

TARIMDA ENERJİ KULLANIMI VE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Doç.Dr. H. Hüseyin ÖZTÜRK¹ Dr. Baran YAŞAR² Arş.Gör. Ömer EREN¹

ÖZET

Tarımsal üretimde insan/hayvan gücü ve makina gücü gibi canlı ve mekanik güç kaynaklarından yararlanır. Tarım ürünlerinin; üretimi, taşınması/dağıtılması, işlenmesi ve saklanması için, fazla miktarda enerji kullanılır. Modern tarımsal üretim sistemlerinde, verimi artırıcı yapay yöntemler uygulanmaktadır. Tarımda mekanizasyon uygulamaları sonucunda tarımsal üretim artmış ve yeni alanlar tarımsal üretime açılmıştır. Diğer taraftan, tarımdaki modern teknoloji uygulamaları için enerji tüketimi artmıştır. Tarım alet/makinaları ve pestisit kullanımı, en önemli enerji kaynağı olan fosil yakıtların tüketimini gerektirmektedir. Ek enerji kullanımı, doğal sistemler ile karşılaştırıldığında, tarımsal ekosistemlerin enerji etkinliğini önemli düzeyde azaltmaktadır. Özellikle pestisit üretiminde yoğun bir şekilde enerji tüketilir. Tarımsal sistemler, doğal işlemleri de kapsadığından, doğal kaynakların yönetiminde enerji etkinliğinin değerlendirilebilmesi için, enerji kullanımının analiz edilmesi gerekir.

Çalışma kapsamında; tarımsal üretimde elektrik, yakıt, yağ, kömür, petrol ürünleri, doğal gaz, biyokütle vb. enerjilerin tüketilmesi sonucunda gerçekleşen doğrudan enerji kullanımı ve insan/hayvan iş gücü, tarım alet/makinaları, gübre, tarımsal savaş ilaçları, sulama ve tohumluk üretimi için tüketilen enerji miktarından oluşan dolaylı enerji kullanımı incelenmiştir. Fosil yakıtların doğrudan veya dolaylı olarak kullanımıyla ortaya çıkan çevresel sorunların etkin bir şekilde önlenmesi için, bütün sektörlerde olduğu gibi, tarım sektöründe de yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması gerekmektedir. Tarım sektöründe etkin olarak yararlanılabilecek başlıca yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisinin tarımsal üretimde kullanımı incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Tarım, Enerji Kullanımı, Yenilenebilir Enerji Kaynakları

¹Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü 01330 ADANA
e-mail: hhozturk@cu.edu.tr; oeren@cu.edu.tr

²Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü 01330 ADANA
e-mail: byasar@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Bütün sektörlerde enerji kullanımı, 1970'li yıllardan bu yana en çok önem verilen konulardan birisi olmuştur. Dünya genelindeki ülkeler, 1973 ve 1979 yıllarındaki petrol krizlerinde sonra, enerji korunumuna ilişkin önlemlere yoğun olarak ilgi göstermeye başlamışlardır. Daha sonraları 1980'li yıllarda, esas olarak fosil yakıtların yanması sonucunda oluşan çevre kirliliğine önem verilmeye başlanmıştır. Son yıllarda; enerji kullanımı, sera gazı emisyonları ve bunların küresel iklim değişikliklerine olan potansiyel etkileri en çok tartışılan konulardan birisidir. Endüstri, ulaştırma, ticaret, konut ve tarım sektörlerinde enerji kullanımını azaltmanın en etkin yöntemlerinden birisi de, enerji kullanma etkinliğini artırmaktır. Günümüz endüstri dünyasında, enerji ve diğer kaynaklarının kullanımı önemli düzeye ulaşmıştır. Bu nedenle, bir taraftan doğal kaynakların temini azalmaya başlamış, diğer taraftan da çevre kirliliği gibi doğal ortama verilen zararlar artarak devam etmektedir. Bununla birlikte, enerji dönüşümüne ilişkin teknik iyileştirmeler yeterince etkin bir şekilde gerçekleştirilememektedir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, gelecekteki enerji üretim ve tüketim düzeylerinin belirlenebilmesi için; nüfus artışı, ekonomik üretkenlik, tüketici alışkanlıkları ve teknolojik gelişmeler gibi dikkate alınması gereken birçok etmen vardır. Enerji sektörüne ilişkin yönetim biçimleri, gelecekteki enerji üretim ve tüketim düzeyi ve dağılımında önemli rol oynayacaktır.

Enerji kullanımı ile ilgili sorunlar, sadece küresel ısınma ile sınırlı değildir. Hava kirliliği, asit yağmurları ve ozon azalımı gibi çevresel konular enerji kullanımı ile yakından ilişkilidir. Enerji kullanımının yarattığı çevresel etkilerin en düşük düzeyde olabilmesi için, belirtilen konuların tamamının birlikte dikkate alınması gerekir. Enerji etkinliğinin artırılması, enerji kaynaklarının çevresel etki değerlendirmesi açısından önemlidir. Daha az enerji kullanmak ve çevreye en düşük düzeyde zarar vermek için, sistem etkinliğinin artırılması gerekir. Enerji kaynaklarının kıtlığı ve dikkatsiz kullanılması sonucunda oluşan istenilmeyen yan etkiler, enerji tüketimini doğru bir şekilde planlanma ve dikkatli bir şekilde değerlendirmeyi gerektirmektedir. Sektörel bazda enerji tüketimini değerlendirmenin yararları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 1) Enerji kaynaklarından yararlanma sırasında oluşan çevresel etkileri belirlemek.
- 2) Enerji kaynaklarının daha etkin olarak kullanılmasını sağlamak.
- 3) Enerji sistemlerindeki atık ve kayıpların değerlerini, tiplerini ve gerçekleştiği yerleri belirlemek.
- 4) Mevcut enerji sistemlerindeki etkinsizlikleri azaltarak, etkin tasarım yöntemleri geliştirmek.
- 5) Enerji kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde kullanarak sürdürülebilir bir kalkınma sağlamak.
- 6) Yüksek ve düşük kaliteli enerji kaynaklarının kullanım alanlarını ve yararlanma açısından önceliklerini belirlemek.
- 7) Etkin teknolojilerden yararlanarak iyileştirme sağlanabilecek alanları belirlemek.

2. TARIMDA ENERJİ KULLANIMI

Yeryüzünde yaşayan insanlar için çok eski zamanlarda en önemli güç kaynağı onların kendi kas güçleri ve besledikleri hayvanların güçleri olmuştur. Kas gücü, gelişmekte olan birçok ülkede birçok farklı tarımsal üretim işlemlerinde yaygın olarak kullanılır. Dünyayı batı bölgelerinde yaklaşık 1945 yılından bu yana tarım, büyük ölçüde mekanik olmuş ve gübre, tarım ilaçları yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Fosil yakıtların kullanıldığı mekanizasyon araçları, tarımda insan gücünün kullanımını sınırlandırmıştır. Tarımda doğrudan veya dolaylı olarak fosil yakıt enerjilerinin kullanılması, üreticiler açısından ekonomik olarak kazançlı duruma gelmiştir. Gelişmekte olan ülkelerde, başta gübre üretimi ve makine kullanımı olmak üzere tarımsal üretimde fazla miktarda fosil yakıt kullanılmaktadır. Modern tarımsal üretim işlemlerinin fosil yakıt kullanılmadan gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Fosil yakıt enerjisi, besin üretim hızını etkilemekle birlikte, genellikle besin enerjisine dönüştürülemez. Örneğin, gübre, ürün gelişimini hızlandırır ve besin üretimini artırır. Fakat gübre üretiminde kullanılan enerji ürün içinde görünmez. Üretimi desteklemesine ve arttırmasına rağmen, enerji üretimi, dönüşüm işleminin bir bölümü değildir. Giren enerji miktarı ürüne bağlı olarak değişmekle birlikte, ürün ile kazanılan enerji miktarı

kullanılan enerjiden türetilmemektedir. Enerji kaynaklarının kısıtlılığı ve dikkatsiz kullanılması sonucunda oluşan istenilmeyen yan etkiler, enerji tüketimini doğru bir şekilde planlanma ve dikkatli bir şekilde değerlendirmeyi gerektirmektedir. Tarımda enerji kullanımını iki grupta incelenir:

- 1) *Doğrudan enerji kullanımı* : Elektrik, yakıt, yağ, kömür, petrol ürünleri, doğal gaz, biyokütle vb. enerji girdileri
- 2) *Dolaylı enerji kullanımı* : İnsan ve hayvan iş gücü, tarım alet/makinaları, gübre, tarım ilaçları, sulama ve tohumluk üretimi için tüketilen enerji miktarı

Doğrudan enerji girdisinin tanımlanması ve analiz edilmesi kolaydır. Diğer taraftan, dolaylı enerji girdisinin tanımlanması ve analiz edilmesi kısmen daha zordur. Enerji analizlerinde bu yaygın bir sorundur. Bazı dolaylı enerji girdileri, toplam enerji tüketiminin belirli bir oranı olarak dikkate alınabilir. Örneğin, tarımsal üretim işlemlerinde kullanılan alet ve makinaların tamir ve bakım giderleri satın alma maliyetinin belirli bir oranı olarak dikkate alınmaktadır. Benzer yaklaşım, tamir/bakım işlemleri için enerji girdisinin belirlenmesi amacıyla uygulanırsa, tasarım enerjisinin belirli bir oranı tamir/bakım enerji olarak dikkate alınabilir.

2.1. Tarımsal Üretimde Doğrudan Enerji Kullanımı

Tarımsal üretim işlemlerinde doğrudan tüketilen başlıca enerjiler; kömür, petrol ürünleri, doğal gaz ve biyokütle gibi yakıtların içerdiği enerjisilerdir. Ayrıca, tarım sektöründe bir enerji taşıyıcısı olan elektrikten yaygın bir şekilde yararlanılır.

2.1.1. Yakıt Enerjisi

Fiziksel ve kimyasal yapısında bir değişim meydana geldiğinde enerji (ısı) açığa çıkaran her türlü malzemeye genel olarak *yakıt* denir. Yakıtların en önemli özelliklerinden birisi de, enerji üretebilmek amacıyla depolanabilmeleri ve sadece gerektiğinde bir iş üretebilmek amacıyla gerekli olan enerjinin üretimi için kullanılabilmesidir. Yakıtlar; katı, sıvı ve gaz yakıtlar olmak üzere genel olarak üç gruba ayrılırlar.

Kömür, petrol ve doğal gaz gibi yakıtlar, fosil kökenli yakıtlardır. Günümüzde kullandığımız enerjinin pek çoğu fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtlar, milyonlarca yıl boyunca, bitkilerin ve hayvanların çürümesi ile oluşmuştur. Fosil yakıtlar delerek (sondaj) veya kazarak yeryüzüne çıkarılabilir. Şu anda da yeraltında ısı ve basınçla bu yakıtlar oluşmaktadır. Ancak, bu oluşumdan daha hızlı olarak da tüketilmektedir. Bu sebeple fosil yakıtlar kısa süreçte *yenilenemeyen enerji kaynakları* olarak değerlendirilebilir. Diğer bir deyişle, kullandığımızdan daha az bir bölümü yeniden oluşmaktadır. Özellikle de artan nüfus, şehirleşme ve endüstrileşme pek çok yıldır bu yakıtlarla karşılanan enerji gereksiniminin daha da fazlalaşmasına neden olmaktadır. Bu yakıtların tükenmesi ve fiyatlarının devamlı artmasının yanı sıra, yanmaları sonucu çevreye verdikleri zararlar ve insan sağlığı üzerindeki etkileri de önemlidir.

Sıvı yakıtlar genel olarak; 1) petrol esaslı yakıtlar, 2) alkol ve 3) yağlar olmak üzere üçe ayrılırlar. İçten yanmalı motorlarda günümüzde petrolden elde edilen sıvı yakıtlar kullanılır. Motorların tarihî gelişimi içinde, katı ve gaz yakıtlardan da bu amaçla faydalanılmış ise de, birçok teknik ve ticarî sorun bunların kullanım alanlarının genişlemesini engellemiştir. Sıvı yakıtların aşağıdaki özellikleri, motor yakıtı olarak kullanılmalarında öncelik kazanmalarını sağlar:

- ✓ Birim kütle veya hacim başına verdikleri enerji çok yüksektir.
- ✓ Bu enerji çok çabuk olarak ısı enerjisine dönüşür.
- ✓ Hava ile kolayca karıştırılabilir.
- ✓ Yandıktan sonra kül bırakmazlar.
- ✓ Kolay taşınır ve depolanırlar.

Petrolden elde edilen sıvı yakıtların kimyasal yapıları, karbon (C) ve hidrojen (H) bileşiminden oluşur. Karbonun hidrojenle yaptığı bu bileşiklere *hidrokarbon* denir ve C_nH_m kapalı formülü ile gösterilir. Sıvı yakıtlar tüm organik maddelerden elde edilebilir. Ancak, günümüzde en önemli doğal kaynak petroldür.

2.1.1.1. Tarım Alet ve Makinaları İçin Yakıt Enerjisi

Tarımsal üretim işlemlerinde alet/makina ile iş yapma sırasında tüketilen yakıt ve yağ enerjisi, alet/makina kullanımına ilişkin doğrudan enerji tüketimi olarak dikkate alınır. Tarımsal üretim işlemlerinde tüketilen doğrudan enerjiler arasında, elektrik ve tarım alet/makinalarında kullanılan yağ ve yakıt enerjisi değerleri önemli yer tutar. Elektrik ve yağ ve yakıt enerjisi değerleri yeterli doğrulukta belirlenebilmektedirler.

