

## SOLUCAN GÜBRESİ ÜRETİM TESİSİ İÇİN BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ

İlke ÖZEN<sup>1</sup>, Zehra Cansu ŞİMŞEK<sup>2</sup>, Feriştah ÖZÇELİK<sup>3</sup>, Tuğba SARAÇ<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir  
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-5510-7513>

<sup>2</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir  
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-2406-1003>

<sup>3</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir  
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-0329-203X>

<sup>4</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir  
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-8115-3206>

DOI : <http://dx.doi.org/10.31796/ogummf.558453>

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Solucan gübresi, Karar destek sistemi, Matematiksel model, Olurluluk analizi.</i>	<i>Bu çalışmada bir organik gübre çeşidi olan solucan gübresi üretiminin yaygınlaşması amacıyla, bu alanda yatırım yapmayı düşünen karar vericiler için bir karar destek sistemi (KDS) geliştirilmiştir. Geliştirilen KDS yatırımcıya, yatırımın olurluluğu, farklı kısıtlar (bütçe, alan, teknik vb.) altında üretilecek gübre miktarı, oluşacak maliyetler ve grafik ile desteklenmiş ekonomik analizler açısından destek vermektedir. Geliştirilen karar destek sisteminin karar vericiye sunacağı bilgilerin doğruluğunu sağlamak üzere öncelikle, Eskişehir il sınırlarında yer alan bir tesis ayrıntılı bir şekilde incelenmiş, solucan miktarının zaman içindeki değişimini tahmin edebilecek bir tahmin modeli oluşturulmuş ve bir solucan gübresi tesisinin olurluluk çalışmasında yer alması gereken tüm maliyet kalemleri belirlenmiştir. Ayrıca bütçe kısıtı altında üretilen solucan gübresi miktarını eniyileyecek ve seçilmesi gereken üretim yöntemi ve üretim kapasitesini belirleyecek bir karar modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen karar destek sistemi yatırımcıların olurluluk ve ekonomik analizleri kolayca yapabilmelerini sağlayacağından, solucan üretiminin yaygınlaşmasına katkı sağlaması beklenmektedir. Bu da ülke ekonomisi, çevre ve insan sağlığı açısından olumlu sonuçlar doğuracaktır.</i>

### A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR VERMICOMPOST PRODUCTION FACILITY

Keywords	Abstract
<i>Vermicompost, Decision support system, Mathematical modeling, Feasibility analysis.</i>	<i>In this study, a decision support system (DSS) has been developed for the decision makers who plan to invest in this field in order to expand the production of vermicompost, which is a type of organic fertilizer. Developed DSS supports the decision makers in terms of feasibility of investment, the amount of fertilizer to be produced under different constraints (budget, field, technical etc.), costing and graph-supported economic analysis. To ensure the accuracy of the information that the decision support system will provide to the decision-maker, firstly a facility located in Eskişehir province borders has been examined in detail, a forecasting model has been created to forecast the change in the amount of worms over time and all cost items that should be included in the feasibility of a worm fertilizer plant have been determined. In addition, a mathematical model has been developed to optimize the amount of worm castings produced under budget constraint and determine the production method and production capacity to be selected. It is expected to contribute to the spread of worm production, as developed decision support system will allow investors to easily perform feasibility and economic analysis. This will have positive consequences for the country's economy, environment and human health.</i>

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 05.03.2019	Submission Date : 05.03.2019
Kabul Tarihi : 13.06.2019	Accepted Date : 13.06.2019

\* Sorumlu yazar; e-posta : [tsarac@ogu.edu.tr](mailto:tsarac@ogu.edu.tr)

## 1. Giriş

Tarım ülkeler için hem ülke ekonomisi hem de halk sağlığı açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle, sürdürülebilir ve organik tarım uygulamalarının teşvik edilmesi, tüm ülkeler için bir zorunluluk haline gelmiştir. Ülkemizin artan nüfusu tarımsal üretimin de artmasına yol açmış ancak bu büyüme baskısı çevre ve insan sağlığı boyutunu göz ardı eden bazı yanlış uygulamaları da beraberinde getirmiştir. Kontrolsüz gübre kullanımı gibi yanlış uygulamalar toprağı kirletmekte ve ürün niteliğini düşürmektedir. Bu tür uygulamalarla kısa vadede elde edilen olumlu sonuçlar, uzun vadede oluşacak olumsuz sonuçların göz ardı edilmesine sebep olmaktadır. Günümüzde organik tarım uygulamaları hız kazanmış olsa da; ülke topraklarının %70'inden fazlası organik madde bakımından yetersizdir (TUİK, 2018).

