

KARASU SORUNUNDA ARITMA TESİSLERİ VE YERLEŞİM PLANLANMASI

Renan TUNALIOĞLU¹, Tolga BEKTAŞ²

ÖZET

Karasu, zeytinin yağa işlenmesi sonrasında açığa çıkan bir artıktır. Karasuyun ekonomik olarak değerlendirilememesi nedeniyle dünyada ve Türkiye'de toprağa ve akarsuya verilmesi ciddi bir çevre sorunudur. Bu sorun, dünyadaki tüm üretici ülkelerde ve ülkemizde farklı alternatifler ile çözümlenmeye çalışılmaktadır. Bunlar, arıtma tesislerinin kurulması, lagünlerde buharlaştırma ya da zeytinyağı işletmelerinde sistem değişikliğine gidilmesidir. Bu araştırma, karasuyun sorun olarak yaşandığı Aydın ilinde arıtmanın tercih edilmesi ve bu durumda kurulacak arıtma tesislerinin matematiksel modelleme kullanılarak ekonomik olarak planlanmasını amaçlamıştır. Çalışmada kullanılan matematik model yardımıyla, arıtma tesislerinin kapasiteleri, yerleşimleri, karasuyun toplama ve taşınması farklı seçeneklerle açıklanmıştır. Araştırma Karasu sonuçlarının sorununun çözümünde ilgili bakanlıklar ve siyasi otorite ile paylaşılması önemli görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Zeytin, Karasu, Arıtma tesisi, Tercihler, Aydın

The Problem of Olive Mill Wastewater and Location Planning of Treatment Facilities

ABSTRACT

Olive Mill Waste Water (OMWW) is a waste after processing of olive oil released. This situation leads to serious environmental problems because is generally disposed into soil or rivers, resulting in potential contamination of the environment. All olive producing countries acknowledge OMWW as a problem and consider various alternatives for its resolution. This issue is the establishment of treatment plants, lagoons or evaporation with olive oil enterprises to analyze the system tried to go change. This study proposes the use of treatment facilities as a means of solving the OMWW problem in Aydın. Through the use of mathematical models in which capacities of treatment facilities and locations thereof, as well as collection and transportation of OMWW are considered as decision variables, various solutions for planning the locations of potential treatment facilities are obtained, presented and discussed in detail. The results of this study contribute to the ongoing efforts in resolving the problem of OMWW by the olive industry and are also expected to support policy making by the government to tackle this important issue.

Key Words: Olive, Olive mill waste water, Treatment plant, Preferences, Aydın

1. GİRİŞ

Zeytin, özel iklim isteği nedeniyle Akdeniz ülkelerinde yetiştirilen ve genetik olarak alternans gösteren çok yıllık bir meyve türüdür. Zeytin meyvesinin tüketilmesi için mutlaka yağa ve sofralığa işlenmesi gerekmektedir. Zeytin işleme teknolojileri zeytinyağı ve sofralık zeytin işleme teknolojileri olarak ikiye ayrılmakta ve her iki teknoloji de çevre kirliliğine neden olmaktadır. Zeytin meyvesi daha çok yağa işlendiği için en fazla sorun da zeytini yağa işleme teknolojisi sonrasında oluşmaktadır. Zeytinyağı işleme teknolojisinde farklı sistemler kullanılmakta ve kullanılan hangi sistem olursa olsun işleme sonrasında mutlaka pirina ve karasu olarak adlandırılan iki yan ürün elde edilmektedir (Tunalıoğlu ve Bektaş, 2010). Bu ürünlerden pirina, ikinci bir işlemeden sonra farklı sektörlere hammadde oluşturmakta iken diğer yan ürün karasu ise henüz ekonomik anlamda değerlendirilememektedir (Tunalıoğlu ve Armağan, 2008).

Karasu, zeytin ve zeytinyağı üretimi yapılan ülkelerde çevreye doğrudan deşarj edilmesi durumunda ciddi bir çevre sorunu olarak kabul edilmekle birlikte konu ile ilgili yapılan araştırmalar henüz tamamlanmamıştır. Bu nedenle, dünyada

önemli zeytinyağı üreticisi ülkeler, karasu sorununa ekonomik ve siyasi yapılarına yada zeytin sektörünün ulusal ve uluslararası organizasyonlara uygunluğuna göre farklı çözümler geliştirmişlerdir (Tunalıoğlu, 2010). Bu sorunun çözümünde bir çok seçenekten söz etmek mümkündür. Bunlar, merkezi bir arıtmayla geri dönüşümün sağlanması, her işletmenin lagün inşaa etmesi, tüm işletmelerin iki fazlı kontinü sisteme dönüştürülerek karasu miktarının azaltılması veya entegre tesisler kurulmasıdır. Bu çözüm önerilerinin tercih edilebilirliği ve uygulanabilirliği ilgili ülkenin ekonomik ve sosyal yapısı ile doğrudan ilişkilidir.

Türkiye, dünyanın önemli zeytin ve zeytinyağı üreticisi ülkelerinden biridir (FAO, 2010; IOC, 2010). Bu nedenle karasu, diğer önemli zeytin üreticisi ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de sorundur. Türkiye'de bu sorun, 2000 yılı sonrasında uygulanan tarım politikaları ile zeytin alanlarının, zeytin ve zeytinyağı üretiminin, dolayısıyla karasu üretiminin artması yanında Türkiye'nin Avrupa Birliği (AB) üyeliği uyum çalışmaları kapsamında düzenlenen Çevre Kanunu ile yasal anlamda önem kazanmıştır.

Bu araştırmada, çözüm önerilerinden biri olan merkezi arıtma tesislerinin kullanımı ve uygulanabilirliği ele alınmıştır. Aydın'da mevcut zeytinyağı işletmelerinde üretilen karasuyun

¹Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, AYDIN.