Tarımsal üretim işlemlerinde başlıca mekanik güç kaynağı olarak traktör kullanılır. Bir traktörün doğrudan enerji tüketimi (yakıt tüketimi) çalışma koşulları altında L/h veya kg/h olarak ölçülebilir. Traktör için özgül yakıt tüketimi, geliştirilen birim güç veya üretilen enerji başına tüketilen yakıt miktarıdır. Özgül yakıt tüketimi (g/kWh), traktör motorunun etkinliğini gösterir ve traktörün gücü ve yakıt tüketimine bağlı olarak hesaplanır. Traktör yakıt tüketimi, yapılan işe ve motor yüküne bağlı olarak değişir. Bir tarım traktörünün kullanım süresine bağlı olarak yakıt tüketimi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

$$V_f = q_s \times T_1 \times P_m = \frac{g}{kWh} \times h \times kW = g \quad (1)$$

Burada;

V_f = traktörün kullanım süresine bağlı olarak gerçekleşen toplam yakıt tüketimi (g),
 q_s = ortalama özgül yakıt tüketimi (g/kWh),
 T_1 = traktörün kullanım süresi (h) ve
 P_m = traktör motorunun gücüdür (kW).

Tarım traktörlerinin saatlik yağ tüketimi kuyruk mili gücüne bağlı olarak, aşağıdaki eşitlik ile belirlenebilir.

$$Q_{yağ} = 0,00059 \times P_{max} + 0,02169 \quad (2)$$

Burada;

$Q_{yağ}$ = traktörün saatlik yağ tüketimi (L/h) ve
 P_{max} = maksimum kuyruk mili gücüdür (kW).

Traktör motorlarının mekanik özelliklerine bağlı olarak etkinliklerinin belirlenmesine ilişkin birçok model geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan bazı modellerde motor torku gibi birçok teknik verilere de gereksinim duyulmaktadır. Belirli bir tarımsal ürünün üretimi için yapılan enerji analizinde, yakıt tüketimi normal olarak birim alan için tüketilen yakıt miktarı (L/ha) olarak dikkate alınır. Tarımsal üretim işlemleri sırasında birim alan (ha) için doğrudan yakıt enerjisi kullanımı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$YE = AİV \times YT \times YID \times US \quad (3)$$

Burada;

YE = yakıt enerjisi (MJ/ha),
 $AİV$ = alan iş verimi (h/ha),
 YT = yakıt tüketimi (L/h),
 YID = yakıtın alt ısıl değeri (MJ/L) ve
 US = uygulama sayısıdır.

Tarla çalışmalarında başlıca güç kaynağı olarak kullanılan traktörün yakıt tüketimi, yapılan işleme ve güç kullanımına bağlı olarak değişir. Biçme veya hasat gibi işlemler için yakıt tüketimi daha azdır. Bununla birlikte, ilaçlama uygulamaları veya malç serme gibi işlemlerde, yakıt tüketimi bir öncekilere kıyasla 2 kat daha fazladır. Traktörün yakıt tüketimi, gücü ve yaptığı işin dışında;

tarlanın eğimi, kullanılan alet/makinanın kütlesi, operatörün yeteneği vb. birçok etmene bağlı olarak değişir.

2.1.1.2. Sulama Uygulamalarında Doğrudan Enerji Tüketimi

Tarımsal üretimde sulama uygulamaları için enerji kullanımı, doğrudan ve dolaylı enerji tüketimlerinden oluşur. Sulama sistemlerinin enerji tüketimi, tarım alet/makinalarının enerji tüketiminin belirlenmesinde uygulanan yöntemle benzer şekilde belirlenir. Sulama uygulamaları için motorların çalıştırılması için kullanılan yakıt ve elektrik miktarı doğrudan enerji tüketimini oluşturur. Sulanan alan başına doğrudan enerji tüketimi aşağıdaki gibi belirlenir.

$$SE_D = \frac{H_m \times Q \times \rho \times g}{\eta_p \times \eta_m} \quad (4)$$

Burada;

SE_D = sulamada doğrudan enerji tüketimi (J/ha),

H_m = toplam manometrik yükseklik (m),

Q = sulama suyu debisi (m^3/h),

γ = sulama suyunun yoğunluğu (kg/m^3),

g = yerçekimi ivmesi ($9.81 m/s^2$),

η_p = sulama pompasının etkinliği (%) ve

η_m = elektrik motorunun etkinliğidir (%).

2.2. Tarımsal Üretimde Dolaylı Enerji Kullanımı

2.2.1. İnsan ve Hayvan İş Gücü

Tarımsal üretim işlemlerinde kullanılan alet/makinaların çalıştırılması için kuvvet kaynaklarına gereksinim duyulmaktadır. Bu amaçla ilk defa canlı kuvvet kaynaklarından yararlanılmıştır. Canlı kuvvet kaynakları içerisinde insan ve iş hayvanları yer almaktadır. Canlı kuvvet kaynaklarının iş yapabilme yetenekleri genel olarak aşağıdaki eşitlik ile belirlenebilir (Dinçer, 1981).

$$W = F \times V \times T \quad (5)$$

Burada;

W = günde yapılan iş miktarı (J),

F = harcanan kuvvet (N),

V = çalışma hızı (m/dakika) ve

T = günde çalışılan süredir (dakika).

Normal bir insanın ortalama gücü 0.07-0.08 kW, günde yapabildiği iş miktarı ise 1986-2251 kJ alınabilmektedir. Bu değerler insanın bedensel yapısına, çalışma koşullarına, çalışılan süreye vb. faktörlere göre önemli ölçüde değişebilmektedir. Tarımsal işlemlerde kullanılan insan işgücüne ilişkin enerji tüketiminin hesaplanmasında, çalışma süresi esas alınır. İnsan işgücü ile değişik tarımsal işlemlerin yapılması sırasında gerçekleşen enerji tüketimi değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Tarımsal üretim işlemleri sırasında fiziksel etkinlikler için insan kas gücünden yararlanır. İnsan iş gücünün güç karşılığı 74.6 W değerindedir.

Kuvvet kaynağı olarak kullanılan başlıca hayvan türleri: at, öküz, manda, katır ve inektir. Genel bir ortalama olarak atların çeki kuvveti, canlı ağırlıklarının % 12-14'ü arasında; öküzlerin ise canlı ağırlıklarının % 13-15'i arasında alınmaktadır. Hayvanın cinsi, ırkı, yaşı, çalışma koşulları vb. faktörler çalışma hızını etkiler. Ülkemizde ortalama olarak tarla çalışmalarında atın hızı 1.25 m/s; öküzün hızı ise 0.8 m/s alınabilir. Bir hayvanın çalışma süresi, yapılan işin ağırlığına, çalışma koşullarına, beslenme durumuna ve benzeri faktörlere bağlı olarak değişir. Çalışma süresi ile birlikte zamandan yararlanma katsayısının da bilinmesi gerekir. Ülkemizde atlar küçük yapılı (ortalama 300-310 kg) olduklarından günde ortalama olarak 7848-8829 kJ iş yapabilmektedirler. Bu değerler tarla çalışmaları için geçerlidir (Dinçer, 1977). Bir çift öküzün güç eşdeğeri 746 W'dır.

Çizelge 2.1. İnsan İşgücü İle Değişik Tarımsal İşlemlerin Yapılması Sırasında Gerçekleşen Enerji Tüketimi Değerleri (Dinçer, 1977 ve Uzmay, 1984)

Yapılan iş	Enerji tüketimi (kJ/dakika)
Kazma veya kürekle çalışma	25.12
Orakla biçme	29.30
Tırpanla biçme	29.30
Sap bağlama	30.56
Sap taşıma	21.35
Sapı dövücüye yedirme	24.28
Bağlı sapı tarım arabasına yükleme	23.44
Pancar tarım arabasına yükleme	23.44
Hayvan ile sürme	24.70
Makina ile sürme	17.58
Pancar çapalama (kadın)	13.39
Pancar seyreltme (kadın)	10.88
Patates toplama	10.88
Düz yolda yürüme (Hız = 5.5 km/h)	23.44
Tarlada yürüme (Hız = 5.3 km/h)	31.81
20 kg yükü omuzda taşıma	15.07
El ile çalışma	5.02
Çift kol ile çalışma	6.28-12.56
Vücut ile çalışma	10.26-48.14

İnsan alan iş verimi (ha/h) ile insan işgücüne ilişkin enerji tüketimi değeri çarpılarak, birim alan için yararlanılan insan enerji eşdeğeri belirlenir. Tarımsal üretim işlemleri sırasında işgücüne ilişkin doğrudan enerji tüketimi aşağıdaki gibi belirlenir.

$$İE = \frac{İS \times ÇS}{İA} \times İEE \quad (6)$$

Burada;

- İE = işgücü enerjisi (MJ/ha),
- İS = işçi sayısı (adet)
- ÇS = çalışma süresi (h),
- İA = işlenen alan (ha) ve
- İEE = işgücü enerji eşdeğeridir (MJ/h).

2.2.2. Alet/Makina Kullanımına İlişkin Dolaylı Enerji Tüketimi

Tarımsal üretim işlemlerinde kullanılan değişik tarım alet/makinalarının; üretim, onarım ve bakım işlemleri sırasında doğrudan ve dolaylı enerji tüketimi gerçekleşir. Alet/makine kullanımına ilişkin doğrudan ve dolaylı enerji tüketimi, bu makinalar için enerji maliyetini oluşturur. Tarım alet/makinaları için belirtilen amaçlarla tüketilen elektrik, dizel yakıtı, kömür, doğal gaz vb. doğrudan enerji tüketimini oluşturan etmenlerdir. Bununla birlikte, tarım alet/makinalarının üretim, onarım ve bakım işlemlerinde yararlanılan insan işgücü, hammadde ve donatım araçları dolaylı enerji tüketimini oluşturur. Tarım alet/makinalarının kullanımına ilişkin dolaylı enerji tüketimi kapsamında, aşağıdaki işlemlerde tüketilen enerji miktarları dikkate alınır:

- Alet/makinaların imalatında kullanılan hammaddelerin çıkarılması-taşınması-işlenmesi için tüketilen enerji miktarı,
- Fabrikada hammaddeden alet/makina tasarım/imalat işlemleri için kullanılan enerji miktarı,
- Alet/makinanın tamir/bakım işlemlerinde kullanılan enerji miktarı ve
- Alet/makinanın dağıtım/ taşınması için kullanılan enerji miktarı

Alet/makinaların imalatında kullanılan hammaddelerin üretimi ve alet/makinaların imalat işlemleri sırasında kullanılan enerji miktarı, makina yapım enerjisi olarak dikkate alınır. Tarım alet/makinalarının yapım enerjisi; üretimde kullanılan ham maddelerin çıkarılması-taşınması-işlenmesi ve bu hammaddelerden imalat işlemleri sırasında üretim için kullanılan enerji miktarı kapsar. Alet/makina yapım enerjisinin birimi (J/kg), alet/makinanın son durumdaki kütlesi başına tüketilen enerji miktarıdır. Tarımsal üretim işlemleri sırasında her bir tarla uygulaması için kullanılan tarım alet/makinalarının yapım enerjilerine ilişkin dolaylı enerji tüketimi aşağıdaki gibi belirlenir.

$$MYE = (ME + TE) \times AMK \quad (7)$$

Burada;

- MYE = makina yapım enerjisi (MJ),
ME = malzeme üretim enerjisi (MJ/kg),
TE = alet/makine imalatı sırasında tüketilen tasarım enerjisi (MJ/kg) ve
AMK = alet/makinanın toplam kütlesidir (kg).

Alet/makina yapım enerjisinin hesaplanmasında, alet/makina yapımında kullanılan malzeme ve üretim işlemlerinde tüketilen enerji miktarı dikkate alınır. Alet/makina yapımında kullanılan malzemeler, çelik ve kauçuk olmak üzere başlıca iki grupta toplanabilir. Bu malzemelerin üretiminde tüketilen enerji miktarı, alet/makina yapım enerjisinin belirlenmesi açısından önemlidir. Tarım alet/makinaları, yapım malzemesi ve tasarımda tüketilen enerji miktarlarına bağlı olarak Çizelge 2.2'deki gibi sınıflandırılır.

Çizelge 2.2. Tarım Alet/Makinalarının Tasarım ve Tamir/Bakımı İçin Enerji Tüketimi (Audsley ve Ark. 1997)

Kategori	Tanımlama	Örnek	Çelik oranı (%)	Kauçuk oranı (%)	Tasarım için enerji tüketimi (MJ/kg) ^a	Tamir/bakım için enerji tüketimi (yapım enerjisinin %'si) ^b		
A	A1	Kendi yürür	Küçük traktörler	Traktör, 40 kW	95	5	14.6	45
	A2	makinalar	Büyük traktörler	Traktör, 50 kW	95	5	14.6	26
	A3		Diğer tekerlekli	Biçerdöver	95	5	12.9	23
B	Toprak işleme makinaları	Pulluk, kültivatör, diskaro	100	0	8.6	30		
C	Diğer makinalar	Gübre dağıtıcı, balya makinası	100	0	7.4	26		

a) Elektrik olarak tasarım işlemlerinde tüketilen enerjidir.

b) Tamir için tüketilen enerjinin enerji kaynaklarına göre dağılımı: % 62 elektrik, % 26.5 fuel-oil, % 3 dizel ve % 8.5 doğal gaz.

Çelik malzemenin üretimi için tüketilen enerji miktarı 32.6–62.5 MJ/kg aralığında yer alır. Çelik malzemenin üretimi için tüketilen enerji miktarı, 33 MJ/kg (% 53 fuel oil, % 24 elektrik, % 17 doğal gaz ve % 7 dizel yakıtı), kauçuk malzemenin üretimi için tüketilen enerji miktarı da 23.4 MJ/kg olarak dikkate alınabilir. İsveç'te çelik üretimi için 24 GJ/Mg enerji tüketilmektedir. Farla ve Blok (2001) tarafından yapılan bir çalışmada enerji tüketimi çelik ve cevherden üretilen demir için 22.5 GJ/Mg ve geri dönüşümlü çelik ve demir için 8.5 GJ/Mg olarak bildirilmiştir.