Son yıllarda tarımda organik gübrelemenin önemi anlaşılmış ve organik gübre üretimi hız kazanmıştır (Özkan ve Güler, 2016). Çiftçiler organik gübreye yönelmiş fakat üretim, talebi karşılayamayacak seviyede olduğu için alternatif üretim yöntemlerine gereksinim doğmuştur. Bir organik gübre çeşidi olan solucan gübresi, yıkıcı tarımsal kimyasal maddeleri tamamen değiştirerek "İkinci Yeşil Devrim" olarak adlandırılabilir (Sinha Agarwal, Chauhan ve Valani, 2010). Günümüzde katı ve sıvı solucan gübresi, sebzelerin, meyvelerin ve peyzaj bitkilerinin verimini ve kalitesini artırmak için başarıyla kullanılmaktadır (Açıkbay ve Bellitürk, 2016; Açıkbay ve Bellitürk, 2017; Barlas ve Bellitürk, 2017; Görres ve Bellitürk, 2012; Zahmacıoğlu, Ahi ve Bellitürk, 2017). Fakat solucan gübresi ile ilgili yeterince bilgiye sahip olmayan ve yanlış kararlar veren çiftçiler beklenen faydayı elde edememişlerdir.

Yakılmış hayvan gübresinin ve gıda atıklarının ayrıştırılarak solucanların sindirim sisteminden geçmesi sonucu elde edilen organik gübreye solucan gübresi denir. Kırmızı Kaliforniya solucanı içerisinde bulunan mikroorganizmalar, toprak içinde bulunan ancak bitki tarafından alınamayan besin maddelerini parçalayarak bitki tarafından alınabilir forma dönüştürmektedir. Solucan gübresi bitkinin gelişimini hızlandırmakta ve olumsuz çevre koşullarına karşı bitkinin direncini arttırmaktadır. Türkiye'de hali hazırda yalnızca on beş adet yasal olarak yetkilendirilmiş solucan gübresi üretim tesisi mevcuttur. Türkiye'nin 2023 yılında lider solucan gübresi üreticilerinden birisi olabilmesi için bu rakamın artması gerekmektedir (Bellitürk, 2018).

Bu çalışmada öncelikle bir solucan gübresi üretim tesisi için olurluluk analizi yapılmış ve yatırımın karlılığı hesaplanmıştır. Daha sonra olurluluk analizi aşamasında elde edilen bilgiler kullanılarak, üreticilerin yatırım kararlarını verirken doğru bilgiye ulaşabilmesi

için bir karar destek sistemi (KDS) geliştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Organik bir gübre olan solucan gübresi, yakılmış hayvan gübresinin ve gıda atıklarının ayrıştırılarak solucanların sindirim sisteminden geçmesi sonucu elde edilir. Bu süreçte Kırmızı Kaliforniya Solucanı adıyla bilinen solucanlar kullanılır. Solucanlar sentezledikleri yapılar sayesinde gübrenin biyolojik aktivitesini arttırırlar. Bitkinin yakılmış hayvan gübresinden direkt olarak alamadığı besini alınabilir forma dönüştürürler. Solucan gübresi ile yapılan tarımda bitkiler daha sağlıklı ve hızlı gelişim gösterir. Solucan gübresi içeriğı Tablo 1'de verilmiştir.

Solucan gübresi toprakta havalandırmayı sağlar. Su tutma kapasitesini arttırarak sulama maliyetini düşürür. Bitkilerin daha dirençli olmasını sağlar. Toprağın nem ve pH dengesini düzenleyerek bitkileri olumsuz hava şartlarından korur. Toprakta daha uzun süre kalması sebebiyle gübreleme miktarını düşürür. Son yıllarda solucan gübresi üretimi hız kazanmış fakat yine de talebi karşılayamayacak durumdadır. Toprak verimliliğı üzerindeki etkileri görülmeye başladığında üretiminin daha da artacağı öngörülmektedir.

Toprakta biyolojik canlılığın devamı, toprak sağlığının ve kalitesinin korunması, tarımsal sürdürülebilirliğın devamı için toprakta oluşan ağır metal kirliliğinin bertaraf edilmesi gerekmektedir. Toprak solucanları, toprakta ağır metal kirliliğini bertaraf etmek için de kullanılmaktadır (Tacıroğlu, Kara ve Sak, 2016). Bir atık su arıtma tesisinde yapılan çalışmada, solucan gübresinin topraktaki ağır metaller üzerinde etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, bitkilere ve diğer bütün canlılara faydalı olan toplam azot, fosfor ve potasyum miktarında artış; ağır metallerin (Cu, Ni, Cd, Pb, Zn) miktarında ise azalma gözlemlenmiştir (Liu, Zhu ve Xue, 2012).

Tablo 1  
Solucan Gübresi İçeriğı (Demir, Polat ve Sönmez, 2010)

İçerik	Birim	Miktar
Ph	0-14	7,2-7,4
Nem	%	35-40
Organik Madde	%	35-45
Organik Karbon	%	15-20
Toplam Azot(N)	%	1,5-2,5
Toplam Fosfor(P2O5)	%	2-2,5
Toplam Potasyum(K2O)	%	2,5-3
Kalsiyum	%	5-6
Magnezyum	%	1-1,5
Demir	%	1-1,5
Mangan	mg/kg	600-750
Bor	mg/kg	400-500
Krom	mg/kg	0,041
Nikel	mg/kg	36
Bakır	mg/kg	54
Çinko	mg/kg	84

## 2.1. Kırmızı Kaliforniya Solucanı ile Gübre Üretimi

Latince ismi Eisenia fetida olan kırmızı Kaliforniya solucanları, bir tür toprak solucanı çeşididir. Gübre ile beslendikten sonra salgıladıkları sölom sıvısı ve diğer solucan türlerine göre hızlı üremelerinden dolayı, solucan gübresi üretiminde bu tür kullanılmaktadır. Kırmızı Kaliforniya solucanları beslenirken sölom sıvısı salgılar ve hareket ederken bunun toprağa yayılmasını sağlarlar. Sölom sıvısının üzerinde bulunan yararlı bakteriler, bitkiler tarafından alınarak bitkiyi zararlı bakterilere karşı dirençli hale getirir. Bu da üretimdeki verimliliğe doğrudan katkı sağlar (Tutar ve Karaman, 2017).