²University of Southampton, School of Management, Southampton, ENGLAND

toplanması, arıtma tesislerine ulaştırılması ve kurulacak arıtma tesislerinin sayı ve kapasitelerinin belirlenmesi, çalışmanın temelini oluşturmuştur. Ayrıca matematiksel modelleme kullanılarak karasu için önerilecek arıtma tesislerinin ekonomik planlamasının yapılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda bir 0-1 tamsayılı karar modeli önerilmiş ve bu karar modeli Aydın'da bulunan zeytin yağı fabrikaları verileri temel alınarak çeşitli senaryolar üzerine çalışılarak elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Araştırma sonuçları, siyasi otoriteye teknik ve ekonomik veri tabanı oluşturması açısından önemli görülmektedir.

2- Karasu

2.1. Zeytinyağı Teknolojisi ve Karasu

Zeytinyağı üretimi için geleneksel (klasik) ve Kontinü (modern) sistemler kullanılmaktadır. Klasik sistemi; mengeneler, kuru sistem (süper presler) ve sulu sistem (torbalı, hidrolik presler) olarak gruplandırmak mümkündür. Modern (Kontinü) sistemler ise kendi içerisinde 2 fazlı ve 3 fazlı kontinü santrifüjlüme sistemleri, perkolasyon sistemi, kombine perkolasyon ve santrifüjlüme (sinoleo) sistemi olarak ayrılmaktadır (Yemişçioğlu ve diğ., 2001). Dünyada ve Türkiye'de en çok tercih edilen modern sistem ve onun üç fazlı ve iki fazlı üretim sistemleridir. Kontinü sistemlerde kullanılan dekantörler iki veya üç çıkışlı olduğu için yağ, karasu ve pirinanın ayrı ayrı çıktığı sistemler “üç fazlı” olarak adlandırılmakta sadece yağ ve yüksek nem içeriğine sahip pirinanın çıktığı sistemler “iki fazlı” olarak adlandırılmaktadır (Kavaklı, 2002).

Bu işleme yöntemlerinin tümünde zeytinin kendi bünyesinde bulunan suya ilave olarak, preslemeden önceki yıkama ve daha sonra hamur halinde iken verilen su nedeniyle sistemden mutlaka karasu çıkışı olmaktadır. Üç fazlı sürekli sistemde bir ton zeytin işlemek için yaklaşık 600-700 litre su kullanıldığından, sistemden 1000-1200 litre su çıkmakta, iki fazlı sürekli sistemde ise 200-250 litre su kullanıldığından çıkan karasu miktarı daha az olmaktadır (Oktav ve Özer, 2002; Uşaklı, 2010).

2.2. Karasu Sorunu ve Alternatif Çözüm Yöntemleri

Zeytin karasuyu, zeytinyağı işletmelerinde zeytini yağa işleme sonrasında açığa çıkan birçok çözünmüş ve askıda madde içeren bir sıvıdır. Zeytin karasuyunun kimyasal bileşimi, zeytin türüne, yetiştirme koşullarına, meyvenin olgunluk derecesine ve yağ ekstraksiyon yöntemine göre farklılıklar göstermektedir. Zeytin karasuyu genellikle %83-96 su, %3.5-15 organik madde ve %0.5-2.0 mineral tuzları içermektedir. Organik madde, yağdan (%1-14), sakkaritlerden (%13-53), proteinlerden (%8-16),

organik asitlerden (%3-10), polialkollerden (%3-10) ve polifenollerden (%2-15) oluşmaktadır. Karasu organik kaynaklı bir su olmasına rağmen dünyada ve ülkemizde çevre kirliliğine sebep olmaktadır (İkizoğlu, 2007).

Karasu sorununun seçenekli çözüm yöntemlerinde;

Zeytinyağı işletmesi, kurutma ve karasu stoklama ünitesine sahip olan pirina fabrikası, arıtma tesisi ve sofralık zeytin işleme tesislerinin yer alacağı entegre tesisler kurmak; ve bu çözüm için ciddi anlamda finansal kaynak gereklidir. Mevcut işletmelerin yapısı nedeniyle sosyal boyutu dikkate alınması gereken uzun vadede önerilebilecek bir çözümdür.

Üç fazlı sistemle üretim yapan zeytinyağı fabrikalarından çıkan karasuyun arıtma sistemleri vasıtasıyla arıtılması diğer bir çözüm önerisidir. Arıtma tesisi inşaa ve işletme maliyeti ile karasuyun toplanma ve taşınma maliyetlerinin dikkate alınacağı bu yaklaşımda, her bir tesisten şahsı arıtma beklemek maliyetli olacaktır (Tunalıoğlu ve Bektaş, 2010).

Bu çözümün kabul edilebilir ve uygulanabilir olması için tesislerin “Merkezi Arıtma, Toplama, Buharlaştırma Havuzları” şeklinde Organize Sanayi Bölgeleri (OSB) veya belediyelerin şehir atıksu arıtma tesisleri yakınında kurulmaları teknik altyapı anlamında önemlidir (Gördük, 2009).

Zeytinyağı işletmelerinin üç fazlı olarak çalışmaya devam etmesi halinde her işletmenin Çevre ve Orman Bakanlığı'nın istemiş olduğu ölçülere uygun olarak ciddi yatırım maliyeti gerektiren lagünler inşaa edilmesidir. Bu çözümde en önemli engel, koku, sinek, taşma riskleri ve buharlaşma sonrası elde edilen katı tortunun uzaklaştırılmasındaki güçlüklerdir (Eliçora, 2010).

Üç fazlı zeytinyağı işletmelerinin belirli bir program çerçevesinde tamamen iki fazlı sisteme dönüştürülmesi ise diğer bir seçenektir. Bu seçenekte mevcut üç fazlı zeytinyağı işletmelerindeki makinaların iki faza dönüşüm maliyetlerinin yüksek olması ve sistemden karasuyun pirina ile birlikte çıkması nedeniyle pirina fabrikalarında alt yapıda yeni düzenlemelerinin yapılma zorunluluğu söz konusudur. Bu nedenle zeytinyağı fabrikalarına devlet desteği ile en az beş yıllık bir geçiş programı oluşturulması ve bu süreçte işletmeler için yatırım desteği verilmesi gereklidir (TBMM, 2008).

