ilk yıl düşük bir oranda saatlerde azalmalar gözlenirken sonraki yıllarda oran artarak azalmalar yaşanmıştır.

Ekim işleminde normal durumda dönüm başına ihtiyaç duyulan işçilik saatleri 80 sa., 1. yıl 77 sa., 2. yıl 64 sa. ve 3. yıl 40 sa. olarak değişmiştir. Ekim işleminde normal durumda dönüm başına ihtiyaç duyulan araç kullanım saatleri 40 saat, 1.yıl 39 saat, 2. yıl 35 sa., ve 3.yıl 26 sa. olarak değişmiştir. Ekim işçilik saatleri ve ekim araç kullanım saatlerinin değişimi olduğu durumda maliyet 15180700 TL azalmıştır. Ekilen ürünlerin ekim periyotları Şekil 13'teki gibidir.

TARL A \ YIL	YIL1												YIL2												YIL3											
DÖNEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TARL A1		B												B													B									
TARL A2															M														M							
TARL A3					YF											YF														YF						
TARL A4			B												B													B								
TARL A5					M											M													M							
TARL A6				YF												YF														YF						

Şekil 13. 12.Senaryo ekim süreci için öğrenme eğrisi analizi sonucu.

Figure 13. Scenario 12 the result of the learning curve analysis for the sowing process.

Hasat işleminde normal durumda dönüm başına ihtiyaç duyulan işçilik saatleri 40 sa., 1. yıl 36 sa., 2. yıl 27 sa. ve 3. yıl 15 sa. olarak değişmiştir. Hasat işleminde normal durumda dönüm başına ihtiyaç duyulan araç kullanım saatleri 80 sa.,

1. yıl 75 sa., 2. yıl 62 sa. ve 3. yıl 45 sa. olarak değişmiştir. Hasat işçilik saatleri ve hasat araç kullanım saatlerinin değişimi olduğu durumda maliyet 23181100 TL azalmıştır. Ekilen ürünlerin ekim periyotları Şekil 14'teki gibidir.

TARLA/YIL	YIL1												YIL2												YIL3												
DÖNEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
TARLA1						M																														M	
TARLA2						M																														M	
TARLA3						YF																														YF	
TARLA4						B																														B	
TARLA5						B																														B	
TARLA6						YF																														YF	

Şekil 14. 13.Senaryo hasat süreci için öğrenme eğrisi analizi sonucu.

Figure 14. Scenario 13 the result of the learning curve analysis for the harvesting process.

Analizi yapılan senaryolar için çıkan maliyet sonuçları Şekil 15'te verilmiştir.

5.3 Çok amaçlı matematiksel programlama (Karma Tamsayılı Programlama)

5.3.1 Artırılmış epsilon kısıt yöntemi uygulaması

Makale kapsamında oluşturulan tarım-gıda tedarik zinciri ağ tasarımı üzerine ekim, hasat, taşıma ve depolama kararları içeren model başlangıçta minimum maliyet amacı ile çözülmüştür. Bu amacın yanında çiftçinin planlama ufkı boyunca elde edeceği hasat miktarının maksimum olması da oldukça önem taşımaktadır. Tohum, gübre, işçilik, tarımsal araç kullanımı, taşıma gibi maliyetlerin minimum olması amacı sağlanırken bununla birlikte maksimum hasat miktarı amacı çözümleri için artırılmış epsilon kısıt yöntemi kullanılmıştır. Epsilon kısıt yönteminde, diğer amaç fonksiyonları kısıt olarak kullanılarak amaç fonksiyonlarından birini optimize edilmektedir [42]. Bu durum aşağıdaki gösterilmiştir.

f_1 : Minimum maliyet amaç fonksiyonu.

f_2 : Maksimum hasat amaç fonksiyonu.

$$\begin{aligned} \max f_1(x) \\ \text{st. } f_2(x) \geq e_2 \\ x \in S \text{ (S: Olurlu çözüm uzayı)} \end{aligned} \quad (19)$$

Bu adımda yukarıda görülen formülasyonun uygulanabilmesi için öncelikle kısıt yazılması planlanan amaç fonksiyonu (f_2) için model çalıştırılmış ve kısıtlama için kullanılacak e_2 değeri elde edilmiştir. Bu değer 12 024 olarak kaydedilmiştir. Maliyet amaç fonksiyonu (f_1) için hasat amaç fonksiyonu (f_2) kısıtlara eklenerek model çalıştırılmıştır. Sonuçlar $f_1 = 215\ 685\ 300$ TL ve $f_2 = 12\ 024$ ton olarak elde edilmiştir.

