

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**Ömer EREN**

**ÇUKUROVA BÖLGESİNDE TATLI SORGUM (*SORGHUM BICOLOR* (L.)  
MOENCH) ÜRETİMİNDE YAŞAM DÖNGÜSÜ ENERJİ VE ÇEVRESEL  
ETKİ ANALİZİ**

**TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI**

**ADANA, 2011**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇUKUROVA BÖLGESİNDE  
TATLI SORGUM (*SORGHUM BICOLOR* (L.) MOENCH) ÜRETİMİNDE  
YAŞAM DÖNGÜSÜ ENERJİ VE ÇEVRESEL ETKİ ANALİZİ**

**Ömer EREN**

**DOKTORA TEZİ**

**TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI**

Bu Tez 13/09/2011 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından  
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....  
Prof. Dr. H. Hüseyin ÖZTÜRK  
DANIŞMAN

.....  
Prof. Dr. Ali BAŞÇETİNCİLİK  
ÜYE

.....  
Doç. Dr. Fuat BUDAK  
ÜYE

.....  
Doç. Dr. Yurtsever SOYSAL  
ÜYE

.....  
Doç. Dr. Celaleddin BARUTÇULAR  
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Tarım Makinaları Anabilim Dalında hazırlanmıştır.  
**Kod No:**

**Prof. Dr. İlhami YEĞİNGİL**  
**Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.**  
**Proje No: ZF2009D1**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların  
kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere  
tabidir.

## ÖZ

### DOKTORA TEZİ

#### ÇUKUROVA BÖLGESİNDE TATLI SORGUM (*SORGHUM BICOLOR* (L.) MOENCH) ÜRETİMİNDE YAŞAM DÖNGÜSÜ ENERJİ VE ÇEVRESEL ETKİ ANALİZİ

Ömer EREN

#### ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖZTÜRK  
Yıl: 2011, Sayfa: 197

Jüri : Prof. Dr. Ali BAŞÇETİNCİLİK  
: Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖZTÜRK  
: Doç. Dr. Fuat BUDAK  
: Doç. Dr. Yurtsever SOYSAL  
: Doç. Dr. Celaleddin BARUTÇULAR

Bu çalışmada, kuru biyokütle üretimi amacıyla, tatlı sorgum üretiminde kullanılan enerji girdi-çıktıları ve çevresel emisyonlar belirlenerek, üretimin enerji etkinliğinin ve çevresel etkilerinin saptanması amaçlanmıştır. Tatlı sorgum üretimindeki enerji girdi ve çıktılarına bağlı olarak, yapılan üretimin enerji etkinliği, enerji verimliliği, özgül enerji, enerji üretkenliği ve net enerji üretimi değerlerine bağlı olarak belirlenmiştir. Tatlı sorgum üretiminde ki çevresel etkiler yaşam döngüsü değerlendirme yöntemine göre saptanmıştır. Çevresel etki kategorileri CML 2001 modeline göre belirlenmiştir. Çalışma sonucunda belirlenen bulgulara bağlı olarak, mevcut üretimin iyileştirilmesine yönelik çözüm önerileri verilmiştir.

Tatlı sorgum üretiminde, 9135 kg/ha kuru biyokütle verimi için, enerji verimliliği 11.38, özgül enerji 1.63 MJ/kg, enerji üretkenliği 0.61 kg/MJ ve net enerji üretimi 154391.27 MJ/ha olarak hesaplanmıştır. Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin yaşam döngüsü etki değerlendirmesine göre, en fazla çevresel etkinin % 50.39 oranıyla, deniz canlılarının zehirlenmesine sebep olduğu ve yaşam döngüsü yorumlanmasına göre de % 80.02 oranıyla en fazla yerel etkiye neden olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, küresel ısınma değeri (iklim değişikliği) de, 1043.51 kg CO<sub>2</sub>-eş/ha olarak hesaplanmıştır. Kuru biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinde, gübre uygulamalarının hem enerji girdisini hem de çevresel etkileri arttırdığı saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Biyokütle, Tatlı Sorgum, Enerji Etkinliği, Yaşam Döngüsü Değerlendirme

## ABSTRACT

### PhD THESIS

#### LIFE CYCLE ENERGY AND ENVIRONMENTAL EFFECT ASSESSMENT AT THE SWEET SORGHUM (*SORGHUM BICOLOR* (L.) MOENCH) PRODUCTION IN THE ÇUKUROVA REGION

Ömer EREN

ÇUKUROVA UNIVERSITY  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL MACHINERY