Kırmızı Kaliforniya solucanlarının sağlıklı yaşaması ve üremesi için ideal ortam sıcaklığı 20-25 C°'dir, ayrıca toprağın nem oranı %70 ile %85 arasında ve toprağın pH değeri 5-9 aralığında olmalıdır. Üredikleri alanda ses minimum seviyede olmalıdır. İdeal yaşam koşulları sağlanan solucanlar, fermente edilmiş hayvansal gübre ile beslenerek gübreyi işlerken bir yandan da üreyerek sayılarını arttırmaktadır. Her tesis ve koşullarda farklı hızda üremelerine karşın, ortalama olarak sayılarını üç ayda bir 1.8-3 katına çıkarabilirler. Eğer gerekli koşullar sağlanmaz ise solucan sayısının artış hızı ciddi manada düşmekte, hatta azalabilmektedir (Kaplan, Hartenstein, Neuhauser ve Malecki, 1980).

## 2.2. Solucan Gübresi Üretim Süreci

Üretimin ana hammaddesi hayvansal gübredir. Hayvansal gübre, güneş altında 3-5 ay süre ile bekletilerek solucanların ayrıştırabileceği forma dönüştürülür. Sürece hazır hale getirilmiş hayvansal gübre seçilen üretim yöntemine göre serilir. Hayvansal gübre içerisine Kırmızı Kaliforniya Solucanları eklenir. Solucanlar hayvansal gübreyi işlemeye başlarken bir yandan üreyerek sayılarını arttırmaları. Solucanları belli aralıklarla beslemek amacıyla, hayvansal gübre ekleme işlemi kapasite dolana kadar sürdürülür. Solucanların hareketlilik durumlarına bakılarak hayvansal gübreye ek olarak yumurta kabuğu, muz kabuğu, çay posası gibi üretimin artışını destekleyecek atık gıda maddeleri ilave edilmektedir.

Sisteme hayvansal gübre eklendiğinde solucanlar, hayvansal gübrenin eklendiği yöne doğru hareket ederler. Böylece, solucanların hareket yönünün tersinden, işlenmiş ve kullanıma hazır hale gelmiş solucan gübresi alınır.

## 2.3.Solucan Gübresi Üretim Yöntemleri

Başlıca solucan gübresi üretim yöntemleri yığma, sandık ve konveyörlü yatak sistemidir.

*Yığma Yöntemi ile Üretim:* Yığma ya da serme adıyla bilinen bu yöntem, solucanların ve hayvansal gübrenin yere serilerek üretimin yapıldığı yöntemdir. Başlangıçta hayvansal gübre yere serilmekte ve her yeni yem ekleme, yığının yan tarafından yapılmaktadır. Üreticiler tarafından en sık tercih edilen yöntemdir. Düşük bütçeli işletmeler için uygundur. Başlangıç maliyeti düşük bir yöntemdir. Yığma yöntemi için olurluluk çalışması kapsamında belirlenen gider kalemleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2

Yığma Yöntemi İçin Belirlenen Gider Kalemleri

Sabit Giderler	Solucan Gideri Bina İnşaat Gideri
	Yem Gideri
Dönemlik Giderler	Elektrik Su Giderleri Yakıt Giderleri İşçilik Giderleri Kira Giderleri Diğer Giderler

*Sandık Yöntemi ile Üretim:* Bu yöntemde üretim, sandıklarda yapılmaktadır. Başlangıçta sandığa 15 cm yüksekliğinde hayvansal gübre ve solucan eklenmektedir. Belli zaman aralıkları ile gübre ekleme işlemi devam etmektedir. Sandık tam kapasiteye ulaştığında ekleme işlemi sonlandırılmaktadır. Kırmızı Kaliforniya solucanları bu süre içinde çoğalmaya devam etmektedir. Sandıktaki tüm hayvansal gübre solucanlar tarafından işlendikten sonra solucan gübresi eleme ve kurutma adımlarından geçirilmektedir. Orta ölçekli işletmeler için tercih edilebilecek bir yöntemdir.