Epsilon kısıt yönteminin göre zayıf optimal çözümlerin türetilmesini önleyen ve gereksiz tekrardan kaçınarak tüm süreci hızlandıran bir versiyonu olan artırılmış epsilon kısıt yöntemi ile uygulamaya devam edilmiştir. Bu yöntemde öncelikle amaç fonksiyonlarının bireysel optimizasyonundan elde edilen sonuçları içeren ödünleşim (pay-off) matrisi oluşturulmuştur. Bu matris Tablo 17'de görülmektedir.

Tablo 17. Ödünleşim matrisi.

Table 17. Pay-Off matrix.

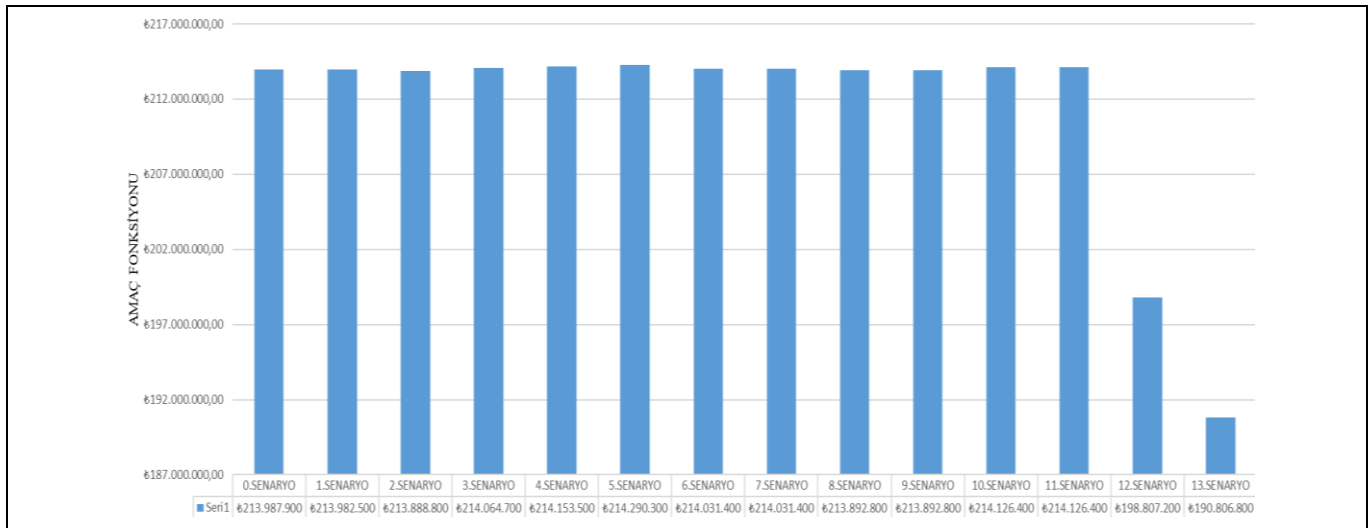
	f_1	f_2
$\min f_1$	213,900,500	10800
$\max f_2$	215,685,300	12024

Hasat maksimizasyonu olan f_2 amaç fonksiyonu için aralık değeri pay-off matrisi kullanılarak belirlenmiştir. Bu aralık 10 eşit aralığa bölünerek değerleri e_2 elde edilmiştir. Elde edilen bu e_2 değerleri kullanılarak kısıtlara eklenen amaç fonksiyonu f_2 her değer için kısıtlanarak tek tek çalıştırılmıştır. Sonuçlar Tablo 18'de görülmektedir.

Tablo 18. Aralık değerleri kullanılarak elde edilen çözümler.

Table 18. Solutions obtained by using range values.

e_2 Değerleri	f_2 (ton)	f_1 (TL)
10800	10800	213 900 500
10922.4	10944	214 038 100
11044.8	11088	214 170 400
11167.2	11592	214 658 400
11289.6	11592	214 658 400
11412	11592	214 658 400
11534.4	11592	214 658 400
11656.8	11736	214 790 700
11779.2	11880	214 928 400
11901.6	11916	215 118 400
12024	12024	215 685 300



Şekil 15. Senaryo analizlerinin maliyet sonuçları.