Supervisor : Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖZTÜRK

Year: 2011, Pages: 197

Jury : Prof. Dr. Ali BAŞÇETİNCİLİK

: Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖZTÜRK

: Assoc. Prof. Dr. Fuat BUDAK

: Assoc. Prof. Dr. Yurtsever SOYSAL

: Assoc. Prof. Dr. Celalettin BARUTÇULAR

In this study; energy input-output and environmental emission of sweet sorghum production and its energy efficiency and environmental effects were determined to produce the dry biomass. Energy efficiency of production, energy output/input ratio, specific energy, energy productivity and net energy yield were determined in regard to energy input-output of sweet sorghum production. Environmental effects of sweet sorghum production were assessed with life cycle assessment. Environmental effects categories were obtained with CML 2001 methods. To improve the present production some advanced development were suggested depend on the results of the research data's.

The results showed that the average dry biomass yield in sweet sorghum was 9135 kg per ha. The energy output/input ratio was found to be 11.38, if dry biomass are only taken into account. The specific energy was 1.63 MJ/kg, while the energy productivity and net energy yield was found to be of the order of 0.31 kg/MJ and 154391.27 MJ/ha, respectively for the dry biomass production. Environmental effects causes the marine aquatic toxicity in percent 50.39 depend on the life cycle effect assessment of sweet sorghum production and local effects in percent of 80.02 its life cycle interpretation. Also, the value of global warming (climate change) was calculated as 1043.51 kg CO<sub>2</sub>-eq/ha. Fertilizing were increased either energy input or environmental effects to produce the biomass from sweet sorghum cultivation.

**Key Words:** Biomass, Sweet Sorghum, Energy Efficiency, Life Cycle Assessment

## TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve bana “Çukurova Bölgesinde Tatlı Sorgum (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench) Üretiminde Yaşam Döngüsü Enerji ve Çevresel Etki Analizi” konulu doktora tezini veren yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana daima yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. H. Hüseyin ÖZTÜRK’e sonsuz teşekkürler.

Doktora tezi jüri üyelerinden Sayın Prof.Dr. Ali BAŞÇETİNÇELİK’e, Sayın Doç. Dr. Fuat BUDAK’a, Sayın Doç. Dr. Yurtsever SOYSAL’a ve Sayın Doç. Dr. Celaleddin BARUTÇULAR’a yapıcı ve yönlendirici fikirleriyle katkıda bulundukları için teşekkürlerimi sunarım.

Doktora çalışmalarım sırasında tüm bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölüm Başkanlığı’na, maddi destek veren Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi’ne (Proje no: ZF2009D1) içten teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tezimde elde ettiğim sonuçları değerlendirmede gerekli olan programı kullanmamı sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Hüdayi KARA’ya teşekkür ederim.

Her şeyden önemlisi tezimi bitirmemi sabırsızlıkla bekleyen ve sıkıntılarında her türlü desteği veren sevgili eşim Zehra EREN’e ve biricik oğlum Ahmet Emir EREN’e de teşekkür ederim.

Beni yetiştiren ve bugünlere gelmemi sağlayan rahmetli dedem Ahmet ÇIRAK’a, rahmetli anneannem Ayşe ÇIRAK’a ve annem Fatma GENİŞ’e de teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

## SAYFA

|                                                                                |       |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ÖZ.....                                                                        | I     |
| ABSTRACT.....                                                                  | II    |
| TEŞEKKÜR.....                                                                  | III   |
| İÇİNDEKİLER.....                                                               | IV    |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                                                         | VIII  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                           | XIV   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                                                   | XVIII |
| 1. GİRİŞ.....                                                                  | 1     |
| 1.1. Dünya Enerji Üretimi ve Tüketimi .....                                    | 1     |
| 1.2. Türkiye Enerji Üretimi ve Tüketimi .....                                  | 5     |
| 1.2.1. Birincil Enerji Kaynaklarının Üretimi.....                              | 5     |
| 1.2.2. Birincil Enerji Kaynaklarının Tüketimi.....                             | 6     |
| 1.2.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanımı .....                      | 8     |
| 1.3. Enerji ve Çevre .....                                                     | 10    |
| 1.3.1. Dünyada Sera Gazı Emisyonlarındaki Mevcut Durum.....                    | 10    |
| 1.3.2. Türkiye’de Sera Gazı Emisyonlarındaki Mevcut Durum.....                 | 11    |
| 1.3.2.1. Sera Gazı Emisyonları .....                                           | 11    |
| 1.3.2.2. Sektörlere Göre Toplam Sera Gazı Emisyonları.....                     | 12    |
| 1.3.3. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Türkiye.... | 14    |
| 1.3.4. Kyoto Protokolü .....                                                   | 17    |
| 1.4. Biyokütle .....                                                           | 19    |
| 1.4.1. Tanımı ve Özellikleri.....                                              | 19    |
| 1.4.2. Biyokütlenin Kimyasal Bileşimi.....                                     | 21    |
| 1.4.2.1. Biyokütlenin Kısa Analizi.....                                        | 23    |
| 1.4.2.2. Biyokütlenin Elementel Analizi .....                                  | 24    |
| 1.4.2.3. Biyokütlenin Yüksek Sıcaklıkta Kül Bileşimi .....                     | 25    |
| 1.4.3. Biyokütlenin Isıl Değeri .....                                          | 25    |
| 1.4.4. Biyokütle Enerjisi Kaynakları.....                                      | 26    |
| 1.5. Tatlı Sorgum ( <i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench) Bitkisi .....          | 29    |