*Konveyörlü Yatak Sistemi ile Üretim:* Konveyörlü yatak sisteminde konveyör bandı ile desteklenmiş yataklara başlangıçta solucan ve hayvansal gübre eklenmektedir. Hayvansal gübre sandık tipi üretimde olduğu gibi 15 cm yüksekliğinde eklenmektedir. Konveyörlü yatak sisteminde hayvansal gübre ekleme, yukarıdan; işlenmiş solucan gübresini alma, aşağıdan kesme işlemi ile yapılmaktadır. Büyük ölçekli işletmeler için uygun bir yöntemdir. Sandık ve konveyörlü yatak yöntemleri için olurluluk çalışması kapsamında ele alınan gider kalemleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3  
Sandık ve Konveyörlü Yatak Yöntemi İçin Belirlenen Gider Kalemleri

Sabit Giderler	Solucan Gideri Bina İnşaat Gideri Sandık ve/veya Yatak Gideri
Dönemlik Giderler	Yem Gideri Elektrik Su Giderleri Yakıt Giderleri İşçilik Giderleri Kira Giderleri Diğer Giderler

### 3. Bulgular ve Tartışma

Solucan gübresi üretim tesisi üzerine yapılan bu çalışma Odunpazarı Belediyesi Kırsal Hizmetler Müdürlüğü ile birlikte yürütülmüştür. Kırsal Hizmetler Müdürlüğü, 5393 sayılı Belediye Kanununun 48. ve 49. maddeleri ile 22/02/2007 tarihli, 26442 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren “Belediye ve Bağlı Kuruluşları İle Mahalli İdare Birlikleri Norm Kadro İlke Ve Standartlarına Dair Yönetmelik” Hükümleri çerçevesinde Odunpazarı Belediye Meclisinin 05/06/2014 tarih ve 12/153 sayılı kararı gereğince kurulmuştur.

Bu tesiste üretim yöntemi olarak konveyörlü yatak sistemi kullanılmaktadır ve stoklama alanı, seperatör ve kurutucu üretim birimi, katı ürün paketleme ünitesi, sıvı ürün paketleme ünitesi, AR-GE ve eğitim birimi gibi bölümler yer almaktadır. Tesis, Eskişehir Yukarıcağlan Köyü, 385. Parsel, 0 Adada yer almaktadır. Mevcut arsa büyüklüğü 4550 m<sup>2</sup>'dir.

Üretim biriminde konveyörlü sistem ile desteklenmiş iki adet gübre üretim yatağı bulunmaktadır. Üretim yatakları, yatak bıçaklarının arıza yapması durumunda kolay müdahaleye elverecek şekilde dışardan zincir sistemi ile güç alan yapıda tasarlanmıştır. Yatak boyutları; eni 1 metre, boyu 10 metre ve derinliği de 1 metre olarak tasarlanmıştır. Üretim birimi deneme üretimini 2 yatak ile yapmaktadır. Solucan miktarı ve gübre üretim hızı verileri doğrultusunda yapılacak optimizasyon çalışması ile yatak sayısı belirlenecek ve sabitlenecektir. Yatakların kapasitesi 10 tondur. Fakat yataklar solucan verimliliğini arttırmak için 8 ton malzeme ile doldurulmaktadır. 2017 yılı içerisinde 500.000 solucan ile üretime başlanmıştır. Solucan sayısı 6 aylık süre içerisinde 3 milyona ulaşmıştır. Bir yatakta bulundurulacak en fazla solucan sayısı 15 milyondur. Yataklardan belli zaman aralıklarında kesme işlemi ile ürün alınmaktadır. Deneme sürecinde bu işlem 10 günde 1 olarak yapılmıştır. Her kesme işlemi sonunda 1 yataktan, 1 ton yarı mamül elde edilmektedir. Kurutma ve eleme işleminden geçtikten sonra, yarı mamülün %80'i nihai ürüne dönüşmektedir.

Odunpazarı Belediyesi Kırsal Hizmetler Müdürlüğü tarafından yapılması planlanan Solucan Gübresi Üretim Tesisi, Haziran 2017 tarihinde deneme üretimine geçmiştir. Kesin işletmeye geçiş tarihine kadar tesiste deneme üretimleri ve üretilen solucan gübresi ile ilgili deneyler yapılmaktadır. Deneme üretimi için geçen sürede arsaya üretim birimi yapılmıştır. Yatırım giderleri aşağıda verilmiştir.

Üretim biriminin bina ve inşaat giderleri, 443 877 ₺'dir. Başlangıçta 500 000 adet solucan alınmıştır. Solucan fiyatı, 0,1 ₺/adet'tir. Solucanların toplam maliyeti, 50 000 ₺'dir. Yatak maliyeti, 15 000 ₺/adet'tir. Tesiste deneme üretimi süresince iki yatak kullanılacak olup toplam maliyeti 30 000 ₺'dir. Elektrik, su, kömür vb. diğer giderler, 5 000 ₺/ay'dır.

2019 yılı içinde hedeflenen ek tesislerin inşaatına başlanacaktır. Bu ek tesisler ve tüm makine, teçhizat için bütçe 1,5 milyon ₺ olarak belirlenmiştir. Bütçenin 900000 ₺'si ile makine teçhizat giderleri karşılanacaktır, geri kalanı ile de ek tesislerin yapılması planlanmaktadır.