2.3. Aydın'da Karasu

Aydın, Türkiye'nin zeytin alan varlığının %31'ine, ağaç varlığının %15'ine, toplam dane üretiminin %26'sına ve zeytinyağı üretiminin %29'una sahip en önemli üretici ilidir (TUIK, 2010). Aydın ili Türkiye zeytinciliği için önemli olduğu kadar, zeytincilik de il tarımı için çok önemlidir. Halen Aydın'da kayıtlı 155 adet zeytinyağı işletmesi yılda ortalama 236 bin ton yağlık zeytin işlenmekte ve

yaklaşık aynı miktarda karasu elde edilmektedir (Aydın Tarım İl Müdürlüğü, 2010; Rinaldi *et al.*, 2003). Aydın'da zeytin hasadı var-yok yıllarında, Kasım-Ocak ayları arasında yapılmakta ve bu aylarda fabrikalar yoğun olarak çalışmaktadırlar. İlde TARİŞ'e bağlı 13 kooperatif işletmesi dışındaki diğer zeytinyağı fabrikaları özel sektöre aittir (Kendirlioğlu ve Tunalıoğlu, 2008). Aydın'da mevcut fabrikaların %3'ü iki fazlı, geri kalanı üç fazlı sistemde çalışmakta ve kapasiteleri 4 ile 180 ton/gün arasında değişmektedir. Bu fabrikaların çoğunun özel sektöre ait olan, üç fazlı modern sisteme sahip, düşük kapasitede ve atıl çalışmaları nedeniyle çıkan karasuyun deşarjında bireysel çözüm bulmaları ekonomik anlamda mümkün değildir. Bu fabrikaların karasu sorunlarının çözümünde a) Uzun vadede: iki fazlı (ekolojik) sisteme dönüştürülmeleri, b) Orta-uzun vadede üç fazlı sisteme devam etmeleri ile kurulacak arıtma tesis/tesislerinden yararlanmaları c) Kısa vadede lagün inşaa etmeleri ciddi yatırım ve işletme maliyetleri gerektirmektedir. Bu nedenle Türkiye genelinden farklı olmayacak bir biçimde Aydın için de orta-uzun vadede önerilebilecek en uygun çözüm önerisi merkezi arıtma tesislerinin kurulmasıdır. Böylece çoğu küçük ölçekte ve birbirinden uzakta kurulmuş olan zeytinyağı işletmelerinin karasularının toplanarak belirli bölgelerde kurulacak merkezi arıtma tesislerine getirilmesi ve arıtıldıktan sonra sulama suyu, yabani ot kontrolü, gübre, hayvan yemi vb. olarak değerlendirilmesi sağlanacaktır.

3-Materyal ve Yöntem

Bu araştırmanın ana konusunu arıtma tesislerinin ekonomik olarak kurulabilmesi için tesis yerleşimini esas alan bir 0-1 tamsayı karar modeli

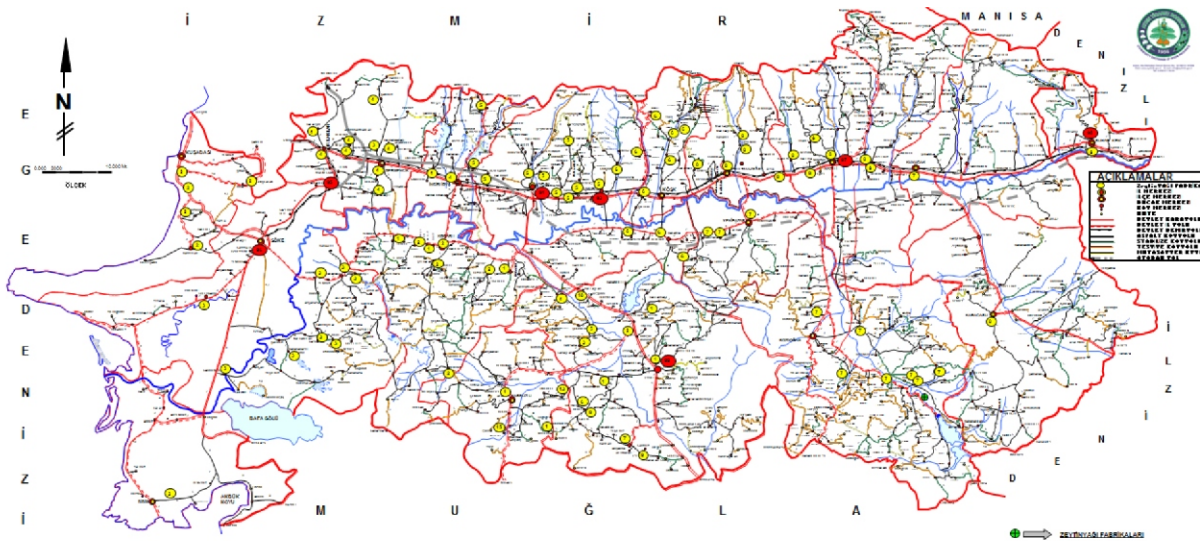
oluşturmaktadır. Bu model, arıtma tesislerinin yerleşim, sayı, kapasite seviyeleri, tesis kurma ve taşıma maliyetleri dikkate alınarak yapılmıştır. Modelin parametreleri yöntemde detaylı olarak açıklanmıştır.

3.1. Materyal

Araştırmanın ana materyalini Aydın'da mevcut zeytinyağı işletmelerinin sayıları, kapasiteleri ve karasu miktarları oluşturmuştur. Zeytinyağı işletme sayıları Aydın Ticaret Borsası, Aydın Sanayi Odası ve Aydın Tarım İl Müdürlüğü kayıtlarının eşleştirilmesi ile elde edilmiştir. Bu işletmelerin toplam sayısı 155 adettir. İşletmeler Aydın merkez ilçe dahil olmak üzere toplam 17 ilçede, Çine, İncirliova, Kuşadası, Kuyucak, Sultanhisar, Bozdoğan, Germencik, Köşk (Umurlu), Yenipazar (Dalama), Karacasu, Karpuzlu, Koçarlı, Nazilli, Buharkent, Söke, Didim'de bulunmaktadır (Şekil 1).