Figure 15. Cost consequences of scenario analyses.

Elde edilen çözümlerden bazıları verimli değil zayıf verimli çözümlerdir. Burada oluşan belirsizliğin önüne geçmek için uygun gevşeklik ve fazlalık (slack ve surplus) değişkenleri eklenerek buradaki eşitsizliklerin eşitlik haline getirilmesi önerilmiştir [42]. Bu adımda eklenen gevşeklik ve fazlalık (slack ve surplus) değişkenleri amaç fonksiyonuna epsilon katsayısı ile çarpılarak eklenmiştir. Epsilon katsayısı 0.01 ile 0.000001 arasında bir değerdir. Çözülen model ve sonuçlar Tablo 19'daki gibidir.

$$\begin{aligned} \max f_1(x) + \epsilon s_2 \\ \text{st. } f_2(x) - s_2 = e_2 \\ x \in S \end{aligned} \quad (20)$$

Tablo 19. Gevşeklik ve fazlalık değişkenleri ile elde edilen sonuçlar.

Table 19. Results obtained with slack and surplus variables.

e_2	s_2	f_2	f_1
10800	0	10800	213 900 500
10922.4	21.6	10944	214 038 100
11044.8	43.2	11088	214 170 400
11167.2	424.8	11592	214 658 400
11289.6	302.4	11592	214 658 400
11412	180	11592	214 658 400
11534.4	57.6	11592	214 658 400
11656.8	79.2	11736	214 790 700
11779.2	100.8	11880	214 928 400
11901.6	14.4	11916	215 118 400
12024	0	12024	215 685 300

Bu çözümle oluşabilecek herhangi bir ölçeklendirme (scaling) probleminden kaçınmak için amaç fonksiyonuna eklenen gevşeklik ve fazlalık (slack ve surplus) değişkenleri amaç fonksiyonuna eklenirken ait olduğu amaç fonksiyonunun aralık değerine bölünerek eklenmiştir [42]. Bu durumda oluşan model ve sonuçlar Tablo 20'deki gibidir.

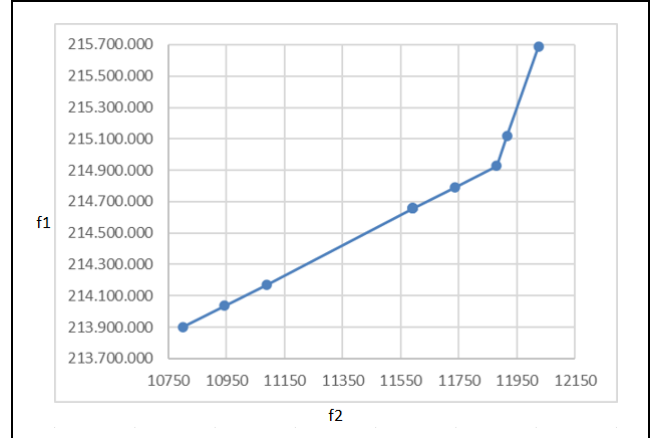
$$\begin{aligned} \max f_1(x) + \epsilon s_2 / r_2 \\ \text{st. } f_2(x) - s_2 = e_2 \\ x \in S \end{aligned} \quad (21)$$

Tablo 20. Aralık, gevşeklik ve fazlalık değişkenleri ile elde edilen sonuçlar.

Table 20. Results obtained with range, slack and surplus variables.

e_2	r_2	s_2	f_2	f_1
10800	1224	0	10800	213 900 500
10922.4	1224	21.6	10944	214 038 100
11044.8	1224	43.2	11088	214 170 400
11167.2	1224	424.8	11592	214 658 400
11289.6	1224	302.4	11592	214 658 400
11412	1224	180	11592	214 658 400
11534.4	1224	57.6	11592	214 658 400
11656.8	1224	79.2	11736	214 790 700
11779.2	1224	100.8	11880	214 928 400
11901.6	1224	14.4	11916	215 118 400
12024	1224	0	12024	215 685 300

Artırılmış epsilon kısıt yöntemi uygulanarak elde edilen sonuçlar Şekil 16'da görülmektedir.



Şekil 16. Pareto-Optimal çözümler.

Figure 16. Pareto-Optimal solutions.