Yatırım kararının verilebilmesi için geliştirilen karar modelinde kullanılacak ve mevcut tesisin incelenmesi sonucunda elde edilen gider parametre değerleri Tablo 4'de ve gelir parametre değerleri de Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4  
İşletme Giderleri

	İşletme Giderleri	Tutar
Sabit Giderler	Solucan Maliyeti	0,1 ₺/adet*500.000
	Makine Teçhizat Gideri	900.000 ₺
	Bina İnşaat Gideri	600.000 ₺
Dönemlik Giderler	Toplam İşgücü Tutarı	3.000 ₺/ay
	Elektrik ve Su Giderleri	3.000 ₺/ay
	Yakıt Giderleri	5.000 ₺/ay
	Ambalajlama	0,55 ₺/adet*960
	Hayvansal Gübre	-
Toplam Sabit Gider		1.550.000 ₺
Toplam Dönemlik Gider		11.528 ₺/ay

Tablo 5  
İşletme Gelirleri

	İşletme Gelirleri	Tutar
Solucan Gübresi Satış Geliri		2.2 ₺/kg*24.000 kg/ay
Seperatör Gübresi Satış Geliri		1 ₺/kg*10.000 kg/ay
Solucan Satış Geliri		0.1 ₺/adet*200.000 adet/ay
Toplam		82.800 ₺/ay

Net peşin değer, yatırımın sağlayacağı nakit girişlerini belli bir faiz oranı üzerinden peşin değerine dönüştürerek ve bundan ilk yatırım tutarını çıkararak belirlenmektedir. Yatırımın net peşin değeri araştırılmış ve 921 827.14 ₺ olarak bulunmuştur.

İç verim oranı, planlanan yatırım için gereken para çıkışı ile yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı para girişini eşitleyen faiz oranı olarak tanımlanmaktadır (Kahya, 2017). Yatırım projesinin net peşin değerini sifıra eşitleyen orandır. İç verim oranı % 19,8 olarak hesaplanmıştır.

### 3.1. Solucan Gübresi Üretim Tesisi İçin Bir Karar Destek Sistemi

Solucan gübresi üretim sürecinde solucanların yaşaması için sıcaklık, yem, sulama gibi bazı parametrelerin belirli bir değerde tutulması gerekmektedir. Diğer parametreler ise solucan sayısını etkileyerek üretim sürecini ve miktarını değiştirmektedir. Üretim miktarını etkilediği için bu parametrelerin değerlerinin belirlenmesi önem kazanmaktadır. Optimizasyon yöntemleri, parametrelerin eniyi değerlerinin belirlenmesinde birçok farklı alanda başarıyla uygulanmaktadır.

Geliştirilen karar destek sistemi optimizasyon ve tahminleme olmak üzere iki durumu ele almaktadır. Optimizasyon kısmında karar vericinin belirlediği bütçe kısıtı altında üretilen solucan gübresi miktarını eniyileyecek ve seçilmesi gereken üretim yöntemi ve üretim kapasitesini belirleyecek karar modeli geliştirilmiştir. Tahminleme kısmında ise karar verici tarafından belirlenen parametre değerlerini girdi olarak üretim miktarını tahmin eden ve ekonomik analizleri yapan bir model geliştirilmiştir.

Geliştirilen karar destek sistemi, çiftçilerin üretim aşamasında vermeleri gereken kararları destekleyerek ve yatırımcıların olurluluk ve ekonomik analizleri kolayca yapabilmelerini sağlayarak, solucan üretiminin veriminin artmasına ve yaygınlaşmasına katkı sağlayacaktır. Bu da ülke ekonomisi, çevre ve insan sağlığı açısından olumlu sonuçlar doğuracaktır.

Geliştirilen karar destek sistemi için gerekli bilgiler, Eskişehir Odunpazarı Belediyesi Solucan Gübresi Üretim Tesisi ile birlikte yürütülen bir çalışma sonucunda belirlenmiştir. Tesis deneme sürecinde olup, solucan sayıları ve gübre miktarı gibi verilerin elde edilmesi için ziraat mühendisleri ve biyologlarla ortak bir çalışma yürütülmüştür. Bu süreçte optimum koşullarda solucan artış hızı belirlenmiş, bu veriden yola çıkılarak gereken yem miktarı, çıkan gübre miktarı gibi gelir ve gider kaleminde bulunması gereken tüm hesaplamalar yapılmıştır.

Karar destek sisteminin ilk aşamasında, karar vericiler üretim yöntemini ve başlangıç solucan sayısını belirlemelidir. Seçtikleri yöntemlere göre Tablo 2’de ya da Tablo 3’de verilen parametrelerin değerleri sisteme girilmelidir. Sistem bu veriler doğrultusunda karar vericiye; karlılık indeksi, başa baş analizi, aylara göre solucan ve gübre miktarı, dönemlik işletme gideri, yem ihtiyacı gibi çıktılar üretmekte ve ekonomik analizleri kolayca yapabilmektedir.

Eskişehir Odunpazarı Belediyesi Solucan Gübresi Üretim Tesisi’nden alınan veriler doğrultusunda ideal koşulların sağlandığı varsayılarak, belli bir dönem sonrasında solucan sayısını tahmin etmek üzere, bir tahmin denklemi oluşturulmuştur. Bu denklem ile %95 güven seviyesinde tahminler yapılmaktadır. Oluşturulan denklem aşağıda verilmiştir.