Tarım alet/makinalarının tamir/bakım işlemleri için tüketilen enerji miktarı içerisinde, bu işlemler için doğrudan kullanılan enerji miktarı ve değiştirilen parçaların üretimi için kullanılan enerji miktarı dikkate alınır. Tamir/bakım işlemleri için tüketilen enerji miktarı, kullanılan enerji kaynağına bağlı olarak önemli miktarda değişir. Yapım enerjisinin belirli bir oranı, tamir/bakım için enerji tüketimi olarak dikkate alınır.

$$TBE = MYE \times TBEY \quad (8)$$

Burada;

TBE = alet/makinanın tamir/bakım enerjisi (MJ) ve
TBEY = tamir/bakım enerjisi yüzdesidir (%) (Çizelge 2.2).

Alet/makinanın dağıtım/taşınması için kullanılan enerji, alet/makinanın üretildiği atelye/fabrikadan tüketiciye ulaştırılması için tüketilen enerji miktarı olarak dikkate alınır. Tarım alet/makinalarının dağıtım/taşınma işlemleri için enerji tüketimi kütle başına 8.8 MJ olarak dikkate alınır. Bu durumda tarım alet/makinalarının dağıtım/taşınma işlemleri için enerji tüketimi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$TDE = AMK \times 8.8 \quad (9)$$

Burada; TDE= alet/makinanın taşıma/dağıtım enerjisidir (MJ).

Makina yapım enerjisi olarak 86.38 MJ/kg değeri, tamir/bakım için bu değer yaklaşık 0.55'i ve dağıtım/taşınma için 8.8 MJ/kg değeri dikkate alındığında, alet/makina için toplam dolaylı enerji tüketimi 142.7 MJ/kg olarak dikkate alınır (Kallivroussis ve Ark., 2002). Traktör ve tarım alet/makinaları için tasarım enerji olarak, alet/makina imalatı için 40 MJ/kg_{çelik} değerinde enerji tüketildiği varsayılarak, kullanılan alet/makinanın her ton kütlesi başına 10 MJ/h değeri dikkate alınır. Makina çalışma süresi, 10 yılda 4000 h olarak kabul edilir. Alet/makina tamir/bakımı için enerji tüketimi olarak 188 MJ/ha yıl değeri dikkate alınır (Kuesters ve Lammel, 1999). Tarım alet/makinaları için alan başına yapım ve tamir/bakım enerjisi değerleri Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Bazı Tarım Alet/Makinaları İçin Birim Alan (ha) Başına Yapım ve Tamir/Bakım Enerjisi Değerleri (Mikkola ve Ahokas, 2009)

Alet/Makina	Kütle (kg)	İş genişliği (m)	1 m iş genişliği başına kütle	Çalışma hızı (km/h)	1 m iş genişliği başına kapasite (ha/h)	Kullanım süresi (h)	Kullanım süresince tamir/bakım enerjisinin yapım enerjisine oranı	Yapım + tamir/bakım için enerji (MJ/kg)	Alan başına yapım + tamir/bakım enerjisi (MJ/ha)
Pulluk, 4 soklu	936	1.60	585	7	0.7	2000	0.97	180	75.2
Çizel pulluk	1296	3.00	432	8	0.8	2000	0.51	140	43.2
S dişli tırmık	1353	3.80	356	8	0.8	2000	0.55	143	31.8
Kombine ekim mak.	1375	2.50	550	8	0.8	1500	0.55	143	65.5
Doğrudan ekim mak.	3192	3.00	1064	10	1.0	1500	0.55	143	101.4
Merdane	1824	4.00	456	6	0.6	2000	0.55	143	54.3
Tarla pülverizatörü	396	12.00	33	7	0.7	1500	0.37	119	15.1

Tarımsal üretim işlemleri sırasında her bir tarla uygulaması için kullanılan tarım alet/makinalarına ilişkin işlenen alan başına dolaylı enerji tüketimi aşağıdaki gibi belirlenir.

$$MDE = \frac{MYE + TBE + TDE}{EÖ \times EIK} \times US$$

(10)

Burada;

MDE = alan başına alet/makina kullanımına ilişkin dolaylı enerji tüketimi (MJ/ha),

EIK = etkin iş kapasitesi (ha/h),

EÖ = alet/makinanın ekonomik ömrü (h) ve

US = uygulama sayısıdır.

Tarımsal üretim işlemlerinde alet/makinaların etkin iş kapasiteleri (EİK, ha/h) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$EİK = \frac{ÇH \times İG \times TE}{10} \quad (11)$$

Burada;

- ÇH = alet/makinanın çalışma hızı (km/h),
İG = alet/makinanın iş genişliği (m) ve
TE = tarla etkinliğidir.

Tarım alet/makinalarının yararlı kullanım ömrü, bakım işlemlerine ve kullanım yoğunluklarına bağlı olarak değişir. Çizelge 2.4'de görüldüğü gibi, tarım makinalarına ait ekonomik ömürler 10-15 yıl arasında değişmektedir. Alet/makinaların kullanım yoğunlukları, işletmelere bağlı olarak önemli düzeyde değişir ve yararlı kullanım sürelerini etkiler. Tarım alet/makinaları için kesin bir değerde olan belirli bir kullanım süresi yoktur. Tarım alet/makinalarının kullanım süresi; alet/makinanın kullanımına, servis olanaklarına ve teknik/ekonomik gelişme hızına bağlıdır. Teknolojik gelişmelerin çok hızlı gerçekleşmesi, alet/makinaları belirli bir süreden sonra teknik/ekonomik olarak olumsuz bir şekilde etkilemektedir.

Çizelge 2.4. Bazı Tarım Alet ve Makinalarının Kullanım Süreleri (Audsley ve Ark. 1997)

Alet/makina	Kategori	Kütlesi (kg)	Yararlı ömrü (yıl)	Yararlı ömründe kullanım süresi (h)
Traktör, 40 kW	A1	2300	12	7200
Traktör, 50 kW	A2	3400	12	6000
Mineral gübre dağıtma makinası	C	125	10	800
Çiftlik gübresi/kompost dağıtma makinası	C	1400	10	3000
Hava akımlı pülverizatör (2000 litre)	C	640	10	3000
Yabancı ot pülverizatörü	C	640	10	400
Çayır biçme makinası	C	450	8	400
Malç serme makinası	C	500	8	640

2.2.3. Sulama Uygulamalarında Dolaylı Enerji Tüketimi

Sulama uygulamalarında dolaylı enerji girdisi, sulama işleminde kullanılan motor ve pompaların üretiminde tüketilen toplam enerji miktarıdır. Sulama uygulamalarında dolaylı enerji tüketimi; sistemi oluşturan elemanların imal edildiği hammaddelerin işlenmesi ve hammaddelerden üretim için tüketilen enerji miktarını kapsar. Sulama uygulamaları için dolaylı enerji tüketimi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$SE_{IN} = \frac{SEK \times EYE}{EEÖ \times SA \times ESK} \times US$$

(12)

Burada;

- SE_{IN} = sulamada dolaylı enerji tüketimi (MJ/ha),
SEK = sulama ekipmanı kütlesi (kg),
EYE = ekipman yapım enerjisi (MJ/kg),
EEÖ = ekipmanın ekonomik ömrü (h),
SA = sulanan toplam alan (ha) ve
ESK = etkin sulama kapasitesidir (ha/mm).

Sulama uygulamaları için dolaylı enerji tüketimini belirlemek oldukça güç olduğundan, doğrudan enerji tüketiminin belirli bir oranı, sulama uygulaması için dolaylı enerji tüketimi olarak

dikkate alınabilir. Sulama uygulamalarında dolaylı enerji tüketimine ilişkin, hareketli yağmurlama sulama sistemleri için bu oran % 18 olarak dikkate alınabilir.

2.2.4. Gübre Kullanımına İlişkin Dolaylı Enerji Tüketimi

Tarım alanlarının yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmasıyla verim artmış ve buna bağlı olarak da tarımsal üretim artmıştır. Verim artışı, gübre tüketimiyle doğrudan ilişkili olduğundan, bu gelişmenin önümüzdeki 30 yılda da devam etmesi beklenmektedir. Gübre kullanımının artması, ekolojik etkiler ve iklim değişikliği arasındaki etkileşim bu konuda belirleyici bir işleve sahip olacaktır.

Gübre üretiminde değişik hammaddeler ve ara ürünler kullanılır. Gübre endüstrisi, üretimi yoğun enerji tüketilen bir sektördür. Endüstri sektöründe tüketilen toplam enerjinin yaklaşık olarak % 15'i gübre endüstrisinde tüketilmektedir. Hammade olarak, farklı enerji kaynakları (başlıca hidrokarbonlar), amonyak üretimi için yakıt ve azot ve kompoze gübre üretimi için ara ürünler kullanılır. Gübre üretiminde fazla miktarda enerji tüketildiğinden, atmosfere önemli miktarda CO₂ salınır. Tarımsal üretimde kullanılan kimyasal gübrelerin enerji eşdeğeri, gübre üretim işlemlerinde kullanılan bütün girdilerin enerji eşdeğerlerinden hesaplanır. Diğer bir deyişle, kimyasal gübrelerin enerji maliyetleri, bu gübrelerin üretiminde kullanılan tekniklerle doğrudan ilişkilidir. Kimyasal gübrelerin üretimi için enerji tüketimi değerleri Çizelge 2.5'de verilmiştir. Tarımsal üretimde biyolojik girdi olarak değerlendirilen bazı hayvan gübreleri ve kompostlara ilişkin enerji eşdeğerleri Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.5. Gübre Üretiminde Enerji Tüketimi (Ramirez ve Worrel, 2006)

Gübre	Enerji tüketimi (MJ/kg)
Üre (% 46)	50.0
Kalsiyum amonyum nitrat (CAN, % 25)	42.0
Amonyum nitrat (% 33-35)	40.0
Üçlü süper fosfat (TSP, % 46 P ₂ O ₅)	8.00
Tekli super fosfat (SSP, % 16-20 P ₂ O ₅)	6.50
Amonyum fosfat	18.5
PK 22-22	31.5
Potasyum klorit	5.00
NPK-(17-17-17)	53.0

Çizelge 2.6. Bazı Biyolojik Girdilerin Enerji Eşdeğerleri (Guzman ve Alanso, 2008)

Biyolojik girdiler	Enerji eşdeğeri (MJ/kg)
Ticari kompost	10.5
Sığır gübresi	3.80
Koyun gübresi	11.1
Tavuk gübresi	10.9

Gübre kullanımına ilişkin birim alan başına toplam dolaylı enerji tüketimi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$(13) \quad GE = \sum_{l=1}^{l=s} \left[\sum_{n=1}^{n=u} \frac{[N.N_{eş}]_n}{A} + \sum_{n=1}^{n=u} \frac{[P_2O_5.P_{eş}]_n}{A} + \sum_{n=1}^{n=u} \frac{[K_2O.K_{eş}]_n}{A} \right]$$

Burada;

- GE = birim alana toplam gübre enerjisi girdisi (MJ/ha),
- N = uygulanan azotlu gübre miktarı (kg),
- N_{eş} = azotlu gübre üretimi için tüketilen enerji miktarı (MJ/kg),
- P₂O₅ = uygulanan fosforlu gübre miktarı (kg),
- P_{eş} = fosforlu gübre üretimi için tüketilen enerji miktarı (MJ/kg),
- K₂O = uygulanan potaslı gübre miktarı (kg),

- $K_{eş}$ = potaslı gübre üretimi için tüketilen enerji miktarı (MJ/kg),
 A = gübrelenen alan (ha) ve
 n = gübre uygulama sayısıdır.

2.2.5. Tarım İlacı Kullanımına İlişkin Dolaylı Enerji Tüketimi

Dünyanın batı bölgelerinde, tarımsal üretimde yoğun bir şekilde mekanizasyon uygulanan yaklaşık olarak 1950'li yıllarda pestisit kullanımı başlamıştır. Pestisitler, tarımsal üretim alanlarındaki yabancı ot, böcek ve bitki patojenlerinin kontrolü için kullanılır. Bununla birlikte, pestisitler zehirlidir ve kirlilik tehlikesi de oluştururlar. Pestisitlerin üretim işlemlerinde yoğun bir şekilde enerji kullanılır. Pestisit ve gübre üretiminde kullanılan enerji miktarı, tarımsal üretimin enerji etkinliğini etkiler. Tarımda kullanılan toplam enerjinin çok az bir bölümü pestisit uygulamalarına ilişkin olmakla birlikte, tarımsal üretimdeki diğer girdiler ile karşılaştırıldığında, pestisitler için birim kütle başına yoğun bir şekilde enerji tüketimi gerçekleştirilmektedir. Ortalama olarak, 1 kg pestisit üretimi için, 1 kg azotlu gübre üretiminden 4-5 kat daha fazla enerji kullanılır (Helsel, 1987).

Pestisit üretimi, çok karmaşık işlemlerden oluşur ve üretilen her kg pestisit için yoğun bir şekilde enerji kullanılır. Üretim işlemlerinin fiziksel, kimyasal ve termodinamik özellikleri, pestisitlerin enerji maliyetlerini belirler. Pestisitlerin önemli bir bölümü, etilen ve propilenden üretilir. Etilen ve propilen ise, ham petrolün katalitik parçalanması veya doğal gazdan metan üretimi sonucunda elde edilir. Bazı pestisitlerin üretimi için diğerlerinde fazla miktarda enerji kullanılır. İnsektisit bileşiklerinin üretimi için enerji gereksinimi, kg etkili madde (EM) başına ortalama olarak 214 MJ/kg_{EM} iken, bu değer herbisitlerin üretimi için ortalama 269 MJ/kg_{EM}'dir. Fungusit üretimi için gereksinim duyulan enerji miktarı 156.7 MJ/kg_{EM}'dir. Bu rakamlardan da görüldüğü gibi, pestisitler içerisinde enerji maliyetleri açısından en ekonomik grup fungusitlerdir. Pestisitler için enerji girdisi, ferbam için 63.6 MJ/kg_{EM} ve cypermethrin için 578.2 MJ/kg_{EM} olmak üzere geniş bir aralıkta değişir (Ferrago, 2003). Pestisit üretimindeki enerji girdisi, hammaddenin yanında bulunan hidrokarbonlardan ve üretim işlemlerinde tüketilen ısı ve elektrik miktarlarından oluşur.