6 Sonuç

Bu makalede, tarım-gıda tedarik zinciri planlama problemi ele alınmıştır. Çukurova Bölgesi'nde bulunan Osmaniye'nin Kadirli İlçesi'ndeki tarım arazilerinde yetişen ürünlerden ana ürün olarak bilinen yer fıstığı, mısır ve buğday için uygulama gerçekleştirilmiştir. Bölgeden elde edilen veriler ve bilgiler doğrultusunda kısıtlara karar verilmiştir. Ekim, hasat, taşıma ve depolama kısıtlarını içeren KTP modeli geliştirilmiştir. Amaç maliyet minimizasyonudur.

Tarımda çevre koşullarının, doğal afetlerin, hasat dönemleri ve ürünlerin verim miktarı gibi faktörlerin sürece etkisi düşünülerek farklı olaylar için senaryo analizleri yapılmış ve maliyete etkileri incelenmiştir. Bu analizlere ek olarak amaç fonksiyonu olan maliyet minimizasyonuna bir amaç fonksiyonu daha eklenmiştir. Hasat miktarının maksimum seviyede olması ikinci amaç fonksiyonu olarak belirlenmiş ve problem artırılmış epsilon kısıt yöntemi kullanılarak çözülmüştür.

Bu makale ile tarımın her aşamasının çok önemli bir süreç olduğu görülmektedir. Yapılan her işlem veya uygulamada bir sonraki adım etkilenmekte ve bu da mahsul veriminde değişikliklere neden olmaktadır. Yapılan her işlem ve işlemlerin sonucunda süreç kontrol edilmelidir. Hava olayları, doğal afetler gibi çevresel olaylara bağlı olan tarım sürecinde beklenen hasat yüzdesi bu olaylardan etkilenerek değişmektedir. Bu değişimin analizi yapılarak hangi faktörlerin nasıl sonuçlar doğuracağı fark edilmiştir.

Gelecek çalışmalarda tarım-gıda endüstrisinde yapay zekâ ve dijital teknolojilerin kullanımı konularına odaklanılacaktır.

7 Conclusions

In this article, an agri-food supply chain problem is discussed. There are many activities in the agri-food supply chain, such as planting and growing the crop, harvesting the crops after they mature, and delivering the crop to the demand points.

The application was carried out for peanuts, corn, and wheat, which are known as the main products grown in the agricultural lands in the Kadirli District of Osmaniye, located in the Çukurova Region. Constraints were decided in line with the data and information obtained from the region. A mathematical model that consists sowing, harvesting, transportation, and storage constraints is developed.

The problem is formulated as an MILP. The aim is to minimize total cost. Considering the effects of factors such as environmental conditions, natural disasters, harvest periods, and yield of products in agriculture, scenario analyses were applied for different events, and their effects on costs were investigated. In addition to these analyses, another objective function has been added to the objective function of cost minimization. Maximum harvest amount was determined as the second objective function and the model was solved using the augmented epsilon constraint method. With this article, it is seen that every stage of agriculture is a very important process. Each operation or application affects the next step, which causes changes in crop yield. The process must be controlled as a result of every transaction and operation performed. The expected harvest percentage in the agricultural process, which depends on environmental events such as weather events and natural disasters, changes by being affected by these events. By analyzing this change, it was realized which factors would produce what results.

Future studies will focus on the use of artificial intelligence and digital technologies in agri-food industry.

8 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmanın fikir oluşması, literatür taraması, matematiksel model oluşturulması ve senaryo analizi aşamalarında Bahtınur AKÇAY ve Ceren KÜÇÜKOĞLU'nun eşit katkısı mevcuttur. Veri toplama aşamasında Ceren KÜÇÜKOĞLU ve yanında yardımcı olarak Bahtınur AKÇAY katkılarını sunmuştur. Epsilon kısıt yöntemi uygulanması aşamasında Bahtınur AKÇAY katkılarını sunmuştur. Bilge BİLGİN gerçekleştirilen çalışmanın özellikle fikir aşamasında olmakla birlikte diğer tüm aşamalarda katkılarını sunmuştur.

9 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur".
"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır".