$H_i$ :  $i$ . yöntemde bir solucanın bir ayda tükettiği yem miktarı (kg/ay)

$G_i$ : bir solucanın bir ayda ürettiği gübre miktarı (kg)

$S_{*0}$ : herhangi bir yöntem için başlangıç solucan sayısı

$S_{*j}$ : herhangi bir yöntem için  $j$ . aydaki solucan sayısı

$$S_{*j} = S_{*0} (0,0424 (j - 2)^2 + 0,722 (j - 2) + 1,161)$$

$$j. \text{ ayda üretilen gübre miktarı (kg)} = G_i * S_{*j}$$

$$j. \text{ ayda kullanılan yem miktarı (kg)} = H_i * S_{*j}$$

Karar destek sisteminin ikinci aşamasında oluşturulan matematiksel model; üreticinin belirleyeceği bütçe kısıtı altında, gübre üretim miktarını eniyileyecek üretim yöntemini ve üretim kapasitesini belirlemektedir.

#### İndis Kümeleri

$i \in \{1,2,3\}$  yöntem ( $i = 1$ , serme yöntemi,  $i = 2$ , sandık yöntemi,  $i = 3$ , yatak yöntemi)

$j \in \{1,2,3,4,5,6\}$  ay

#### Karar Değişkenleri

$$x_i = \begin{cases} 1, & i. \text{ yöntem kullanılıyorsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$y$ : serme için kullanılacak alanın büyüklüğü ( $m^2$ )

$w$ : kullanılacak sandık sayısı (adet)

$z$ : kullanılacak yatak sayısı (adet)

$S_{*j}$ :  $i$ . yöntem kullanıldığında  $j$ . aydaki solucan sayısı

$KM_i$ :  $i$ . yöntemin başlangıç solucan maliyeti

$SM_i$ :  $i$ . yöntemin toplam sabit maliyeti

*Parametreler*

$YM_i$ :  $i$ . yöntemin kurulum maliyeti

$DM_i$ :  $i$ . yöntemin toplam değişken maliyeti (6 aylık)

$MM$ : toplam yem maliyeti

$CY_i$ :  $i$ . yöntemin birim maliyeti

$SG$ : solucan gübresi satış fiyatı (₺/ kg)

$C$ : birim solucan alış fiyatı (₺/ adet)

$MS_i$ :  $i$ . yöntemin birim başına enbüyük solucan kapasitesi

$B$ : Bütçe

$M$ : Çok büyük pozitif sayı

*Kısıtlar*

$$KM_i = C * S_{i1} \quad \forall i \quad (1)$$

$$YM_i = CY_1 * y + CY_2 * w + CY_3 * z \quad \forall i \quad (2)$$

$$SM_i = KM_i + YM_i \quad \forall i \quad (3)$$

$$MM = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^6 H_i * S_{ij} \quad (4)$$

$$y \leq Mx_1 \quad (5)$$

$$w \leq Mx_2 \quad (6)$$

$$z \leq Mx_3 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^3 SM_i \leq B \quad (8)$$

$$S_{1j} \leq MS_1 * y \quad \forall j \quad (9)$$

$$S_{2j} \leq MS_2 * w \quad \forall j \quad (10)$$

$$S_{3j} \leq MS_3 * z \quad \forall j \quad (11)$$

$$S_{1j} \leq S_{11} * (0,0424 (j - 2)^2 + 0,722 (j - 2) + 1,161) \quad \forall j | j > 1 \quad (12)$$

$$S_{2j} \leq S_{21} * (0,0424 (j - 2)^2 + 0,722 (j - 2) + 1,161) \quad \forall j | j > 1 \quad (13)$$

$$S_{3j} \leq S_{31} * (0,0424 (j - 2)^2 + 0,722 (j - 2) + 1,161) \quad \forall j | j > 1 \quad (14)$$

$$y \geq 0 \quad (15)$$

$$KM_i, SM_i \geq 0 \quad \forall i \quad (16)$$

$$w, z \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad (17)$$

$$S_{ij} \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad \forall i, j \quad (18)$$

*Amaç Fonksiyonu*

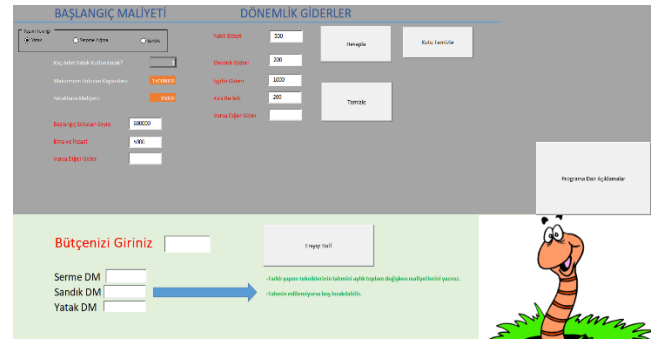
$$enb z = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^6 S_{ij} * G_i * SG - \sum_{i=1}^3 SM_i - MM \quad (19)$$