Pestisit kullanımına ilişkin toplam enerji tüketimini değerlendirebilmek için, tarım işletmesinde kullanılan pestisit miktarının bilinmesi önemlidir. Farklı üretim sistemleri, birim alan için gerekli enerji miktarı bakımından farklılık gösterebilir. 1 ha mısır üretimi için enerji girdileri dikkate alındığında, pestisitler toplam enerji girdisinin yaklaşık % 8-15'ini temsil ederken, soya fasulyesi üretiminde bu oran % 24 ve buğday üretiminde sadece % 3 düzeyindedir. Bu farklılıklar, üretim sistemlerindeki zararlı türleri ve yoğunluğunun farklı olması ile açıklanabilir. Birim alanda kullanılan son enerji değeri önerilen doza bağlı olarak değişir. Hektar başına toplam enerji, chlorsulfuran için 14.5 MJ/ha değerinden propachlor için 1444.5 MJ/ha değerinde kadar değişir (Ferrago, 2003). Bununla birlikte, sadece üretim ve uygulama giderleri dikkate alındığında, bu farklılık çok belirgin değildir. Pestisit üretimi, daha enerji-yoğun pestisitlerin üretimine doğru gelişir iken, hektar başına uygulama oranları gittikçe azalmaktadır. Tarımsal üretimde pestisit kullanımına ilişkin birim alan başına toplam dolaylı enerji tüketimi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$(14) \quad PE = \sum_{l=1}^{l=s} \left[\sum_{n=1}^{n=u} [H \times H_{eş}]_n + \sum_{n=1}^{n=u} [I \times I_{eş}]_n + \sum_{n=1}^{n=u} [F \times F_{eş}]_n \right]$$

Burada

- PE = birim alana toplam pestisit enerjisi girdisi (MJ/ha),
 H = birim alana herbisit uygulama normu (kg(L)/ha),
 $H_{eş}$ = herbisit üretimi için tüketilen enerji miktarı (MJ/kg (L)),
 I = birim alana insektisit uygulama normu (kg(L)/ha),
 $I_{eş}$ = insektisit üretimi için tüketilen enerji miktarı (MJ/kg (L)),
 F = birim alana fungusit uygulama normu (kg(L)/ha),
 $F_{eş}$ = fungusit üretimi için tüketilen enerji miktarı (MJ/kg (L)) ve
 n = ilaç uygulama sayısıdır.

2.2.6. Tohumluk Üretimi İçin Enerji Tüketimi

Tarımsal üretimde kullanılan tohumluk ve diğer hormonlar biyolojik enerji girdileri olarak dikkate alınır. Tarımda bitkisel üretim için kullanılan tohumluk miktarına ilişkin dolaylı olarak tüketilen tohumluk enerjisi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$TE=EN \times (TÜE+PTE)$$

(15)

Burada;

- TE = tohumluk enerjisi (MJ/ha),
EN = ekim normu (kg/ha),
TÜE = tohum üretim enerjisi (MJ/kg) ve
PTE = paketleme ve taşıma enerjisidir (MJ/kg).

Tohum üretimi için kullanılan enerji miktarı; kışlık buğday tohumu üretimi için 3.5 MJ/kg ve şekerpancarı tohumu üretimi için 50 MJ/kg olarak dikkate alınır (Kuesters ve Lammel, 1999). Ayçiçeği tohumu üretimi için tüketilen enerji miktarı (tohumluk üretim enerjisi) olarak 26.3 MJ/kg değeri dikkate alınır (Kallivroussis ve Ark., 2002). Bakla tohumu için 15.9 MJ/kg dikkate alınır (Guzman ve Alanso, 2008).

2.3. Tarımda Enerji Kullanım Etkinliği

Tarımsal üretimde enerji etkinliği teriminden; herhangi bir ürünün üretimi için kullanılan enerjiden üretilen ürün miktarı anlaşılabilir. Tarımsal üretim işlemlerinde enerjinin etkin kullanımı önemlidir. İşletme ölçeğinde yapılacak olan etkin bir mekanizasyon planlaması ile işletme için uygun mekanizasyon alt yapısı sağlanmalıdır. Tarımda enerji kullanım etkinliğinin belirlenmesinde Çizelge 2.7'de verilen göstergelerden yararlanılır. Enerji etkinliğinin artırılması, enerji kaynaklarının çevresel etki değerlendirmesi açısından önemlidir. Daha az enerji kullanmak ve çevreye en düşük düzeyde zarar vermek için, sistem etkinliğinin artırılması gerekir.

Çizelge 2.7. Tarımda Enerji Kullanım Etkinliği Göstergeleri

Gösterge	Tanım	Birim
Enerji oranı	Enerji çıktısı / Enerji girdisi	-
Özgül enerji	Toplam enerji girdisi / Hasat edilen toplam ürün	MJ/kg
Enerji üretkenliği	Hasat edilen toplam ürün / Toplam enerji girdisi	kg/MJ
Net enerji verimi	Toplam enerji çıktısı – Toplam enerji girdisi	MJ

Tarımsal üretim sonucunda kazanılan başlıca çıktılar, ana ürün ve yan ürünlerdir. Tarımsal üretim sonucunda elde edilen ana ürün ve yan ürünlere ilişkin enerji çıktısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$TEÇ = (AÜV \times E_{aü}) + (YÜV \times E_{yü}) \quad (16)$$

Burada;

- TEÇ = toplam enerji çıktısı (MJ/ha),
AÜV = ana ürün verimi (kg/ha),
YÜV = yan ürün miktarı (kg/ha),
E_{aü} = ana ürünün enerji eşdeğeri (MJ/kg) ve
E_{yü} = yan ürünün enerji eşdeğeridir (MJ/kg).

3. TARIMDA YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ KULLANIMI

Tarımsal üretim işlemleri arasında çok fazla miktarda enerji tüketilen başlıca işlemler: sulama, ürün kurutma, sera ve hayvan barınaklarının ısıtma ve soğutulmasıdır. Bu işlemler sırasında yaygın olarak; motorin, doğal gaz, elektrik, sıvılaştırılmış petrol gazı veya propan gibi yakıtlar kullanılır. Fosil yakıtların doğrudan veya dolaylı olarak kullanımıyla ortaya çıkan çevresel sorunların etkin bir şekilde önlenmesi için, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanması

gerekir. Bununla birlikte, tarım sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik uygulanabilirliği ve uygulama yöntemi, bölgesel koşullara bağlı olarak değişir. Tarım sektöründe etkin olarak yararlanılabilecek başlıca yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisidir.

3.1. Tarımda Güneş Enerjisi Kullanımı

Güneş enerjisi sistemleri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte, ısı sistemleri ve elektrik sistemleri olmak üzere iki grup altında incelenebilir. Bu sistemlerde, öncelikle güneşin ışınım enerjisinden ısı enerjisi elde edilir. Güneş ısı sistemlerinin düşük ve yüksek sıcaklıktaki uygulamaları vardır. Düşük sıcaklıktaki uygulamalar; yapıların ısıtılmasını, konut, sanayi ve tarımda çeşitli ısı gereksinimlerinin karşılanmasını kapsarken, yüksek sıcaklıktaki uygulamalar buhar üretiminden maden eritmeye kadar uzanmaktadır. Isıl uygulamalar içinde su ısıtıcılar, yapıların ısıtılması ve soğutucular önemlidir. Güneş enerjisinin diğer ısı uygulamaları kurutma, acı ve tuzlu suların arıtılması, sıcak hava motorları ile diğer termodinamik ısı çevrimler olup, tarımda ve çeşitli sanayi kesimlerinde bu uygulamalardan yararlanılabilir (Ültanır, 1998).

3.1.1. Güneş Enerjisiyle Kurutma

Kurutma, tarım ürünlerinin bünyesinde bulunan fazla suyun buharlaştırılarak uzaklaştırılması işlemidir. Kurutulmuş gıdalar, diğer muhafaza yöntemlerinden farklı olarak, besin öğeleri açısından yoğunlaştırılmış nitelik kazanır (Yağcıoğlu, 1996). Doğal kurutmada hijyenik ve ekonomik sorunlarla karşılaşıldığından, araştırmacılar, kurutmaya ilgili çalışmalarda, alışlagelmiş kurutma yerine daha çağdaş uygulamaları koyma çabasıdadır. Kurutma yöntemleri arasında doğal kurutmadan sonra en ekonomik olanı, güneş enerjisiyle ısıtılan havayla yapılan kurutmadır (Kısakürek, 1980).

Güneş enerjili kurutucular, işletme maliyetleri çok düşük olduğundan, birçok gıdanın kurutulmasında kullanılabilir. Yatırım maliyetleri ise diğer kurutucular ile eşdeğer durumdadır. Bu tip kurutucular, meyve ve sebzelerin yanı sıra; hububat, baharat, çay ve kahvenin kurutulmasında kullanılabilir. Güneş enerjisi kullanılarak geliştirilen kurutucularda, hava güneş toplaçlarında ısıtılır. Isınan hava, kurutulacak olan gıdaların bulunduğu bölümden geçirilerek, suyun buharlaştırma işlemi gerçekleşir. Güneş enerjili kurutma sistemlerinin, güneşte doğal kurutmaya göre üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Ünalın, 2006):

- ✓ Kurutulacak ürün tozlanma, zararlı böcekler ve yağmur gibi dış etkenlerden korunabilir.
- ✓ Ürün yeterli hava dolaşımı sağlanarak homojen bir şekilde kurutulur.
- ✓ Kurutma havası, ürünün zarar görmeyeceği en yüksek sıcaklığa kadar ısıtılabilir.
- ✓ Kurutma ortamına hava giriş ve çıkış debileri ile kurutma hızları kontrol edilebilir.

Güneş enerjili kurutucuları hava dolaşımına bağlı olarak iki ana sınıfta toplamak mümkündür:

- 1) Güneş enerjili aktif kurutucular (Zorlamalı taşınım)
- 2) Güneş enerjili pasif kurutucular (Doğal taşınım)

Güneş enerjili kurutucular güneşten etkileşimlerine ve hava akımına göre sınıflandırılmaktadır. Hava akımı, zorlamalı taşınım durumunda fanlar aracılığı ile, doğal taşınım durumunda ise, hava çıkışlarına kurulan bacalar aracılığı ile gerçekleştirilir. *Doğrudan etkileşimli sistemlerde* kurutma ortamı güneş toplayıcıları altında kalır. Sera etkisi ile ısınan hava kurutma işlemi gerçekleştirir. *Güneş enerjili dolaylı kurutucularda* ise, kurutma kabini güneş ışınımının altında tutulmaz ve yalıtım ile sistemden ayrılır. Hava, sadece güneş toplaçlarında ısıtılarak sisteme aktarılır. *Birleşik tip kurutucularda* ise hava, güneş toplaçlarında ısıtılır ve kurutucu kabini güneş altında tutularak kurutma yapılır (Dalgıç, 2006).

3.1.2. Güneş Enerjisiyle Sera Isıtma

Son yıllarda, örtü altı yetiştiriciliğinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik olarak yapılan araştırmalar; ısıtma amacıyla yeni ve yenilenebilir doğal enerji kaynaklarının kullanılmasına ve fosil yakıtların tüketildiği geleneksel ısıtma sistemlerine alternatif olarak, düşük maliyetli ve etkinliği

yüksek ısıtma sistemlerinin geliştirilmesine yönlendirilmiştir. En önemli yenilenebilir enerji kaynağı olan, güneş enerjisinden sera ısıtma amacıyla yararlanılması durumunda, sera tarımının toplam üretim giderleri içerisinde büyük yer tutan ısıtma giderleri azalacak ve buna bağlı olarak üretim maliyeti azalacaktır. Sera iç ortam sıcaklığının düşük olduğu dönemlerde, sera ısıtmada güneş enerjisinden etkin olarak yararlanabilmek için aşağıdaki iki koşulun sağlanması gerekir:

- 1) Güneş ışınımını ısı enerjisine dönüştürmek
- 2) Sera sıcaklığı düşük olduğunda, ısı gereksinimini karşılamak amacıyla ısı enerjisini depolamak

3.1.2.1. Seralarda Güneş Enerjili Isıtma Sistemleri

Sera ısıtmada güneş enerjisinden etkin olarak yararlanabilmek için, toplam güneş ışınımının ısı enerjisine dönüştürülmesinde uygulanan yöntemlere bağlı olarak, üç farklı yöntemle tasarımı olan güneş enerjili ısıtma sistemlerinden yararlanılabilir (Öztürk ve Başçetinçelik, 2003):

- 1) Sera dışına yerleştirilen ve ısı taşıyıcı akışkan olarak hava/su kullanılarak, güneş toplaçlarından kazanılan ısı enerjisini, depolanacak ortama (ısı deposuna) göndermek.
- 2) Sera içerisine yerleştirilen ve seranın bütünleşik bir elemanı olan güneş toplaçlarından kazanılan ısıyı, sera tabanına yerleştirilen ve içerisinde katı/sıvı durumda ısı depolama materyali bulunan ısı depolarında depolamak. Bu yöntemde ısı toplama ünitesi olarak, çift kat örtü arasından akışkan dolaşımıyla, IR ışınımın soğurulması için, çift katlı çatı veya duvarlardan yararlanılır.
- 3) Sera yapısından bir toplaç gibi yararlanarak, sera içerisine ulaşan güneş ışınımının büyük bir bölümünü ısı enerjisine dönüştürmek.