10 Kaynaklar

- [1] Stephens EC, Jones AD, Parsons D. "Agricultural systems research and global food security in the 21st century: An overview and roadmap for future opportunities". *Agricultural Systems*, 163, 1-6, 2018.
- [2] Salman M, Pek E, Fereres E, García-Vila M. 2020. "Policy guide to improve water productivity in small-scale agriculture-The case of Burkina Faso, Morocco and Uganda". Rome, Italy, FAO, 2020.
- [3] Fikry I, Gheith M, Eltawil A. "An integrated production-logistics-crop rotation planning model for sugar beet supply chains". *Computers & Industrial Engineering*, 157, 107-300, 2021.
- [4] Munhoz JR, Morabito R. "Optimization approaches to support decision making in the production planning of a citrus company: A Brazilian case study". *Computers and Electronics in Agriculture*, 107, 45-57, 2014.
- [5] Costa AM, Santos LMR, Alem DJ, Santos RHS. "Sustainable vegetable crop supply problem with perishable stocks". *Annals of Operations Research*, 219, 265-283, 2014.
- [6] Wishon C, Villalobos JR, Mason N, Flores H, Lujan G. "Use of MIP for planning temporary immigrant farm labor force". *International Journal of Production Economics*, 170, 25-33, 2015.
- [7] Ghezavati VR, Hooshyar S, Tavakkoli-Moghaddam R. "A Benders' decomposition algorithm for optimizing distribution of perishable products considering postharvest biological behavior in agri-food supply chain: a case study of tomato". *Central European Journal of Operations Research*, 25, 29-54, 2017.
- [8] Reis SA, Leal J E. "A deterministic mathematical model to support temporal and spatial decisions of the soybean supply chain". *Journal of Transport Geography*, 43, 48-58, 2015.
- [9] Thuankaewsing S, Khamjan S, Piewthongngam K, Pathumnakul S. "Harvest scheduling algorithm to equalize supplier benefits: A case study from the Thai sugar cane industry". *Computers and Electronics in Agriculture*, 110, 42-55, 2015.
- [10] Silva AF, Marins FAS, Dias EX. "Addressing uncertainty in sugarcane harvest planning through revised multi-choice goal programming model". *Applied Mathematical Modelling*, 39, 5540-5558, 2015.
- [11] Rocco CD, Morabito R. "Production and logistics planning in the tomato processing industry: A conceptual scheme and mathematical model". *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 763-774, 2016.
- [12] An K, Ouyang Y. "Robust grain supply chain design considering post-harvest loss and harvest timing equilibrium". *Transportation Research Part E*, 88, 110-128, 2016.
- [13] Rocco CD, Morabito R. "Robust optimisation approach applied to the analysis of production/logistics and crop planning in the tomato processing industry". *International Journal of Production Research*, 54(19), 5842-5861, 2016.
- [14] Accorsi R, Cholette S, Manzini R, Pini C, Penazzi S. "The land-network problem: ecosystem carbon balance in planning sustainable agro-food supply chains". *Journal of Cleaner Production*, 112, 158-171, 2016.
- [15] Catalá LP, Moreno MS, Blanco AM, Bandoni JA. "A bi-objective optimization model for tactical planning in the pome fruit industry supply chain". *Computers and Electronics in Agriculture*, 130, 128-141, 2016.
- [16] Herrera-Cáceres C, Pérez-Galarce F, Álvarez-Miranda E, Candia-Véjar A. "Optimization of the harvest planning in the olive oil production: A case study in Chile". *Computers and Electronics in Agriculture*, 141, 147-159, 2017.
- [17] Varsei M, Polyakovskiy S. "Sustainable supply chain network design: A case of the wine industry in Australia". *Omega*, 66, 236-247, 2017.
- [18] Caixeta-Filho JV. "Orange harvesting scheduling management: a case study". *Journal of the Operational Research Society*, 57(6), 637-642, 2006.
- [19] Grillo H, Alemany MME, Ortiz A, Fuertes-Miquel VS. "Mathematical modelling of the order-promising process for fruit supply chains considering the perishability and subtypes of products". *Applied Mathematical Modelling*, 49, 255-278, 2017.
- [20] Gholamian MR, Taghazadeh AH. "Integrated network design of wheat supply chain: A real case of Iran". *Computers and Electronics in Agriculture*, 140, 139-147, 2017.
- [21] Miranda-Ackerman MA, Azzaro-Pantel C, Aguilar-Lasserre AA. "A green supply chain network design framework for the processed food industry: Application to the orange juice agrofood cluster". *Computers & Industrial Engineering*, 109, 369-389, 2017.