(1) numaralı kısıt,  $i$ . yöntemin başlangıç solucan maliyetini hesaplamaktadır. (2) numaralı kısıt,  $i$ . yöntemin kurulum maliyetini hesaplamaktadır. (3) numaralı kısıt,  $i$ . yöntemin toplam sabit maliyetini hesaplamaktadır. (4) numaralı kısıt, toplam yem

maliyetini hesaplamaktadır. (5), (6) ve (7) numaralı kısıtlar,  $y, w$  ve  $z$  değişkenleri ile  $x_i$  değişkenlerinin ilişki kısıtlarıdır. (8) numaralı kısıt bütçe kısıtıdır. (9), (10) ve (11) numaralı kısıtlar her bir yöntemde elde edilebilecek en fazla solucan sayısını sınırlayan kısıtlardır. (12), (13) ve (14) numaralı kısıtlar, her bir yöntem için aylık solucan sayılarını tahmin denklemini kullanarak hesaplayan kısıtlardır. (15)-(18) numaralı kısıtlar, işaret kısıtlarıdır. Modelin amaç fonksiyonu (19), toplam kazancın enbüyüklenmesidir.

**3.2. KDS Uygulamaları**

Tahminleme Uygulaması: Karar verici kullanacağı üretim yöntemini seçmeli, başlangıç solucan sayısını ve Şekil 1’de verilmiş olan diğer ilgili parametre değerlerini KDS ekranına girmelidir. Şekil 1’de örnekte üretim yöntemi olarak konveyörlü yatak seçilmiş ve diğer parametreler belirlenmiştir.



Şekil 1. Başlangıç parametreleri

Hesapla butonu ile sistem bu veriler doğrultusunda karar vericiye; karlılık indeksi, başa baş analizi, aylara göre solucan ve gübre miktarı, dönemlik işletme gideri, yem ihtiyacı gibi solucan sayısı tahminine dayanan çıktılar vermektedir (Şekil 2).

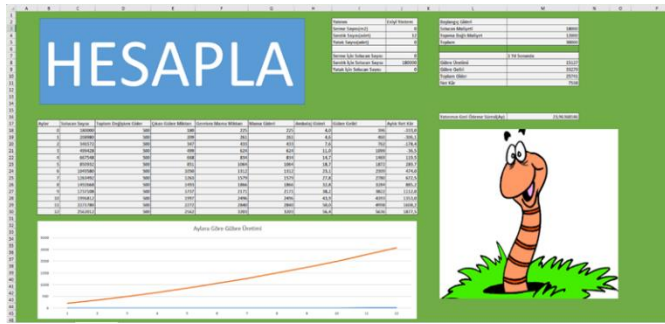
Şekil 2. Sistem çıktıları

Optimizasyon Uygulaması: Karar destek sisteminin ikinci aşamasında; model, üreticinin belirleyeceği bütçe kısıtı altında, gübre üretim miktarını eniyileyecek

üretim yöntemini ve üretim kapasitesini belirlemektedir. Bu uygulamada bütçe kısıtı 3000 ₺ olarak belirlenmiştir (Şekil 3). KDS, yatırımcının toplam karını enbüyükleyecek şekilde matematiksel modeli kullanarak, kullanılacak üretim yöntemini sandık ve sandık sayısını optimum 12 olarak belirlemiştir. Başlangıç solucan sayısı ise 180 000 adet olarak elde edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 3. Karar vericinin bütçe kısıtını belirlemesi



Şekil 4. Seçilen üretim yöntemi ve üretim kapasitesi

#### 4. Sonuç

Tarım ekonomide büyük yere sahiptir. Kısa vadede hızlı sonuçlar almak adına yapılan yanlış uygulamalar toprağı kirletmektedir. Bu nedenle organik gübre üretimi artırılmalı ve üreticiler organik gübre üretimine teşvik edilmelidir.

Bu çalışmada, Eskişehir Odunpazarı Belediyesi Kırsal Hizmetler Müdürlüğü tarafından kurulan Solucan Gübresi Üretim Tesisi finansal boyutuyla ele alınmış ve karlılık analizleri yapılmıştır. Tesis için yapılan bu analizler kullanılarak solucan gübresi alanında yatırım yapmak isteyen üreticilere destek vermek üzere bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen KDS'nin iki önemli fonksiyonu vardır. İlk fonksiyonu üretim yöntemini ve başlangıç solucan sayısını belirlemiş yatırımcılara karlılık indeksi, başa baş analizi, aylara göre solucan ve gübre miktarı, dönemlik işletme gideri, yem ihtiyacı gibi solucan sayısı tahminine dayanan çıktılar vermektedir. İkinci fonksiyonu ise elindeki sınırlı parası ile en karlı yatırımı yapmak isteyen karar vericilere hangi tip üretim yöntemi ya da yöntemlerini kullanmaları gerektiği, bu yöntemlerin kapasitesini ve her bir yöntemin başlangıç solucan sayısını belirlemektedir.