Modele uygulanabilirliğinin kolaylaştırılması için bu işletmelerden birbirlerine çok yakın olanlar birleştirilerek sayıları 92 adete düşürülmüş ve birbirlerine uzaklıkları Google Maps yardımıyla $(92^2/2)-92 = 4140$ adet uzaklık (km) olarak listelenmiştir. Daha sonra bu işletmelerin Aydın'da mevcut Merkez (ASTİM), Umurlu ve Nazilli Organize Sanayi Bölgeleri (OSB) ile henüz planlarda yer alan fakat çalışmayan Çine, Söke, Ortaklar, Buharkent OSB'lerine uzaklıkları bulunmuştur (Aydın Valiliği, 2010). Bu uzaklıklar $92 \times 7 = 644$ adet uzaklık (km) olarak yine Google Maps yardımıyla listelenmiştir. Bu bölgeler Şekil 1'de verilen haritada gösterilmiştir. Haritada büyük ve koyu renkli daireler OSB'leri, ufak ve açık renkli daireler ise tespit edilen zeytinyağı işletmelerini göstermektedir.

Aydın'da tespit edilen 92 zeytinyağı işletmesinin



Şekil 1. Aydın'daki zeytinyağı işletmeleri ve OSB'lerin haritası

günde %40'lık bir randımanla çalıştığı bilgisi ışığında günlük açığa çıkan karasu miktarları hesaplanmıştır (Polat, 2010). Bu hesaplamalar sonucunda bulunan toplam 3430 ton/gün karasu, Çizelge 1'de verilen Aydın Tarım İl Müdürlüğü istatistikleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çizelgeye göre, Aydın'da yıllık ortalama karasu miktarı, işlenen her ton zeytin için yaklaşık bir ton karasu açığa çıktığı hesabına göre 236 036.5 ton olarak tesbit edilmiştir. Bu miktarın bir yıla denk gelen miktarını hesaplamak için 365 günlük/yıl yerine farklı bir yola başvurulmuştur. Aydın'da işletmeler, zeytin üretimi var yılında yaklaşık 3 ay (=90 gün), yok yılında ise 2 ay (=60 gün) çalışmaktadırlar. Bu da her iki sene için ortalama $(90 + 60)/2$ olmak üzere 75 günlük bir ortalama "yıl" ortaya çıkarmaktadır. Çizelge 1'de gösterilen 10 yıl için ortalama karasu miktarı 236 036.5 ton/ 75 gün/ yıl= 3147 ton/gün olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu rakamla araştırmacılar tarafından tespit edilen rakam arasındaki fark, her yıl işletmelere gelen zeytin miktarı ve işletmelerin farklı verimlilikte çalışmaları sonucu ortaya çıkmaktadır. Ancak bu hata payının (%9) üretimdeki belirsizlikler dikkate alındığında planlamada çok ciddi bir farka sebep olmayacağı düşünülmektedir.

Diğer yandan arıtma tesislerinin günlük 100 m³, 200 m³ ve 500 m³ işleme kapasitelerinde olmak üzere üç seviyede açılması öngörülmüştür. Bu tesislerin kurulma maliyetleri sırasıyla 450,000€, 700,000€ ve 1 milyon € olarak tespit edilmiştir. Ulaştırma maliyeti

ise sıvı taşıma kapasitesi 32 ton olan kamyonla taşıma varsayımı altında ton/kilometre başına £0.12 (= 0.14€ = 0.28 TL) olarak alınmıştır (Carter and Troyano-Cuturi, 2010; Gördük, 2009). Bu çalışmada kullanılan tüm parametrelerin bir özeti Çizelge 2'de verilmiştir.

3.2 Yöntem

Arıtma tesis yerleşiminin ekonomik açıdan yapılabilmesi için tamsayı doğrusal programlama modellemesine başvurulmuştur (Hillier ve Lieberman, 2005). Bu tür modellerin çeşitli yerleşim problemlerine ekonomik çözümler bulunmasında faydalı olduğu literatürde belirtilmiştir (Melo *et al*, 2009; Min *et al*, 1998). Bu çalışmada önerilen modelde, toplam günlük tesis ve taşıma maliyetlerinin en küçüklenmesi amacı altında, her fabrikadan çıkan karasuyun tamamının ya da belli bir miktarının haftanın bir günü arıtılabileceği varsayımı altında haftalık bir işletim modeli düşünülmüştür. Kullanılan modelde mevcut fabrikalar $F = \{1, 2, \dots, 92\}$ kümesi, OSB'lerde kurulabilecek yeni arıtma tesisleri $T = \{93, \dots, 99\}$ kümesi, tesislerin kapasite seviyeleri ise $S = \{1, 2, 3\}$ kümesi ile gösterilmiştir. Burada $S = \{1\}$ değeri 100 m³/gün, $S = \{2\}$ değeri 200 m³/gün ve $S = \{3\}$ değeri 500 m³/gün kapasitelerine karşılık gelmektedir. Arıtma plânı haftalık olarak düşünülmüş ve haftanın günleri $H = \{1, \dots, 7\}$ kümesi ile gösterilmiştir. Modelde $i \in F \cup T$ ve $j \in F \cup T$ şeklinde verilen herhangi iki bölge arasındaki uzaklık c_{ij}

Çizelge 1. Aydın 'da yağlık zeytin üretimi (Kaynak:Aydın Tarım İl Müdürlüğü, 2010)