Seralarda Güneş Enerjili Pasif Isıtma Sistemleri

Güneş enerjili pasif ısıtma sistemlerinde, ısı toplama ünitesi sera içerisindedir. Pasif ısıtma uygulamalarının bazılarında, sera yapısı güneş ışınımından en yüksek oranda enerji kazanımına uygun olarak tasarlanır. Böylece, seranın kendisinden bir toplaç olarak yararlanır. Sera iç ortamında, gündüz süresince güneş ışınımından kazanılan ısı, bir akışkan aracılığıyla ısı depolama materyalinde depolanır. Depolanan ısı, ısıtma gereksinimi duyulan gece sürelerinde geri kazanılır. ısı depolama ünitesi bulunmayan bazı pasif ısıtma sistemlerinde, sera ısı gereksiniminin karşılanması için etkin özellikte olmayan yöntemler uygulanır. Güneş ışınımından en yüksek oranda enerji kazanılması için seranın geometrik yapısından yararlanır. Soğuk dönemlerde, sera ortamında güneş ışınımından enerji kazanmak amacıyla, yansıtıcı yüzeyler kullanılır. Pasif ısıtma sistemlerinde ısı depolama materyali olarak; su, toprak, çakıl veya kırma taş ve faz değiştiren materyal (PCM) gibi değişik özellikte materyaller kullanılır.

Seralarda Güneş Enerjili Aktif Isıtma Sistemleri

Güneş enerjili aktif ısıtma sistemlerinde, seradan bağımsız durumda tasarımı olan ısı toplama ve depolama ünitelerinden yararlanır. Sera örtüsüyle güneş ışınımından kazanılan ısı enerjisiyle birlikte, aktif ısıtma sistemindeki ısı toplama ünitesiyle toplanılan ısı enerjisi uygun şekilde depolanarak, ısı gereksiniminin önemli bir bölümü karşılanabilir. Bununla birlikte, bu sistemlerdeki özellikle ısı toplama ünitelerinin fazla alan kaplaması, ilk yatırım ve daha sonraki işletme giderlerinin yüksek olması, bu sistemlerin, ekonomik uygulanabilirliğini önemli ölçüde kısıtlamaktadır. Son yıllarda, güneş enerjili aktif ısıtma sistemlerine ilişkin araştırma ve geliştirme çalışmalarıyla, uygulamada karşılaşılan bu tür sorunların giderilmesine yönelik belirli teknik çözümler sağlanmıştır.

3.1.3. Güneş Enerjisiyle Sulama

Uzun bir geçmişi olan sulama işlemi için en az çaba ile su pompalama amacıyla birçok yöntem geliştirilmiştir. Su pompalama için uygulanan bu yöntemlerde, insan enerjisi, hayvan gücü, rüzgar, güneş ve fosil yakıtlar gibi değişik güç kaynaklarından yararlanılmaktadır. Güneş pili (PV) sistemleri, özellikle elektriğin ulaştırılmadığı yerlerde su temini ve tarımsal sulama amacıyla tasarımı olmaktadır. Özellikle Türkiye gibi, çok fazla güneş ışınımı alan ülkelerde, PV sistemlerin en ümitvar uygulama alanlarından birisi de, belirli bir ürünün sulanması için, gerekli suyun

pompalanması amacıyla güç kaynağı olarak kullanılmalarıdır. Güneş enerjili sulama (GES) sistemlerinin tasarımında, sistemin çalıştığı süre boyunca, sistemdeki doğal etmenler de (iklim, hidroloji, kuyu, pompalama sistemi, sulama, tarım ve güç kaynağı) dahil olmak üzere sistemi oluşturan bütün bileşenler ayrıntılı olarak dikkate alınır.

GES sistemlerinin, içten yanmalı motorlar ile çalıştırılan sulama sistemlerine kıyasla başlıca üstünlükleri; pratik olarak bakım gereksinimlerinin olmaması, kullanım sürelerinin uzun olması, yakıt gerektirmemeleri ve dolayısıyla çevreyi kirletmemeleridir. Diğer önemli bir üstünlükleri de, enerji kaynağı olarak güneşten yararlanmalarıdır. Sulama uygulamalarında, suya en fazla gereksinim duyulan zaman, güneş ışınımının en fazla olduğu zamandır. Bu durum, bu sistemler için bir üstünlük olarak değerlendirilebilir. Bu sistemlerin başlıca olumsuzlukları ise; başlangıç maliyetlerinin yüksek olması ve PV panel verimlerinin geçerli hava koşullarına bağlı olarak değişmesidir.

Güneş pili (PV) sistemlerinin maliyetlerinin yüksek olması, bu sistemlerin olabildiğince doğru bir şekilde boyutlandırılmasını gerektirmektedir. GES sistemlerinin tasarımında; suyun pompalanacağı toplam yükseklik, gereksinim duyulan günlük su ve bölgedeki ortalama güneş enerjisi miktarlarının önceden hesaplanması veya tahmin edilmesi gerekir. Bu çalışmada, meyve bahçelerinde damla sulama amacıyla, su pompalama sistemi için gerekli PV tesisatın tasarım ölçütlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla; ürün su gereksinimi, toplam sulama gereksinimi, belirli bir yüksekliğe belirli bir hacimde su pompalamak için günlük olarak gerekli hidrolik enerji, PV panellerin sağlaması gereken en yüksek enerji miktarı, PV panellerin gücü ve güneş pili gereksinimi gibi tasarım ölçütlerinin belirlenmesi gerekir.

PV sistemler bağımsız uygulamalar için yaygın bir şekilde kullanılır. Su pompalama uygulamaları, bağımsız PV sistemlerin başlıca uygulama alanıdır. Su pompalama uygulamalarında, güneş ışınımının bulunduğu sürelerde su pompalanır veya daha sonra kullanılmak üzere depolanır. Güneş ışınımının olmadığı sürelerde kullanılmak üzere akülerde güç depolanabilir. Akü dolum sistemi kullanılması durumunda, sistemin kontrolü için elektronik kontrol üniteleri gereklidir.

GES sistemleri; 1) PV paneller, 2) motor-pompa ünitesi ve 3) dönüştürücü olmak üzere başlıca üç bileşenden oluşur. Sistem tasarımın bağlı olarak, depolama aküleri ve şarj regülatörü (dolum kontrolörü) kullanılabilir. Aküler, bulutlu günlerde güneş ışınım şiddetinin düşük olması durumunda, sistemin çalışmasına olanak sağlar. Bununla birlikte, akü kullanılmayan sistemler daha ucuz ve daha basittirler, bakım gereksinimleri pratik olarak yoktur. Elektrik motoru, güç gereksinimi ve akım tipine bağlı olarak seçilmelidir. AC ile çalışan motor kullanılması durumunda, sisteme DC/AC dönüştürücü yerleştirilmesi gerekir.

GES sistemlerinin tasarımında; bölgenin iklim verileri, bitki su tüketimine ilişkin özellikler, sulama sisteminin özellikleri ve su kaynağına ilişkin özellikler dikkate alınmalıdır. GES sisteminde kullanılacak olan elektrik motoru, güç gereksinimi ve akım tipine bağlı olarak seçilmelidir. Sulama sistemi ve PV üreticinin enerji ve maliyet etkinliği için aşağıdaki etmenlerin dikkate alınması gerekir (Öztürk, 2009):

- 1) Su kaynağı etkin bir şekilde kullanılmalıdır. Sadece ürün için gereksinim duyulan su miktarı dikkate alınmalıdır. Bu miktar, yağış döneminde toprağın yağmursuyu tutma kapasitesine bağlı olarak belirlenir.
- 2) Ürün için gereksinim duyulan su miktarı, sulama başlıklarındaki basıncı dengeleyebilmek için toprak seviyesinin üstünde gerekli en düşük yükseklikte sağlanmalıdır.
- 3) Belirli bir ürün için en etkin sulama yöntemi uygulanmalıdır. Meyve ağaçları için en etkin sulama yöntemi, gömülü damlatıcılardan oluşan damla sulama yöntemidir.

3.1.4. Güneş Enerjisiyle Toprak Dezenfeksiyonu (Solarizasyon)

Toprak dezenfeksiyonu, bitki türlerinin ekim ve dikimden önce kök sisteminin enfeksiyon riski taşımadan gelişebilmesi için patojenlerin yok edilmesi işlemidir. *Toprak dezenfeksiyonu* toprağın çeşitli yöntemlerle mikroorganizmalardan arındırılması işlemidir. Bu işlem toprağa çeşitli fiziksel ve kimyasal maddelerin uygulanması ile gerçekleştirilir. Toprağın ısıtılması, seralarda bitki

yetiştiriciliğinde toprak kökenli zararlıların kontrolünde kullanılmaktadır. Toprak dezenfeksiyonu için üç yaklaşım vardır (Öztürk, 2008a):

- 1) Buhar uygulaması
- 2) Biyofumigasyon
- 3) Toprak solarizasyonu

Buharla dezenfektasyon ve biyofumigasyon uygulamaları, 130 yıl önce geliştirilmiş uygulamalardır. Ancak, uygulamada her iki yöntem de ekonomik değildir. Üçüncü uygulama olan solarizasyon; maliyeti düşük, uygulaması kolay, çevre dostu ve kısmen yeni bir yaklaşımdır. Toprak kaynaklı zararlıların yok edilmesi için, yaygın olarak kimyasal dezenfektan kullanımına ilişkin artan kaygı, yeni ve çevre ile dost stratejilerin geliştirilmesi gereksinimini doğurmuştur. Toprak fumigasyonunda yüksek toksisiteli temel maddelerin kullanılması, sadece toprak kaynaklı zararlıları yok etmekle kalmamakta, aynı zamanda saprofit bakterilerin ve yararlı mikro floranın da ölmesine neden olmaktadır (Gamliel ve Ark. 2000). Metil bromid çok zehirli ancak, çok yaygın kullanımı olan bir kimyasaldır. Metil bromidin ozon tabakasına olan olumsuz etkileri nedeniyle, aşamalı olarak 2005'te sanayileşmiş ülkelerde, 2015'te ise gelişmekte olan ülkelerde kullanımından vazgeçilecektir. Bu bileşiğe alternatif olacak yeni bir bileşik arayışına girilmiştir.

Toprak solarizasyonu, yeterince nemlendirilmiş toprakta uygun bir dönemde, malçlama yolu ile fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ısı değişimleri oluşturabilen hidrotermal bir dezenfeksiyon yöntemidir. Diğer bir deyişle, *toprak solarizasyonu* güneş enerjisi aracılığıyla, toprağın ısıtılması ve pastörize edilmesi amacıyla, yılın sıcak günlerinde bir veya iki ay süre ile toprağın plastikle örtülmesi işlemidir. Sera üretimi yapılan ortamlarda toprak dezenfeksiyonu için solarizasyon uygulaması ideal bir yöntemdir. Çok yüksek sıcaklığa bağlı olarak dünyanın birçok bölgesinde yaz mevsimi boyunca seralar kullanılmamaktadır. Mevsimin sunduğu bu üstünlüğü, kullanarak sera toprağı solarize edilebilmektedir. Güneş enerjisinin toprak dezenfeksiyonunda kullanımı 1970'lerde İsrail'de geliştirilmiştir ve yıllardır yoğun üretim alanlarında uygulanmaktadır. Toprak solarizasyonunun, İsrail ve Japonya gibi ülkelerde, yaygın olarak kullanılmaktadır.

Toprak dezenfeksiyonu için birincil olarak kullanılan bir yöntem olan toprak solarizasyonu, kimyasal olmayan, çevre dostu ve entegre zararlı-hastalık mücadelesi fikrine yakın özellikleri nedeniyle önem kazanmıştır. 1976'lı yıllardan sonra yapılan çalışmalarda, toprak solarizasyonunun toprak kökenli hastalık, zararlı ve yabancı otlara karşı etkili olduğu belirlenmiştir. Malçlama teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak, tarımda organik ve inorganik örtü malzemelerinin uygulanması ile; topraktaki inokulum düzeyi düşmüş ve buna bağlı olarak hastalık oluşması azalmıştır. Solarizasyon uygulanan toprakların bünyelerinde, bitki beslenmesi yönünden önemli olan çözünebilir bitki besin maddeleri (azot, kalsiyum, magnezyum) ve organik madde miktarında artış olması, ürün miktarını ve kalitesini artırmaktadır. Ayrıca, bitkileri dona karşı koruma, toprak sağlığı ve erozyon kontrolünü geliştirme olanakları sunmaktadır.

Solarizasyon uygulanan ortamda bitkilerin kök ağırlıklarının arttığı, çiçek kuru ağırlığı ve çiçek sayısında artış olduğu istatistiki önemde ortaya konmuştur. Solarizasyon uygulanmış toprakta; faydalı mikro-organizma faaliyetinin arttığı, bu etkinin iki yıl devam ettiği ve bitkilerin daha iyi gelişerek çiçek sayısının arttığı bildirilmektedir. Solarizasyonun etkinliği, iklim ve hava koşullarının etkisi altında güneş ışınım şiddetine bağlıdır. Solarizasyon süresince; bulutlu havalarda, düşük hava sıcaklıkları ve yağış olayları solarizasyon etkinliğini düşürür. Solarizasyon uygulaması yapılan bölgelerde, toprak sıcaklıklarının 40–50 °C arasında olduğu bir çok araştırmacı tarafından bildirilmiştir. Bu nedenle, solarizasyon yapılacak bölgelerin ön araştırması gereklidir. Soğuk geçen dönemlerde ve bölgelerde solarizasyon uygulaması açık tarım alanları için çok elverişli olmamakla birlikte, seralarda yapılması daha uygun olmaktadır (Sesveren, 2007).