Geliştirilen karar destek sistemi yatırımcıların olurluluk ve ekonomik analizleri kolayca yapabilmelerini sağlayacağından, solucan üretiminin yaygınlaşmasına

katkı sağlaması beklenmektedir. Bu da ülke ekonomisi, çevre ve insan sağlığı açısından olumlu sonuçlar doğuracaktır.

Çoğalma hızının sıcaklık, yem özellikleri ve gürültü gibi ortam şartlarından kolayca etkilenmesi nedeniyle solucan sayısını tahmin etmek oldukça zordur. Bu çalışmada ortam şartlarının sabit tutulabildiği varsayılmıştır. Gelecekte tahminleme modeli, ortam şartlarındaki değişiklikleri de dikkate alabilecek şekilde geliştirilebilir.

#### Teşekkür

Çalışmanın her aşamasında verdikleri destekten ötürü başta Sayın Rafet Burak Özen olmak üzere Odunpazarı Belediyesi Kırsal Hizmetler Müdürlüğü çalışanlarına teşekkür ederiz.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

#### Kaynaklar

- Açıkbaş, B. & Bellitürk, K. (2016). Effects of Vermicompost on Nutrient Contents of Trakya Ilkeren/5BB Grafting Combination Grapevine Saplings. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 13 (4), 131-138. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/331375315>
- Açıkbaş B. & Bellitürk, K. (2017). Vermicompost Affects Shoot Growth of Trakya Ilkeren/5BB Grafting Combination Grapevine (*Vitis vinifera* L.) Saplings. *International Congress of the New Approaches and Technologies for Sustainable Development*, 21-24 September, Isparta, Turkey, Proceeding Book-II, 8795.
- Barlas, N.T. & Bellitürk, K. (2017). The Importance of Vermicompost on Converting Fertilization System from Chemical to Organic in Turkey. *International Symposium on EuroAsian Biodiversity (SEAB-2017)*, Minsk, Belarus, 05-08 July, 129.
- Bellitürk, K. (2018). Some Evaluations about Use of Vermicompost in Agricultural Activity of Thrace Region, Turkey: A Review. *Journal of Rice Research*, 6, 193. doi: <https://doi.org/10.4172/2375-4338.1000193>.
- Demir, H., Polat, E. ve Sönmez, İ. (2010). Ülkemiz için Yeni Bir Organik Gübre: Solucan Gübresi. *Tarım Aktüel*, 14, 54-60.

- Görres, J.H. & Bellitürk, K. (2012). Balancing Vermicomposting Benefits with Conservation of Soil and Ecosystems at Risk of Earthworm Invasions. *VIII. International Soil Science Congress "Land Degradation and Challenges in Sustainable Soil Management"*, 15-17 May, Izmir, Turkey, 4, 302-306.
- Kahya, E. (2017). *Mühendislik Ekonomisi*. Eskişehir: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Yayın No: 248.
- Kaplan, D.L., Hartenstein, R., Neuhauser, E.F. & Malecki, M.R. (1980). Physicochemical requirements in the environment of the earthworm *Eisenia foetida*. *Soil Biology and Biochemistry*, 12, 347-352. doi: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(80\)90008-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(80)90008-5)
- Liu, F., Zhu, P. & Xue, J. (2012). Comparative Study on Physical and Chemical Characteristics of Sludge Vermicomposting by *Eisenia Fetida*. *Procedia Environmental Sciences*, 16, 418-423. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.10.058>
- Özkan, G. ve Güteryüz, M. (2016). Bazı Organik Gübre Uygulamaları ile Kimyasal Gübre Uygulamasının Çilekte (*Fragaria x ananassa* L.) Meyvelerin Kimyasal İçerikleri Üzerine Etkileri. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 47 (2), 77-83. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/download/article-file/279331>
- Sinha, R.K., Agarwal, S., Chauhan, K. & Valani, D. (2010). The Wonders of Earthworms & its Vermicompost in Farm Production: Charles Darwin's "Friends of Farmers", with Potential to Replace Destructive Chemical Fertilizers from Agriculture. *Agricultural Sciences*, 1 (2): 76-94. doi: <https://doi.org/10.4236/as.2010.12011>
- Tacıroğlu, B., Kara, E.E. ve Sak, T. (2016). Toprakta Ağır Metal Gideriminde Solucanların Kullanımı. *KSÜ Doğa Bil. Derg.*, 19(2), 201-207. doi: <http://dx.doi.org/10.18016/ksujns.20423>
- TUİK, Tarım İstatistikleri. (2018). Erişim Adresi: <http://www.tuik.gov.tr/>
- Tutar, U. & Karaman, İ. (2017). Investigation of Antibacterial Properties of Mucus and Coelomic Fluid Obtained from *Eisenia Fetida*. *Cumhuriyet Sci. J.*, 38, 427-434. doi: <https://doi.org/10.17776/csj.340474>
- Zahmacıoğlu, A., Ahi, Y. & Bellitürk, K. (2017). Determination of Vermicompost and Ammonium Nitrate Applications Effectiveness on Broccoli with Soil and Leaf Analysis. *VIII. International Scientific Agriculture Symposium (Agrosym 2017)*, Jahorina, October 5-8, 1660-1665.