Yıllar	Üretim Alanı (da)	Meyve veren ağaç sayısı (adet)	Üretim (ton)
2000	1 452 790	2 0109 827	437 748
2001	1 459 000	2 0216 510	49 439
2002	1 147 320	1 5201 890	354 305
2003	1 165 290	1 5468 950	27 517
2004	1 171 640	1 5604 109	400 091
2005	1 188 850	15527 402	64 317
2006	1 222 540	1 5979 253	443 765
2007	1 180 430	15744 461	101 223
2008	1 168 652	1 5676 718	309 254
2009	1 171 638	15759 598	172 706
2010	1 175 694	1 5803 098	170 524
Ortalama*		236 036.5	

*2010 yılı tahmini üretim olduğu için 2010 yılı ortalamaya dahil edilmemiştir.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan ana parametreler

Parametre ismi	Değer
Zeytinyağı İşletmesi Sayısı	92
Muhtemel arıtma tesisi sayısı (OSB)	7
Ulaştırma maliyeti	£0.12/ton km (0.28 TL/ton km)
Entegre membran arıtma tesisi kapasite seviye sayısı (fiziksel arıtma)	3
• 100 m ³ /gün hacimli tesis kurma maliyeti	450 000€
• 200 m ³ /gün hacimli tesis kurma maliyeti	700 000€
• 500 m ³ /gün hacimli tesis kurma maliyeti	1 000 000 €

parametresi ile, birim taşıma maliyeti δ ile, her $i \in F$ fabrikasından çıkan karasu miktarı ton cinsinden q_i ile, $j \in T$ OSB'nde $s \in S$ kapasite seviyesinde açılan tesisinin maliyeti f_{js} , kapasitenin miktarı ise b_s ile gösterilmiştir. Bu kapasite, günlük işlenebilecek karasu ile günlük stokta tutulabilecek karasu miktarlarının toplamı olarak hesaplanmıştır. Halen mevcut durumda fabrikaların işleme kapasitelerinin en az iki katı kadar karasuyu stokta tutabilecek alt yapıya sahip olduğu bilinmektedir (Köşklü, 2010). Bu nedenle bir senaryo olarak 100 m³/gün karasu arıtılabilen bir tesisin, 200 m³/gün stok tutabileceği varsayılmıştır. (Arıtma tesislerinin kurulması durumunda bu oranın daha da artacağı düşünülmektedir). Diğer yandan, uzmanlarla yapılan görüşmelerde arıtma tesislerinin dengeleme deposunun hacminin beş günlük kapasiteye eş olarak alındığı ortaya çıkmıştır. Bu durum da başka bir senaryo olarak dikkate alınmıştır. Bu senaryoya göre örneğin 100 m³/gün karasu arıtılabilen bir tesisin 500 m³/gün stok tutabileceği öngörülmüştür.

Doğrusal karar modeli iki tür karar değişkeni kullanmaktadır. Bunlardan ilki x_{ijh} ile gösterilip, $i \in F$ fabrikasından çıkan karasu miktarının haftanın $h \in H$ günü $j \in T$ arıtma tesisine gönderildiği miktarı yüzde olarak göstermektedir. Örneğin $x_{10,94,1} = 0.7$ değeri, 10 numaralı fabrikadan çıkan karasuyun %70'inin haftanın birinci günü (örneğin Pazartesi) 94 numaralı arıtma tesisine gideceğine işaret etmektedir. Modelde kullanılan diğer bir karar değişkeni y_{js} ile gösterilmiş olup, bu değişken $j \in T$ OSB'nde $s \in S$ kapasite seviyesinde tesis açılırsa 1, açılmazsa 0 değerini almaktadır.

Bu tanımlar altında 0-1 tamsayılı karar modeli aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\sum_{j \in T} \sum_{h \in H} x_{ijh} = 1, \quad i \in F, \quad (1)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{i \in F} q_i x_{ijh} \leq \sum_{s \in S} b_s y_{js}, \quad j \in T, \quad (2)$$

$$\sum_{s \in S} y_{js} \leq 1, \quad j \in T, \quad (3)$$

$$Y_{js} \in \{0,1\}, \quad j \in T, s \in S, \quad (4)$$

Kısıtları altında amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\sum_{i \in F} \sum_{j \in T} \sum_{h \in H} \delta c_{ij} X_{ijh} + \sum_{j \in T} \sum_{s \in S} f_{js} y_{js}. \quad (5)$$

Yukarıda verilen modelde (5) ile gösterilen amaç fonksiyonu, açılacak tesisler ile yapılacak taşımaların toplam maliyetini en küçüklemektedir. (1) ile gösterilen kısıt her fabrikadan çıkan karasuyun tamamının (%100) bir arıtılma tesisine gönderilmesi gerektiğini ifade etmektedir. (2) numaralı kısıt, eğer $j \in T$ OSB'ne $s \in S$ kapasite seviyesinde bir tesis açılırsa, burada günlük gönderilen karasu miktarının, tesisin toplam işleme ve depolama kapasitesinden fazla olmaması gerektiğini belirtmektedir. Her tesisin ancak tek bir kapasite seviyesinde açılması gerektiği (3) numaralı kısıt ile temin edilmektedir. (4) numaralı kısıt ise y_{js} değişkenlerinin alabileceği değerleri 0 ve 1 ile kısıtlamaktadır.

Önerilen model, Çizelge 3'de gösterilen çeşitli senaryolar için çalıştırılmıştır. Modelin çözümleri CPLEX 11.2.1 optimizasyon paket programı ile alınmıştır.