3.2. Tarımda Rüzgar Enerjisi Kullanımı

Rüzgar, kütlesi belirli olan bir havanın hareketidir. Hareket halindeki bir kütle *kinetik enerji*, kütlesi ile orantılıdır. Rüzgar enerjisi, havanın kütlesine, kütle de havanın yoğunluğuna bağlıdır. Havanın kütlesi az olduğundan, rüzgardan sağlanacak enerji hızına bağlıdır. Bir hava akışı şeklinde ilerleyen rüzgarın, önüne bir engel konulması veya sabit bir engelle karşılaşması halinde,

rüzgar bu engel üzerine basınç yapar. Rüzgara karşı konan engelin hareket yeteneği, rüzgar enerjisini *mekanik enerjiye* çevirebilir. Bu ilkeden hareketle, bir mil etrafında dönebilecek olan tambur veya pervanenin rüzgar etkisi ile dönmesi mümkündür. Günümüzde, rüzgarın döner bir türbin ile frenlenerek, mekanik enerjiye dönüştürülme teknolojisi gerçekleştirilmiştir. Bu teknolojiye *rüzgar türbini teknolojisi* adı verilir (Yerebakan, 2001).

Türbin bileşenleri, türbin tipi ve tasarımına bağlı olarak değişir. Rüzgar türbinlerinin karmaşık yapısı, gelişen tasarım teknolojileri ve tasarım araçlarına bağlı olarak basitleşmiştir. Günümüzde, en çok 2 ve 3 kanatlı rotor tasarımları yapılmaktadır. 2 kanatlı türbinler, 3 kanatlı türbinlere göre, rüzgar doğrultusuna ters yerleştirilirler. Türbinler genellikle, yatay eksenli olarak tasarlanmakla birlikte, dikey eksenliler de vardır. Rüzgar türbini jeneratörü, mekanik enerjiyi elektrığe dönüştürür. Büyük rüzgar türbinlerinde, genellikle gerilim değeri 690 V olan, üç fazlı alternatif akım üretilir. Akım, rüzgar türbini yanındaki veya içindeki transformatöre gönderilir. Transformatör, bu gerilimi yerel elektrik şebekesine bağlı olarak, 10–30 kV'a yükseltir. Bazı rüzgar türbinlerinde iki adet jeneratör bulunur. Küçük olan jeneratör, düşük rüzgar hızı olduğunda; büyük jeneratör ise, yüksek hız olduğunda çalışır. Son yıllarda, bazı jeneratörler farklı iki hızda çalışacak şekilde üretilmektedir. Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği'nin bir raporuna göre, rüzgar türbinlerinin fiyatı üç kat azalma göstermiştir. 1997 yılında 1000 \$/kW olan rüzgar türbinlerinin yatırım maliyetleri, 2006 yılında 600 \$/kW'a düşmüştür (Öztürk, 2008b).

Şebekeden bağımsız rüzgar elektrik sistemlerinin güçleri, birkaç kW ile 100 kW arasında değişmekle birlikte, çoğunlukla 30 kW'ı aşmamaktadır. Bu tür rüzgar türbinleri aşağıdaki ünitelerden oluşur: üç kanatlı bir çark, transmisyon sistemi, yöneltici kuyruk ve fren sistemi. Türbin, daha çok direk tipi pylon üzerine yerleştirilir. Elde olunan DC elektrik, akü ile depolanabilir. Şebekeden bağımsız büyük güçlü (10–100 kW) sistemler, yedek enerji kaynağı olarak *Diesel* jeneratörlerle paralel çalıştırılır. Bu tip sistemlerde *Diesel* jeneratör, rüzgardan yararlanılarak çalıştırılır. Bu durumda, % 40–50 oranında yakıt tasarrufu sağlanması amaçlanır. Rüzgar-*Diesel* sistemlerinde DC/AC invertör kullanılarak tüketici AC ile beslenmektedir (Ültanır, 1998). Rüzgar enerjisinin tarımsal uygulama alanları şunlardır (Vardar, 2009):

- Elektriksel uygulamalar
- Sera iklimlendirme
- Sulama ve drenaj uygulamaları
- Isı pompası uygulamaları
- Soğutma uygulamaları
- Rüzgar değirmen tesisleri

3.3. Tarımda Jeotermal Enerji Kullanımı

Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş olan ısının oluşturduğu, sıcaklığı sürekli 20 °C'den fazla ve çevresindeki normal yer altı ve yer üstü sulara oranla daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen, elektrik üretiminde, ısıtmada ve soğutmada, çeşitli sanayi tesislerinde enerji hammaddesi olarak kullanılan, kimyasal madde üretimine elverişli olabilen ayrıca, sağlık ve turizm amacıyla da yararlanılabilen, basınç altındaki sıcak su ve buhar (akışkan) yolu ile sürekli yüzeye taşınan ısı olarak tanımlanmaktadır. Jeotermal enerji kasaca yer ısısı olup, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş basınç altındaki sıcak su, buhar, gaz veya sıcak kuru kayaların içerdiği ısı enerjisi olarak tanımlanır. Ayrıca herhangi bir akışkan içermemesine rağmen bazı teknik yöntemlerle çok derinlerdeki ısısından yararlanılan "Sıcak Kuru Kayalar" teknolojisi de jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir.

Jeotermal enerjinin kullanım alanları, akışkan sıcaklığı ve bölge koşullarına bağlı olarak değişmekle birlikte, genel olarak elektrik üretimi ve doğrudan kullanım olmak üzere iki grup altında incelenebilir:

3.3.1. Jeotermal Enerjinin Doğrudan Kullanımı

Jeotermal akışkanın kimyasal özelliğine bağlı olarak ısıtma sistemleri önemli farklılıklar gösterir. Jeotermal akışkan kimyasal içerik olarak sorun yaratmayacak özellikte ise, ısıtılacak

alandaki radyatör ve uygun borular sistemi aracılığı ile dolaştırılarak doğrudan kullanılabilir. Ancak kullanılacak akışkan çok fazla mineral içeriyorsa ve kimyasal açıdan problem yaratacak özellikte ise (kabuklaşma, korozyon, vb. problemler), akışkanın ısı ısı değiştirici aracılığı ile düşük kimyasal içerikteki suya (örneğin şehir şebekelerinde kullanılan su) aktarılır. Böylece, sistemde sorun yaratmayacak ısıtılmış su ile ısıtma sağlanmaktadır. Isı değiştirici sistemler, kuyu başı ve kuyu içi ısı değiştiriciler şeklinde, sahanın özelliğine göre değişik tasarımlarda olabilir. Isıtma sistemlerinin verimliliği, sürekliliği veya başarısı teknolojisine uygun olarak kullanılmasına bağlıdır. Düşük ve orta sıcaklıktaki jeotermal kaynaklar çok farklı alanlarda kullanılabilir. Jeotermal enerjinin doğrudan kullanım alanları Çizelge 2.8'deki gibi özetlenebilir. Jeotermal enerjinin doğrudan kullanım alanları; konut ve iş yerlerinde, endüstriyel uygulamalarda ve tarım ve ilgili alanlarda olmak üzere üç ana gruba altında incelenebilir. Bütün bu uygulamaların ortak tarafı akışkan dağıtım sistemidir. Akışkanın debisine bağlı olarak değişik çaplarda boru hatları ile pompa, vana, düzenleyici ve ölçüm-kontrol cihazından oluşan dağıtım sistemi, ısı kayıplarını azaltmak için yalıtılır.

Çizelge 2.8. Jeotermal Enerjinin Doğrudan Kullanım Alanları (Öztürk, 2006)

<i>Isıtma Uygulamaları</i>	<i>Endüstriyel Uygulamalar</i>	<i>Tarımsal Uygulamalar</i>	<i>Kimyasal Madde Üretimi</i>
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Konut ısıtma ➤ Toprak ısıtma ➤ Cadde ısıtma ➤ Pistlerin ısıtılması ➤ Yüzme havuzları ➤ Termal tedavi merkezleri ➤ Turistik tesisler 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Yiyecek kurutma ➤ Sterilizasyon ➤ Konserveliklik ➤ Kerestecilik ➤ Ağaç kaplama sanayi ➤ Kağıt endüstrisi ➤ Dokuma endüstrisi ➤ Boya endüstrisi ➤ Deri kurutma ve işleme ➤ Bira endüstrisi ➤ Mayalama ve damıtma ➤ Soğutma tesisleri ➤ Beton blok kurutulması ➤ İçme suyu olarak ➤ Çamaşırhaneler 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sera ısıtma ➤ Hayvan barınakları ➤ Balık çiftlikleri ➤ Toprak ısıtma ➤ Ürün kurutma ➤ Mantar üretimi ➤ Toprak ıslahı ➤ Sulama 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Kimyasal madde üretimi ➤ Kuru buz elde edilmesi

Dünya genelinde jeotermal enerjiden en fazla (% 34 oranında) bölgesel ısıtma ve sıcak su elde edilmesi amacıyla, ortam ısıtma uygulamalarından yararlanılmaktadır. Yüzme havuzlarının ısıtılmasında ve kaplıcalarda jeotermal enerjiden yararlanma oranı, tarımsal uygulamalardan sonra % 14 değeriyle üçüncü sırada yer almaktadır. Isı pompalarında jeotermal enerjiden yararlanma oranı % 13 olarak bildirilmektedir. Jeotermal ısı pompası sistemlerinde, düşey ve yatay ısı değiştiriciler kullanılarak jeotermal kaynak ile doğrudan bağlantı sağlanır. *Isı pompası*, ısı veya işten yararlanılarak atıl bir şekilde gerçekleşen ısı transferinin normal doğrultusunu ters çevirebilen ve düşük sıcaklıktaki kaynaktan soğurduğu ısıyı yüksek sıcaklıktaki bir kaynağa atabilen bir ısı transferi cihazıdır. Son yıllarda ısı güç uygulamaları için büyük ısı pompalarının tasarımı ve kullanımı konusunda önemli gelişmeler sağlanmıştır. Isı pompaları endüstriyel uygulamalarda ve ortam ısıtma uygulamalarında kullanılmaktadır. Derin veya yüzeysel kuyulardan gelen jeotermal akışkan, ısı pompaları için önemli bir ısı kaynağıdır. Isı pompaları, genellikle akışkandan ısı kazanımını artırmak için düşük sıcaklıklı jeotermal ısıtma sistemlerinde kullanılabilir. Bununla birlikte, ısı pompalarının herhangi bir uygulamadaki özel işlevi, kullanılan akışkanın sıcaklığına bağlı olacaktır. Jeotermal uygulamalarda, sıcaklığı 40–70 °C aralığında olan orta sıcaklıktaki akışkanlardan ısı kazanımı esas olarak ısı değiştiriciler ile gerçekleştirilebilir. Isı pompaları genellikle jeotermal akışkandan ek ısı kazanımı sağlayacak şekilde düzenlenir. Bununla birlikte, sıcaklığı 40 °C'den daha düşük olan jeotermal akışkandan doğrudan ısı değişimi sağlamak hemen hemen olanaksızdır. Bu gibi durumlarda ısı transferinin tamamının ısı pompası ile gerçekleştirilmesi düşünülür (Öztürk, 2008b).

3.3.2. Tarımsal Üretimde Jeotermal Enerji Kullanımı

Tarım ve tarımsal ürün işleme endüstrisi jeotermal enerjinin doğrudan kullanılabilirliği başlıca alanlardır. Dünya genelinde tarımsal uygulamalar içerisinde jeotermal enerjiden en yüksek oranda (% 14) sera ısıtma amacıyla yararlanılmaktadır. Balıkçılık ve diğer hayvancılık

işletmelerinde jeotermal enerjiden yararlanma oranı % 12'dir. Tarımsal uygulamalar içerisinde jeotermal enerjiden en düşük oranda (% 1) ürün kurutma işlemlerinde yararlanılmaktadır. Gıda endüstrisinde günümüze kadar ticari kullanım alanı bulamayan jeotermal enerjinin, tarımdaki en başarılı ve yaygın uygulama alanı sera ısıtmadır. Sera ısıtmasının yanı sıra jeotermal enerjinin diğer tarımsal uygulamalarda kullanılması aşağıdaki bölümlerde kısaca açıklanmıştır.

3.3.2.1. Açık Alanlarda Toprak Isıtma İçin Jeotermal Enerji Kullanımı

Jeotermal enerji ile açık alanlarda toprak ısıtma uygulamaları özellikle erken ilkbahar ve geç sonbahar üretimi için ekonomik olabilir. Sera ısıtmada olduğu gibi açık alanlardaki toprak ısıtma uygulamalarında; en uygun toprak koşulları, ısıtma borularının en uygun derinlik ve aralığı, boru malzemesi, toprak sıcaklığı ve toprak sıcaklığının yetiştirilecek bitkilere etkisi gibi etmenlerin dikkate alınması gerekir.

3.3.2.2. Hayvan Barınaklarında Jeotermal Enerji Kullanımı

Büyükbaş ve küçükbaş hayvan barınaklarında uygun ortam koşullarının sağlanmasında jeotermal enerjiden yararlanılabilir. Örneğin; çiftlikte 50 °C sıcaklıktaki jeotermal su kullanılmaktadır. İşletmenin ısı gücü 372 kW'dır. Jeotermal su havalandırılmadan tanktan pompalanmakta ve geriye dönen 25 °C'deki su odalardaki hava sıcaklığına bağlı olarak sistemdeki suya yeniden karıştırılmaktadır. Isıtma sistemi bir fan yardımıyla çalışan konvektör tipi ısı değiştiricidir. Sistemde içeri giren temiz hava ısıtılarak dağıtım kanallarından üfleme deliklerine iletilmekte ve geriye dönen su bir depoda toplanmaktadır (Tüzel ve Ark., 1994).