- [22] Basso F, Varas M. "A MIP formulation and a heuristic solution approach for the bottling scheduling problem in the wine industry". *Computers & Industrial Engineering*, 105, 136-145, 2017.
- [23] Allaoui H, Guo Y, Choudhary A, Bloemhof J. "Sustainable agro-food supply chain design using two-stage hybrid multi-objective decision-making approach". *Computers and Operations Research*, 89, 369-384, 2018.
- [24] Varas M, Basso F, Maturana S, Osorio D, Pezoa R. "A multi-objective approach for supporting wine grape harvest operations". *Computers & Industrial Engineering*, 145, 106497, 2020.
- [25] Cheraghalipour A, Paydar MM, Hajiaghahi-Keshteli M. "A bi-objective optimization for citrus closed-loop supply chain using Pareto-based algorithms". *Applied Soft Computing*, 69, 33-59, 2018.
- [26] Flores H, Villalobos JR. "A modeling framework for the strategic design of local fresh-food systems". *Agricultural Systems*, 161, 1-15, 2018.
- [27] Sazvar Z, Rahmani M, Govindan K. "A sustainable supply chain for organic, conventional agro-food products: The role of demand substitution, climate change and public health". *Journal of Cleaner Production*, 194, 564-583, 2018.
- [28] Solano NEC, Llinás GAG, Montoya-Torres JR. "Towards the integration of lean principles and optimization for agricultural production systems: a conceptual review proposition". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100, 453-464, 2020.
- [29] Jerić SV, Šorić K. "Multi-objective optimization for the integrated supply and production planning in olive oil industry". *Entrepreneurship and Economic Issues*, 32(1), 129-138, 2019.
- [30] Junqueira RÁR, Morabito R. "Modeling and solving a sugarcane harvest front scheduling problem". *International Journal of Production Economics*, 213, 150-160, 2019.
- [31] Suthar RG, Barrera JI, Judge J, Brecht JK, Pelletier W, Muneepeerakul R. "Modeling postharvest loss and water and energy use in Florida tomato operations". *Postharvest Biology and Technology*, 153, 61-68, 2019.
- [32] Jonkmana J, Barbosa-Póvoa AP, Bloemhof JM. "Integrating harvesting decisions in the design of agro-food supply chains". *European Journal of Operational Research*, 276, 247-258, 2019.
- [33] He P, Li J. "The two-echelon multi-trip vehicle routing problem with dynamic satellites for crop harvesting and transportation". *Applied Soft Computing Journal*, 77, 387-398, 2019.
- [34] Banasik A, Kanellopoulos A, Bloemhof-Ruwaard JM, Claassen G DH. "Accounting for uncertainty in eco-efficient agri-food supply chains: A case study for mushroom production planning". *Journal of Cleaner Production*, 216, 249-256, 2019.
- [35] Roghanian E, Cheraghalipour A. "Addressing a set of meta-heuristics to solve a multi-objective model for closed-loop citrus supply chain considering CO2 emissions". *Journal of Cleaner Production*, 239, 118081, 2019.
- [36] Flores H, Villalobos JR. "A stochastic planning framework for the discovery of complementary agricultural systems". *European Journal of Operational Research*, 280, 707-729, 2020.
- [37] Alemany MM, Esteso A, Ortiz A, Pino M. "Centralized and distributed optimization models for the multi-farmer crop planning problem under uncertainty: Application to a fresh tomato Argentinean supply chain case study." *Computers and Industrial Engineering*, 153, 107048, 2021.
- [38] Fikry I, Gheith M, Eltawil A. "An integrated production-logistics-crop rotation planning model for sugar beet supply chains." *Computers and Industrial Engineering*, 157, 107300, 2021.
- [39] Avanzini EL, Cawley AFM, Vera JR, Maturana S. "Comparing an expected value with a multistage stochastic optimization approach for the case of wine grape harvesting operations with quality degradation." *International Transactions in Operational Research*, 30, 1843-1873, 2021.
- [40] Esteso A, Alemany MM, Ortiz A. "Sustainable agri-food supply chain planning through multi-objective optimization". *Journal of Decision Systems*, 33(4), 808-832, 2023.
- [41] Montenegro-Dos Santos F, Pérez-Galarce F, Monardes-Concha C, Candia-Véjar A, Seido-Nagano M, Gómez-Lagos J. "A rolling horizon scheme for rescheduling in agricultural harvest." *Computers and Electronics in Agriculture*, 215, 108392, 2023.
- [42] Mavrotas G. "Effective implementation of the e-constraint method in Multi-Objective Mathematical Programming problems". *Applied Mathematics and Computation*, 213, 455-465, 2009.