Çizelge 3'de görüleceği üzere Senaryo 2, 4 ve 5 için yapılacak taşımaların en fazla 60 km olması gerektiğine dair bir ek kısıt konulmuştur. Bunun sebebi, gerek çeşitli karayolları yasaları, gerekse sürücülerin çalışma zamanları dikkate alınarak, araçların belirli bir mesafeyi aşmalarını önlemek içindir. Burada 60 km, Aydın'ın doğudan batıya olan yaklaşık 130 km'lik uzunluğu gözönüne alınarak belirlenmiştir. Söz konusu kısıtın modele yansıtılması ise aşağıdaki eşitsizliklerin eklenmesi ile gerçekleştirilebilir.

$$x_{ijh} \leq 0, \quad \forall i, j \in F \cup T \mid c_{ij} \geq 60.$$

Senaryolarda görülebilecek başka bir özellik ise bazı OSB'lerin açılmasına öncelik vermektir. Bunlardan Senaryo 4, hâlihazırda çalışan ya da altyapılarının hazır olduğu OSB'leri içermekte, Senaryo 5 ise Aydın ilinin coğrafi yapısını düşünülerek ilin ağırlık merkezlerinde yer alan OSB'ler gözönüne alarak oluşturulmuştur. Bu durum, örneğin $a \in T$ noktasında bulunan OSB'ye öncelik verilme istenmesi hâlinde, modele aşağıdaki kısıtların eklenmesiyle yansıtılabilir:

$$y_{js} \leq y_{as}, \quad \forall j \in T, s \in S.$$

Çizelge 3. Analizi yapılan senaryolar

Senaryo numarası	İncelenen senaryonun tanımı
1	Her 7 OSB'ne arıtma tesisi kurulabilir.
2	Her 7 OSB'ne arıtma tesisleri kurulabilir ancak yapılan taşımalar 60 km'yi aşmamalıdır.
3	Sadece Umurlu, Merkez ve Nazilli OSB'lerine birer tesis kurulabilir.
4	Tüm 7 OSB'ye arıtma tesisleri kurulabilir, yapılan taşımalar 60 km'yi aşmamalıdır ve halen mevcut Umurlu, Merkez ve Nazilli OSB'lerine öncelik verilmelidir.
5	Tüm 7 OSB'ye arıtma tesisleri kurulabilir, yapılan taşımalar 60 km'yi aşmamalıdır ve Umurlu, Merkez ve Çine OSB'lerine öncelik verilmelidir.

4- Araştırma Bulguları

Bu bölümde Çizelge 3'de verilen senaryolar için elde edilen çözümler sunulmuş, her çözüm için tesis kurma maliyeti ve taşıma maliyetleri ayrı ayrı verilmiştir. Modelde dikkat edileceği gibi uzun vadeli (stratejik) bir karar olan tesis kurma ile kısa vadeli (operasyonel) taşıma işlemleri (5) ile gösterilen maliyet fonksiyonunda birlikte ifade edilmiştir. Bu maliyetlerin karşılaştırılabilir olmaları için 10 ve 20 senelik amortisman ömürleri öngörülmüştür. Sözkonusu amortisman ömürleri, tesis kurma gibi stratejik seviyesinde verilen ve uzun süreli kararların geri dönüşümünü yansıtmaları ve zeytin ağacının uzun ömürlü bir bitki olması nedeniyle uzun vadeli seçilmiştir. Benzer denemeler 30 ya da 50 sene gibi daha uzun amortisman ömürleri için de yapılabilir.

Her senaryo için iki tür çözüm alınmıştır. Bunlardan birincisi, yöntem bölümünde tartışıldığı gibi arıtma tesislerinin stok kapasitelerinin günlük üretim hacminin iki katı olarak alındığı durumdur. Bu durum için elde edilen çözümler için maliyet karşılaştırmaları Çizelge 4'de verilmiştir. Çözümlerin detaylı açıklamaları ise açılan arıtma tesislerinin yerleri ve kapasite seviyeleri Çizelge 5'de parantez içinde belirtilerek gösterilmiştir. Parantez içindeki değerlerden 1, 2 ve 3, sırasıyla 100 m³/gün, 200 m³/gün ve 500 m³/gün karasu arıtılabilen tesislere karşılık gelmektedir.

Çizelge 4'te gösterilen maliyetlerde hem 10, hem de 20 sene için tesis maliyetlerinin taşıma maliyetlerine göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, arıtma tesislerinin Aydın'da düşük stok hacimlerine sebep olan işletmelerden günlük olarak çıktığı hesaplanan 3147 ton karasuyun tamamının arıtılabilmesi için yüksek kapasite seviyelerinde açılma gerekliliğine rağmen bunların maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Çizelge 5'te görüleceği üzere tesisler genellikle 200 m³/gün ve 500 m³/gün arıtma kapasitelerinde açılmışlardır. Bu

tabloda ayrıca 4 ve 5 numaralı senaryoların çözümlerinin aynı olduğu görülmektedir. Bir diğer ifadeyle, Umurlu, Merkez ve Nazilli OSB'lerine öncelik vermek ile Umurlu, Merkez ve Çine OSB'lerine öncelik vermek arasında elde edilen sonuçlar açısından bir fark yoktur.

Çizelge 6 ve 7 ise arıtma tesislerinin stok kapasitelerinin, günlük üretim hacimlerinin beş katı olarak ele alındığı durumdaki çözümleri göstermektedir.

Çizelge 6'daki maliyetler, Çizelge 4'te gösterilenlere göre farklılık arz etmektedir. Bu farklılık bilhassa açılan tesislerin maliyetlerinde göze çarpmaktadır. Sonuçlar, Çizelge 7'de verilen yerleşimler dikkate alınarak değerlendirildiğinde tesislerin genellikle daha düşük kapasitelerde açıldığı, bu duruma karşı tesis maliyetini düşürdüğü görülmektedir. Çizelge 5 ve 7 karşılaştırıldığında 2, 3, 4 ve 5 numaralı senaryolardaki yerleşim bölgeleri açısından bir farklılık olmadığı görülmektedir. Ancak Senaryo 1 sonuçlarında dikkate değer bir fark görülmektedir. Bu fark, Çizelge 5'te açılan üç tesise karşılık, Çizelge 7'de de açılan iki tesis olarak ifade edilebilir. Çizelge 6 ve 7'de yüksek stok kapasitelerine sahip olan tesisler, daha düşük maliyetlere sebep olmakla kalmamakta, mevcut karasu aynı zamanda daha az ve düşük arıtma kapasiteli tesislerle artabilmektedir. Bu anlamda açılması planlanan tesislerin yüksek hacimli stok tutabilecek şekilde planlanması tavsiye edilmektedir.