3.3.2.3. Tarım Ürünlerinin Kurutulmasında Jeotermal Enerji Kullanımı

Tarımda enerji tüketiminin en yüksek olduğu teknolojilerden birisi de tahıl, sebze, meyve ve diğer ürünlerin kurutulmasıdır. Jeotermal enerji kurutma sıcaklığının kontrolünde ve tüm kurutma işlemi boyunca kısmen veya tamamen fosil yakıtların yerini alabilir. Burada jeotermal suyun sıcaklığı ile kurutma için gereksinim duyulan sıcaklık değerleri önemlidir. Sıcak hava üfleme dane ve yeşil yem kurutucularında, jeotermal enerji kurutma için gerekli ısının bir kısmını karşılamakta ya da ön kurutma veya temiz havanın ön ısıtmasında kullanılmaktadır. Düşük sıcaklıkta kurutmada tamamen jeotermal akışkan ile kurutma işlemi gerçekleştirilebilir. Kurutma sistemi, sera vb. diğer tarımsal yapıların ısıtma sistemleriyle birlikte düzenlenerek jeotermal kaynağın kullanım etkinliği artırılabilir.

3.3.2.4. Balık Yetiştiriciliğinde Jeotermal Enerji Kullanımı

Balık yetiştiriciliği, jeotermal enerjinin doğrudan kullanım alanları arasında yer almaktadır. Balık yetiştiriciliğinde uygulama sıcaklığı, balık türlerine bağlı olarak değişmekle birlikte, 21–27 °C gibi düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynaklardan balıkçılık işletmelerinde yararlanılabilir. Birçok balık türü, jeotermal enerjiyle daha kısa sürede yetiştirilebilir. Jeotermal enerjinin balık yetiştiriciliğinde kullanılması, akışkandan çok enerjinin sıcaklığına bağlıdır. Su ve karada yaşayan hayvanlar için ortam sıcaklığı çok önemlidir. Bu durum hayvancılıkta olduğu gibi, balık yetiştiriciliğinde de jeotermal enerjiden yararlanılması gerektiğini gündeme getirmektedir. Karada yaşayan havayalar, 10–20 °C gibi geniş bir sıcaklık aralığında uygun olarak gelişebilmelerine karşın, karides ve yayın balığı gibi suda yaşayan türlerin en uygun gelişme gösterdikleri sıcaklık değeri yaklaşık 30 °C ile sınırlıdır. Bununla birlikte, alabalık ve somon gibi balık türleri, 15 °C'den daha yüksek olmayan düşük sıcaklıklarda yetiştirilebilir (Öztürk, 2004).

3.3.2.5. Mantar Üretiminde Jeotermal Enerji Kullanımı

Mantar üretiminde verim artışı; ortam koşullarının, özellikle sıcaklık, nem ve havalandırmanın tam olarak sağlanmasına bağlı olduğundan, üretim odalarında ortam koşullarının sağlanmasında ve pastörizasyon odalarında jeotermal enerjiden yararlanılabilir. ABD'nin Utah eyaletinde en büyük jeotermal kaynağın bulunduğu alanda tesis edilen bir mantar işletmesinde, bu enerji halen kullanılmaktadır. Yetiştiriciliği kültür mantarından farklılık gösteren Kayın Mantarı üretiminde, kompost hazırlığı safhasında buğday sapları jeotermal suyla ıslatıp, çalkalandıktan sonra pastörizasyona alınmaktadır (Tüzel ve Ark., 1994).

3.3.2.6. Toprak Islahında Jeotermal Enerji Kullanımı

Toprak ıslahı, toprakta kültür bitkilerinin yetiştirilmesini önleyen veya kısıtlayan sınırlayıcı faktörlerin ortadan kaldırılmasını sağlayan ve etkisi süreli olan bir önlemdir. Sulama suyu ile araziye taşınan tuzlar, suyun buharlaşmasından sonra toprakta kalır. Sürekli sulama sonucunda tuz içeriği artıp tuzlu toprak oluşur. Tuzlar içerisindeki sodyum oranının yüksek olması durumunda, değişebilir sodyum oranı artarak sodyumlu toprak oluşur. Tuzlu toprakların ıslahı, yeterli drenaj şebekesi kurulduktan sonra, toprağı bol su ile yıkayıp eriyen tuzların drenaj şebekesi ile toprak profilinden uzaklaştırılması ile sağlanır. Sodyumlu toprakların ıslahı ancak kimyasal ıslah maddeleri ile yapılır. Toprağı tutunmuş olan sodyumla yer değiştirerek tutunmuş sodyum oranını azaltan eriyebilir kalsiyum tuzları gibi katkı maddeleri verilir (Kara ve Çiftçi, 1994).

3.3.2.7. Jeotermal Akışkanın Sulamada Kullanılması

Jeotermal akışkan kimyasal özellikleri bakımından, yüzey sularından daha farklıdır. Erimiş katyon ve anyon çeşidi/miktarı fazladır. Bunlardan sulama açısından önemli olanlar; sodyum, kalsiyum, magnezyum katyonları ile klorür, sülfat, bikarbonat, karbonat anyonları ve bordur. Jeotermal akışkanın sulamada kullanılabilmesi için; kimyasal özelliklerinin sulama sularında aranan ölçütlerle karşılaştırılması gerekir. Herhangi bir suyun sulama amacıyla kullanılabilmesi için eriyebilir tuz miktarı, sodyum oranı ve toksik elementler olmak üzere üç ölçüt esas alınır. Eriyebilir tuz miktarı 2250 Micromhos/cm (1.44 g/L)'yi geçen sular (4. Sınıf) normal koşullarda sulamada kullanılmamalıdır. Ancak çok kumlu geçirgen topraklarda, zaman zaman yağış suları veya tuzsuz su ile yıkanarak veya sürekli olmayan geçici sulamalarda kullanılabilirler. 2. ve 3. sınıf suların sulamada kullanılabilmesi için drenaj gereklidir. Suların sulama yönünden ikinci değerlendirme ölçütü, sodyumluluğun ölçütü olan Sodyum Absorpsiyon Oranıdır (SAR). Sodyum oranı yüksek olan sular, toprakta tutunmuş sodyum oranını zamanla arttırır. Sodyumun etkisi tuzluluğı göre değiştiğinden sodyumluluk sınıfları geniş bir dağılım gösterir. SAR değeri 3'ün altında olan sular, herhangi bir önleme gerek duyulmaksızın sulama için kullanılabilir. Genel olarak tuz oranı yüksek jeotermal akışkanda SAR değerleri de yüksektir. Suyun sulamada kullanılabilirlik ölçütlerinden üçüncüsü olan toksik elementler içerisinde bor içeriğı, jeotermal akışkanın tuzluluk ve sodyumluluk oranı kadar önemlidir. Bor oranı yüksek olan bazı jeotermal kaynaklar, tuzluluk ve sodyumluluk oranı bakımından da sulamaya elverişli değildir. Bitki türlerine göre sulamada kullanılacak suların bor sınırları değişmekle birlikte, ortalama 1 ppm'den fazla bor içeren suların sulamada kullanılmaması önerilir (Kara ve Çiftçi, 1994).

3.3.2.8. Jeotermal Enerjiyle Sera Isıtma

Son yıllarda örtü altı yetiştiriciliğinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik olarak yapılan araştırmalar; ısıtma amacıyla yeni ve yenilenebilir doğal enerji kaynaklarının kullanılmasına ve fosil yakıtların tüketildiğı geleneksel ısıtma sistemlerine alternatif olarak, düşük maliyetli ve etkinliğı yüksek ısıtma sistemlerinin geliştirilmesine yönlendirilmiştir. Teknoloji düzeyi ve ekonomik uygulanabilirlik açısından, sera ısıtmada yararlanılabilecek doğal enerji kaynaklarından en önemlisi jeotermal enerjidir. Jeotermal enerji kaynaklarının kullanıldığı, düşük-sıcaklıkta ısıtma uygulamalarında, sıcaklık düzeyi 20–60 °C aralığındadır. Bu sıcaklık değerleri, seralarda yaygın olarak kullanılan geleneksel ısıtma sistemleri için çok düşüktür. Jeotermal enerji ile sera ısıtma sistemleri, jeotermal akışkanın çıkarıldığı bölgeden tüketicilerin bulunduğu alanlara taşınması için kullanılan elemanlar topluluğı olarak değerlendirilir. Jeotermal enerjiyle ısıtma sistemleri; ısı transferi, kullanılan malzemeler ve ısı değiştiricilerin yerleşimine bağlı olarak incelenebilir. Jeotermal enerjiyle ısıtma sistemleri teknik özelliklerine bağlı olarak aşağıdaki gibi gruplandırılabilir (Öztürk, 2006):

- (1) Toprak içerisine yerleştirilen ısıtma sistemleri
- (2) Toprak yüzeyine veya yetiştirme masalarına yerleştirilen ısıtma sistemleri
- (3) Hava ısıtma sistemleri
- (4) Fan kullanılan hava ısıtma sistemleri
- (5) Asıl veya aşırı ısı yükünü karşılayan kombine ısıtma sistemleri.

3.4. Tarımda Biyokütle Enerjisi Kullanımı

Biyokütle terimi, tarım veya ormancılık ürünü olan ve tamamı veya bir kısmı içindeki enerjiyi geri kazanmak amacı ile yakıt olarak kullanılabilen bitkisel maddelerin tamamı veya bir kısmından oluşan ürünleri ve yakıt olarak kullanılan atıkları kapsar. Canlı kütle deyimiyile eş anlama gelen biyokütle, çoğu kez *bitkisel* ve *hayvansal* kökenli olmak üzere ikiye ayrılır

Biyokütleden ısı veya elektrik üretmek amacıyla yakıt olarak yararlanılabilir. Biyokütleden elde edilen biyoyakıtlar, fosil yakıtlarla birlikte karıştırılarak da kullanılabilir. Biyo-etanol, biyo-gaz, biyo-dizel gibi yakıtların yanı sıra, yine biyokütleden elde edilen; gübre, hidrojen, metan ve odun briketi gibi daha birçok yakıt türü saymak olanaklıdır.

3.4.1. Biyogaz Üretimi

Biyokütleden gaz yakıt elde etmek amacıyla anaerobik fermentasyon işleminden yararlanılır. *Anaerobik fermentasyon*, biyokütlenin oksijensiz ve mikroorganizma bulunan bir ortamda, başka ürün ve yan ürünlere dönüştürülmesidir. Biyogaz, organik maddelerin oksijensiz koşullarda biyolojik parçalanması (anaerobik fermentasyon) sonucunda açığa çıkan ağırlıklı olarak metan (CH₄) ve karbondioksit (CO₂) gazlarından oluşur. *Anaerobik fermentasyon*, biyokütlenin oksijensiz ve mikroorganizma bulunan bir ortamda, başka ürün ve yan ürünlere dönüştürülmesi işlemidir. *Biyogaz*, organik kökenli atık/artıkların oksijensiz ortamda bozunması sonucunda ortaya çıkan; renksiz, kokusuz, havadan hafif, parlak mavi bir alevle yanan ve bileşiminde organik madde içeriğine bağlı olarak % 60-70 metan, % 30-40 karbondioksit, % 0-3 hidrojen sülfür ile çok az azot ve hidrojen bulunan bir gaz karışımıdır (Öztürk ve Ark., 2009).

Organik artıkların enerji üretimi amacıyla değerlendirilmesinde kullanılan biyogaz teknolojisi, birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Biyogaz teknolojisi, organik artıkların sabit bir ısıda ve kapalı bir ortamda bakterilerle fermentasyonu ilkesine dayanır. Biyogaz üretiminde; kullanılan materyal, üreteç ve işlem süreci ile ilgili etmenler etkilidir (Biyogaz verimi; kullanılan hammaddenin bileşimi, fermentasyon teknolojisi ve koşullarına bağlı olarak değişir. Kullanılan hammaddenin bileşimi ile ilgili olarak yağ içeriğinin yüksek olması, metan içeriği yüksek biyogaz üretilmesine olanak sağlar. Ayrıca, biyogaz üretimi için kullanılan hammaddenin bileşimi bölge ve yıllara göre de değişir. Örneğin, hasat zamanı çayır bitkilerindeki değişik karbonhidratların içeriğini ve dolayısı ile ürünün fermentasyonunu etkiler. Fermentasyon teknolojisi ile ilgili olarak, sıcaklık, bekletme süresi ve hammaddenin ön işleminden geçirilmesi gaz verimini etkiler.

Enerji üretimi için, tarımsal ürünleri yetiştirmek kısmen yeni bir yaklaşımdır. Metan verimi en yüksek olarak, 7500–10200 m³/ha arasında değişen değerlerde mısır çeşitlerinden elde edilmektedir. Tahılların metan verimi 3200–4500 m³/ha arasında değişir. Buğdaydan metan üretim verimi 143–343 m³/ton'dur (Murphy ve Power, 2008). Biyogaz, enerji değeri yüksek bir enerji taşıyıcısıdır. Biyogazın enerji değeri, metan içeriğine bağlı olarak değişir. Metan içeriği % 55 ve % 95 olan 1 m³ biyogazın enerji değeri 21 MJ ve 35.9 MJ'dür (Murphy ve Ark., 2004).