5- Sonuç ve Öneriler

Karasuyun dünyada olduğu gibi Türkiye'de de bir çevre sorunu olduğu kabul edilmektedir. Son yıllarda devletin sertifikalı zeytin fidan desteği ile birlikte artan zeytin ağaç sayısına paralel artan zeytin ve zeytinyağı üretimi, dolayısı ile karasu miktarını da arttırmıştır. Bu sorun için önerilen çözümler arasında yapılacak seçimin sosyal ve ekonomik olarak uygulanabilirliği ve devlet tarafından kabul görerek

Çizelge 4. Maliyet karşılaştırmaları (Tüm maliyetler € cinsinden verilmiştir).

Senaryo No.	10 yıl			20 yıl		
	Toplam Maliyet	Tesis Maliyeti	Taşıma Maliyeti	Toplam Maliyet	Tesis Maliyeti	Taşıma Maliyeti
1	3933.42	3602	331.42	2133.42	1802	331.42
2	3962.87	3602	360.87	2162.89	1802	360.89
3	4032.42	3602	430.42	2232.42	1802	430.42
4	5843.2	5600	243.2	3043.2	2800	243.2
5	5843.2	5600	243.2	3043.2	2800	243.2

Çizelge 5. Çözüm sonuçlarına göre arıtma tesislerinin OSB tabanlı önerilen yerleşimleri

Senaryo	Çözüm
1	Umurlu (3), Ortaklar (3), Çine (2)
2	Söke (3), Nazilli (3), Çine (2)
3	Umurlu (3), Astim(3), Nazilli (2)
4	Umurlu (2), Astim (2), Ortaklar (2), Söke (2), Nazilli (2), Çine (2)
5	Umurlu (2), Astim (2), Ortaklar (2), Söke (2), Nazilli (2), Çine (2)

Çizelge 6. Maliyet karşılaştırmaları (Tüm maliyetler € cinsinden verilmiştir).

Senaryo No.	10 yıl			20 yıl		
	Toplam Maliyet	Tesis Maliyeti	Taşıma Maliyeti	Toplam Maliyet	Tesis Maliyeti	Taşıma Maliyeti
1	2376.03	1934.33	441.7	1409.37	967.67	441.7
2	3164.68	2800	364.68	1764.68	1400	364.68
3	2959.05	2534.33	424.72	1692.39	1267.67	424.72
4	3843.2	3600	243.2	2043.2	1800	243.2
5	3843.2	3600	243.2	2043.2	1800	243.2

Çizelge 7. Çözüm sonuçlarına göre arıtma tesislerinin OSB tabanlı önerilen yerleşimleri

Senaryo	Çözüm
1	Astim (3), Söke (1)
2	Söke (2), Nazilli (2), Çine (2)
3	Umurlu (1), Astim (3), Nazilli (1)
4	Umurlu (1), Astim (1), Ortaklar (1), Söke(1), Nazilli (1), Çine (1)
5	Umurlu (1), Astim (1), Ortaklar (1), Söke (1), Nazilli (1), Çine (1)

desteklenmesi gerekmektedir. Bu çalışma, karasu sorununun çözümünde Tarım Ekonomisi ve Yöneyem araştırması gibi iki farklı disiplinin ortak çalışma sonuçlarını yansıtmaktadır. Bu anlamda önerilen çözümler, teorik olduğu kadar uygulanabilir sonuçları da kapsamaktadır.

Araştırmada karasuyun arıtılmasına yönelik yönetim yaklaşımı ele alınmıştır. Bu yaklaşımda her bir işletmeden tekil çözümler beklemek yerine katı atıkların bertarafı için esas alınan yaklaşıma benzer şekilde merkezi arıtma uygulamasının benimsenmesi öngörülmüştür. Çalışmada, Aydın'da çoğu küçük ölçekli ve birbirinden uzak yerleşim birimlerinde bulunan zeytinyağı işletmelerinin karasularının toplanarak belirli bölgelerde kurulacak merkezi arıtma tesislerine aktarılması esas alınmıştır. Bu yöntemin, Aydın ilinde işletmeler açısından kabul edilebilir ve ekonomik olarak uygulanabilir olması için sistemin "Merkezi Arıtma ve Toplama" şeklinde uygulanması ve arıtma tesislerinin öncelikle teknik alt yapısı tamamlanmış Organize Sanayi Bölgelerinde (OSB) yapılması öngörülmüştür.

Bu çalışmada söz konusu merkezi arıtma ve toplama esasına dayalı kurulacak arıtma tesislerinin yerleşim, kapasite seçimi ile karasu toplama faaliyetlerinin ekonomik olarak yapılabilmesi için matematiksel bir model önerilmiştir. Değişen varsayımlar altında sunulan çeşitli çözümlerden çıkarılacak ana sonuç, böyle bir sistemin en az iki arıtma tesisiyle, tesis ve taşıma maliyetlerinin en aza indirildiği ve aynı zamanda dengelendiği, uygulamaya yönelik ve ekonomik bir çözümün mümkün olduğudur. Ancak bu maliyetler ile arıtma tesislerinin kurulabilmesi için zeytinyağı işletmelerinin bireysel çaba ve bilgileri yeterli olmayacaktır. Bu nedenle devletin mali desteği kadar bu desteğin farklı kaynaklardan (ulusal veya uluslararası) temini önemlidir. Araştırma, karasu sorununda çözüme yönelik alternatif seçeneklerden biri olan arıtma tesislerinin yerleşim planlamaları ve maliyetlerinin tesbitinde veri tabanı oluşturulması

anlamında yapılan ilk ve örnek bir çalışmadır. Bu çalışmanın güncellenerek devamı yanında karasuyun arıtılarak geri dönüşümünün sağlanması bu alternatifin uygulanabilirliğini arttıracaktır.

Teşekkür: Bu çalışmanın hazırlanmasında TÜBİTAK-2219 BİDEB-2010/I kapsamında yürütülen "Environmental Impacts and Solutions Olive Vegetable Water Investigation of Possibilities in Turkey: Aydın Province" adlı projenin sonuçlarından yararlanılmıştır. Bu proje, sorumlu yazarın Temmuz-Aralık 2010 tarihlerinde Southampton Üniversitesi'nde misafir araştırmacı olarak çalıştığı zaman yürütülmüştür. Yazarlarlar projeyi destekleyen TÜBİTAK, teknik imkânları sağlayan Southampton Üniversitesi'ne teşekkürü bir borç bilirler.

KAYNAKLAR

- Aydın Tarım İl Müdürlüğü, 2010. Proje İstatistik Şubesi kayıtları, Aydın
- Aydın Valiliği, <http://www.aydin.gov.tr>. [Erişim:12 Kasım 2010]
- Carter, J. and Troyano-Cuturi, K., 2010. Capsule Pipelines for Aggregate Transport: Economics, Imperial College London, Report.
- Eliçora, T., 2010. Karasu Sorununa Genel Bakış. TARİŞ Zeytin ve Zeytinyağı T.S.K. Birliği. 1 Temmuz 2010. UZZK Toplantı Sunumu, İzmir.
- FAO, 2010. <http://www.fao.org>, [Erişim:10 August 2010]
- Gördük, Y., 2009. Zeytin Karasuyunun Bertarafına Yönelik Yapılan Çalışmalar. Çevre ve Orman Bakanlığı Sunumu. EBSO, İzmir.
- Hillier, F.S. ve Lieberman, G.J., 2005. Introduction to Operations Research, 8th published, McGraw-Hill, NY.
- IOC, 2010. <http://www.internationaloliveoil.org>, [Erişim:12 Temmuz 2010]
- İkizoğlu, E., 2007. Engineering Approach to olive mill wastewater treatment plant Chania Tecnic University, Chania, Greece
- İkizoğlu, E., 2010. Özel Görüşmeler, İzmir, [13 Aralık 2010].

- Köşklü, H., 2010. Özel Görüşmeler, Aydın, [12 Aralık 2010]
- Kavaklı, M., 2002. Zeytinyağ Üretiminden Kaynaklanan Çevre Sorunları ve Seçenekli Arıtım Çözüm Yaklaşımları. I. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Uluslararası Çalıştay, S.51-65. Zeytinli-Edremit, Balıkesir.
- Kendirlioğlu, Ö., Tunalıoğlu, R., 2008. TARIŞ Zeytin ve Zeytinyağı Tarım Satış Kooperatifleri Birliği Faaliyetlerinin Değerlendirilmesi ve Üretici Memnuniyetinin Belirlenmesi: Aydın İli Örneği. Türkiye VIII. Tarım Ekonomisi Kongresi, 25- 27 Haziran 2008, Bursa.
- Melo, MT., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F., 2009. Facility location and supply chain management a review. European Journal of Operational Research 196: 401412.
- Min, H., Jayaraman, V., Srivastava, R., 1998. Combined location-routing problems: A synthesis and future research directions. European Journal of Operational Research 108: 115.
- Oktav, E., Özer, A. 2002. Zeytinyağı Endüstrisi Atıksularının Özellikleri ve Arıtım Alternatifleri. I. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Uluslararası Çalıştay, S.51-65 . Zeytinli-Edremit, Balıkesir.
- Polat, 2010. POLATAŞ AŞ. Özel Görüşmeler, Aydın [12 Aralık, 2010].
- Rinaldi, M., Rana, G., Introna, M. 2003. Olive-mill wastewater spreading in southern Italy: effects on a durum wheat crop. Field Crops Research. V- 84, I. 3, P.319-326
- TBMM. 2008. 23. Dönem. T.B.M.M (11.03.2008-11.07.2008) Türkiye Büyük Millet Meclisi Zeytin ve Zeytinyağı ile Diğer Bitkisel Yağların Üretiminde ve Ticaretinde Yaşanan Sorunların Araştırılarak Alınması Gereken Önlemlerin Belirlenmesi Amacıyla Kurulan(10/27,34,37,40,102) Esas Numaralı Meclis Araştırması Komisyon Raporu, Ankara.
- TÜİK, 2010. www.tuik.gov.tr, [Erişim: 10 August 2010]
- Tunalıoğlu, R., Armağan, G., 2008. Aydın İlindeki Zeytinyağı İşletmelerinde Elde Edilen Yan Ürünlerin Tarım-Sanayi ve Çevre İlişkileri Boyutunda Değerlendirilmesi. Türkiye VIII. Tarım Ekonomisi Kongresi Bildiri Kitabı. Cilt 2. Bursa.
- Tunalıoğlu, R., Bektaş, T. 2010. Türkiye Zeytinciliğinde Karasu Sorunu ve Bazı Çözüm Önerileri. Zeytin Bilimi Dergisi ZAE-Zeytin Bilimi Dergisi, Yıl 1: Sayı-2. Aralık 2010, İzmir
- Tunalıoğlu, R., 2010. TÜBİTAK 2219 BİDEB-2010/I. Environmental impacts and solutions olive vegetable water investigation of possibilities in Turkey: Aydın Province. Proposal Report (23 Şubat 2010), Ankara
- Uşaklı, I., 2010. Aydın'da Karasu Sorunu. Aydın Ticaret Borsası Sunum, Mayıs, 2010, Aydın
- Yemişçiöğlü, F., Gümüşkesen, A. S., Otağ, R. M., 2001. Zeytinyağı üretiminde kullanılan sürekli sistemler ve bu sistemlerin klasik presleme yöntemi ile karşılaştırılması. TMMOB Gıda Mühendisliği Dergisi, 9, 2631.

Sorumlu Yazar

Renan TUNALIOĞLU

r.tunalioglu@adu.edu.tr

Geliş Tarihi : 17.12.2010

Kabul Tarihi : 03.10.2011