3.4.2. Biyogaz Kullanımı

Anaerobik fermentasyon işlemi sonucunda üretilen gaz, doğal gaz ile çok benzer özelliklere sahiptir. Bu işlem sonucunda açığa çıkan başlıca ürün *metan*dir. *Metan*, birçok kullanım için üstün özelliklere sahip bir yakıttır. Uygulamada temizlenmiş gaz, doğal gazın kullanıldığı birçok uygulamada kullanılabilir. Güç üretimi için doğal gazın en yaygın olarak kullanıldığı alanlardan birisi de içten yanmalı motorlardır. Küçük-ölçekli (< 200 kW) tesislerde, elektriksiz dönüşüm etkinliği % 25'e kadar çıkabilir. Büyük tesislerde etkinlik % 30–35 düzeyindedir (Öztürk, 2008b). Biyogaz, çok yönlü bir enerji kaynağı olarak doğrudan ısıtma ve aydınlatma amacıyla kullanıldığı gibi, elektrik ve mekanik enerjiye dönüştürülerek de kullanılabilir. Ayrıca, biyogaz üretimi sonucunda ortaya çıkan yan ürünler de çeşitli amaçlarla kullanılabilir. Biyogaz; başlıca elektrik üretimi, ısıtma, soğutma ve kurutma uygulamalarında kullanılır. Biyogaz hava ile 1/7 oranında karıştığı zaman, tam yanma gerçekleşir.

Üretilen biyogaz, birleşik ısı ve güç tesisi (kojenerasyon sistemi) aracılığıyla ısı ve/veya elektrik üretmek için kullanılabilir. Bu durumda, uygun bir ısı değiştirici kullanılarak yanma

süresince açığa çıkan ısı geri kazanılabilir. Geri kazanılan ısının bir bölümü fermenteri ısıtmak, geri kalan kısmı da ısı amaçlı kullanılabilir. Bu durumda kojenerasyon işlemi, yakıtın enerji içeriğinin % 30'nun elektrik ve % 60'nın ise ısı enerjisi olacak şekilde, toplam olarak % 90'nın kullanılmasına olanak sağlar.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarımda enerji kullanım etkinliğini artırmak için aşağıdaki önlemler alınabilir:

- İşletmelerin mekanizasyon alt yapısı için enerji verimliliği yüksek olan teknolojilerden yararlanılmalıdır.
- Güç kaynağına uygun kapasitede alet/makina kullanılmalıdır.
- İşletme için gerekli güç optimizasyonu sağlanmalıdır. Örneğin, daha az güç gerektiren işlemler daha büyük güçlü traktörlerle gerçekleştirilmemelidir.
- Tarım alet/makinaları tam yükte ve verimli olarak çalıştırılmalıdır.
- Isıtma, soğutma ve iklimlendirme uygulamalarında ısı transferi açısından etkinlik artırılmalıdır.
- Isı yalıtımı standartlara uygun olarak yapılmalıdır. Isı üreten, dağıtan ve kullanan tüm üniteler etkin bir şekilde yalıtılarak, ısı kayıpları en aza indirilmelidir.
- Atık ısı geri kazanımı uygulamaları yaygınlaştırılmalıdır.
- Elektrik tüketiminde kayıplar önlenmelidir.
- Elektrikğin iş ve ısıya dönüşmesinde etkinlik artırılmalıdır.
- Otomatik kontrol ile insan faktörü en aza indirilmelidir.
- Tarımsal üretimde uygulanan gübrelerden beklenen yararın elde edilebilmesi için gübrelerin genel özelliklerini bilmek ve etkili bir şekilde kullanmak, gübre kullanım zamanlarını ve tekniğini bilmek, gübreleme programını gübre kullanım etkinliğine yön veren faktörlere göre ayarlamak önemlidir. Gübreleme yapmadan önce, toprak analizlerinin mutlaka yapılması ve toprakta mevcut besin elementlerine göre dengeli gübreleme programı uygulanmalıdır.
- Tarımsa ilaç uygulamaları için, kalibrasyonu yapılmış alet/makinalar ile etkin ilaçlama programları uygulanmalıdır.

Tarımsal üretim işlemlerinde yararlanılabilecek yenilenebilir enerji teknolojisinin seçimi: gerekli enerjinin çeşidi, yenilenebilir enerji kaynağı ve tarımsal yapı ve işlemlerin tasarımına bağlıdır. Tarımda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması durumunda aşağıdaki yararlar sağlanır:

- 1) İşletme giderleri azalır.
- 2) Dış alım yapılan fosil enerjilere olan gereksinim azalır.
- 3) Elektriksel güç için aşırı talep azalır.
- 4) Çevre kirliliği azalır.
- 5) Ekonomik gelişme sağlanır.

Tarımda güneş enerjisi kullanımının planlı biçimde artırılması gereklidir. Tarımsal yapıların ısıtılmasında güneş enerjisiyle pasif ve/veya aktif olarak ısıtma uygulamalarından yararlanılmalıdır. Güneş enerjisi ile yüksek sıcaklıktaki uygulamalar, soğutma uygulamaları ve fotovoltaiik teknoloji ile üretilen elektrikten tarımsal üretimde yararlanılabilir. Tarımsal sulama işlemlerinde güneş pillerinden yararlanılması durumunda: gerekli su miktarı, sulama gereken zaman, su kaynağının durumu, gerekli su miktarı, kuyu derinliği, suyun kimyasal yapısı ve su depolama tanklarının kapasitesi gibi özellikler dikkate alınmalıdır.

Tarım sektöründe günümüz enerji varlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek amacıyla fosil enerji kaynakları yerine alternatif enerji kaynaklarından yararlanılması öncelikli bir gereksinimdir. Teknoloji düzeyi ve ekonomik uygulanabilirlik açısından, tarımsal yapıların iklimlendirilmesi için yararlanılabilecek doğal enerji kaynaklarından en önemlisi jeotermal enerjidir.

Biyokütle güç tesislerinin seçimi ve tasarımı, tesisten belirli bir uzaklıkta bulunan alandaki biyokütlenin mevcut miktarı ile ilgili değişik optimizasyon çalışmalarını gerektirir. Belirli bir tarımsal alanda tasarlanması gerekli birleşik ısı-güç tesislerinin optimum miktarı (sayısı), model çalışmaları

ile belirlenebilir. Gerekli birleşik ısı-güç tesisi miktarı (sayısı); bölgedeki biyokütle mevcudunu ve yapılacak olan yatırımın teknik, ekonomik ve işletimsel özelliklerine bağlıdır.

Tarım sektöründe fosil kökenli enerji tüketiminin azaltılması ve yenilenebilir enerjilerin kullanılmasına ilişkin aşağıdaki önlemler alınmalıdır.

- *Pazara bağlı önlemler*: Tarımsal destek politikaları, girdi kullanımı ve üretim optimizasyonu
- *Düzenleyici önlemler*: Desteklerin çevresel etkileri incelenmeli ve girdi kullanımı sınırlandırılmalıdır.
- *Gönüllü katılımlar*: Hassas tarım uygulamaları desteklenmelidir.
- *Uluslararası programlar*: Tarımda teknoloji transferi desteklenmelidir.

KAYNAKLAR

Audsley, E. (Coord.), Alber, S., Clift, R., Cowell, S., Crettaz, P., Gaillard, G., Hausheer, J., Jolliet, O., Kleijn, R., Mortensen, B., Pearce, D., Roger, E., Teulon, H., Weidema, B., Van Zeijts, H., 1997. "Harmonisation of Environmental Life Cycle Assessment for Agriculture" Final Report. Concerted Action AIR3-CT94-2028. European Commission. DG VI Agriculture. SRI, Silsoe, UK.

Dalgıç, A.C., 2006. "Güneş Enerjili Kurutucular" <http://www1.gantep.edu.tr/~dalgic/gunes.htm>

Dinçer, H., 1977. "Ziraatte Canlı Kuvvet Makinaları" Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 638, Ankara.

Farla, J.C.M., Blok, K., 2001. "The Quality Of Energy Intensity Indicators for International Comparison in the Iron and Steel Industry" Energy Policy 29: 523-43.

Ferraro, D.O., 2003. "Energy Cost/Use in Pesticide Production" Encyclopedia of Pest Management.

Gamliel, A., Austerweil M., Kritzman, G., 2000. "Non-chemical Approach to Soilborne Pest Management Organic Amendments". Crop Protection, 19: 847-853.

Guzmán, G.I., Alonso, A.M., 2008. "A Comparison of Energy Use in Conventional and Organic Olive Oil Production in Spain" Agricultural Systems, 98(3): 167-176.

- Helsel, Z.R., 1992. "Energy and Alternatives for Fertilizer and Pesticide Use" In Energy in Farm Production; Fluck, R.C., Ed.; Energy in World Agriculture, Elsevier: New York, 1992; Vol. 6, 177-201.
- Kara, M., Çiftçi, N., 1994. "Termal Suların Toprak İslahında Kullanılması" Jeotermal Uygulamalar Simpozyumu Bildiri Kitabı: 471-483, Denizli.
- Kısakürek, B., 1980. "Kurutma Modelleri" Türkiye. Isı Bilimi Vve Tekniği. Cilt 2, 37-40.
- Kuesters, J., Lamel, J., 1999. "Investigations of the Energy Efficiency of the Production of Winter Wheat and Sugar Beet in Europe" European Journal of Agronomy 11(1): 35-43.
- Mikkola, H. J., Ahokas, J., 2009. "Indirect Energy Input of Agricultural Machinery in Bioenergy Production" Renewable Energy, 1-6.
- Murphy, J.D., Power, N., 2008. "Technical and Economic Analysis of Biogas Production in Ireland Utilising Three Different Crop Rotations" Applied Energy.
- Murphy, J.D., McKeogh, E., Kiely, G., 2004. "Technical/Economic/Environmental Analysis of Biogas Utilisation" Applied Energy 77, 407-427.
- Öztürk, H.H., Başçetinçelik, A., 2003. "Güneş Enerjisiyle Sera Isıtma" Türkiye Ziraat Odaları Birliği Yayın No: 240, S (39), ISBN: 975-8629-28-X.
- Öztürk, H.H., 2004. "Türkiye Tarım Sektöründe Enerji ve Ekserji Kullanımı" Tarımsal Mekanizasyon 22. Ulusal Kongresi, Aydın, 08-10 Eylül 2004.
- Öztürk, H.H., 2004. "Balık Yetiştiriciliğinde Jeotermal Enerji Kullanımı" V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı Cilt I: 379-388, 26-28 Mayıs 2004, İstanbul.
- Öztürk, H.H., 2005. "Tarımda Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı" III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Ulusal Sempozyumu (YEKSEM2005), Bildiriler Kitabı: 286-290, ISBN: 975-395-915-X, 19-21 Ekim 2005, Mersin.
- Öztürk, H.H., Ören, M.N., 2005. "Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Pamuk Tarımı Mekanizasyonunda Enerji Kullanımı" GAP IV. Tarım Kongresi, 21-23 Eylül 2005, Şanlıurfa.
- Öztürk, H.H., 2006. "Seracılıkta Jeotermal Enerji Kullanımı" Türkiye Ziraat Odaları Birliği Yayın No: 259, S (394), ISBN: 975-8629-46-8.
- Öztürk, H.H., 2008a. "Güneş Enerjisi ve Uygulamaları" Birsen Yayınevi, Cağaloğlu/İstanbul, ISBN 978-975-511-502-3.
- Öztürk, H.H., 2008b. "Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanımı" Teknik Yayınevi, Ankara, ISBN 978-975-523-042-9.
- Öztürk, H.H., 2008c. "Sera İklimlendirme Tekniği" Hasad Yayıncılık, Ümraniye/Ankara, ISBN 978-975-8377-64-0.
- Öztürk, H.H., 2009. "Güneş Pili İle Çalışan Tarımsal Sulama Sistemleri İçin Tasarım Ölçütlerinin Belirlenmesi" 4. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 6-7 Kasım 2009, Mersin, Bildiri Kitabı: 58-73.
- Öztürk, H. H., Kaya, D., Ekinci, K., Ertekin, C., Yıldız, O., Başçetinçelik A., 2009. "Biyogazdan Birleşik Isı ve Güç Üretimi İçin Enerji ve Çevresel Etki Değerlendirmesi" V. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 16-17 Ekim 2009, Kayseri, Bildiriler Kitabı: 154-161, MMO Yayın No: E/2009/512, ISBN: 978-9944-89-798-3.
- Ramirez, C.A., Worrell, E., 2006. "Feeding Fossil Fuels to the Soil an Analysis of Energy Embedded and Technological Learning in the Fertilizer Industry" Resources, Conservation and Recycling 46 75-93.
- Sesveren, S. 2007. "Seralarda Geleneksel ve Organik Tarım" Çukurova Üniversitesi Yumurtalık Meslek Yüksekokulu. Bölüm:9, Toprak Solarizasyonu. s. 223-248, ISBN: 978-975-487-135-7, Adana.
- Tüzel, Y., Gül, A., Dura, S., 1994. "Jeotermal Enerjinin Tarımda Kullanım Olanakları" Jeotermal Uygulamalar Simpozyumu Bildiri Kitabı: 485-490, Denizli.
- Uzmay, İ., 1984. "Enerji Girdi Ve Çıktıları Esas Alınarak Türk Tarımının Veriminin Yıllara Göre Değişimi" İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Ültanır, M.Ö., 1998. "21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi" Yayın No: TÜSİAD-T/98-12/239, ISBN: 975-7249-59-9, Lebib Yalkım Yayınları ve Basım İşleri A.Ş., İstanbul.
- Ünal, S. 2006. "Alternatif Enerji Kaynakları" <http://me.erciyes.edu.tr/sunalan/alt-ener-kay.pdf>.
- Vardar, A., 2009. "Tarımda Rüzgar Enerjisi Kullanımı" Seminer Notları, Çanakkale.
- Yağcıoğlu, A., 1996. "Ürün İşleme Tekniği" Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 517, Bornova-İzmir, ISBN 975-483-303-6.
- Yerebakan, M., 2001. "Rüzgar Enerjisi" İstanbul Ticaret Odası Yayın No: 2001-33, İstanbul, ISBN-975-512-582-5.