|                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.5.1. Bitkinin Tanımı ve Üretim Amaçları .....                                    | 29  |
| 1.5.2. Bitkinin Botanik Özellikleri.....                                           | 33  |
| 1.5.3. Biyolojik Karakteristikleri .....                                           | 38  |
| 1.5.4. Bitkinin Bileşimi, Besin Değeri ve Kullanımı .....                          | 40  |
| 1.5.5. Dünyada ve Türkiye’de Tatlı Sorgum Üretimi.....                             | 45  |
| 1.5.6. Tatlı Sorgum Tarımı .....                                                   | 47  |
| 1.5.6.1. Toprak ve İklim İstekleri .....                                           | 47  |
| 1.5.6.2. Kültürel Uygulamalar .....                                                | 48  |
| 1.6. Yaşam Döngüsü Değerlendirme .....                                             | 57  |
| 1.6.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Tanımı.....                                | 57  |
| 1.6.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Tarihsel Gelişimi.....                     | 60  |
| 1.6.3. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Uygulanması .....                          | 61  |
| 1.6.3.1. Amaç ve Kapsam Tanımı.....                                                | 62  |
| 1.6.3.2. Yaşam Döngüsü Envanter Analizi .....                                      | 66  |
| 1.6.3.3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi .....                                  | 67  |
| 1.6.3.4. Yaşam Döngüsü Yorumu.....                                                 | 69  |
| 1.6.4. Tarımsal Yaşam Döngüsü Değerlendirme.....                                   | 70  |
| 1.6.5. Yaşam Döngüsü Değerlendirmede Kullanılan Bilgisayar Programları ..          | 77  |
| 1.7. Çalışmanın Amacı.....                                                         | 78  |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....                                                          | 79  |
| 2.1. Enerji Etkinliğinin Belirlenmesi İle İlgili Çalışmalar .....                  | 79  |
| 2.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi İle İlgili Çalışmalar.....                | 84  |
| 3. MATERYAL VE METOD.....                                                          | 97  |
| 3.1. Materyal .....                                                                | 97  |
| 3.1.1. Deneme Alanı .....                                                          | 97  |
| 3.1.1.1. Toprak Özellikleri.....                                                   | 98  |
| 3.1.1.2. İklim Özellikleri.....                                                    | 99  |
| 3.1.2. Tatlı Sorgum ( <i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench) Bitkisinin Üretimi ..... | 100 |
| 3.1.3. Tarım Makinaları .....                                                      | 102 |
| 3.1.4. Yakıt Tüketimi Ölçüm Sistemi .....                                          | 103 |
| 3.1.5. SimaPro 7 Programı .....                                                    | 104 |

|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2. Metod .....                                                                          | 105 |
| 3.2.1. Tatlı Sorgum Biyokütlesinin Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi.....  | 105 |
| 3.2.1.1. Tatlı Sorgum Biyokütlesi.....                                                    | 105 |
| 3.2.1.2. Kısa ve Elementel Analizler.....                                                 | 105 |
| 3.2.1.3. Isıl Değerler .....                                                              | 105 |
| 3.2.2. Enerji Analizinin Yapılması .....                                                  | 106 |
| 3.2.2.1. Enerji Girdilerinin Belirlenmesi.....                                            | 106 |
| 3.2.2.1.1. Doğrudan Enerji Girdileri .....                                                | 106 |
| 3.2.2.1.2. Dolaylı Enerji Girdileri .....                                                 | 108 |
| 3.2.2.1.3. Toplam Enerji Girdisi .....                                                    | 112 |
| 3.2.2.2. Enerji Çıktılarının Belirlenmesi .....                                           | 112 |
| 3.2.2.3. Enerji Etkinliğinin Belirlenmesi.....                                            | 113 |
| 3.2.3. Çevresel Etkilerin Belirlenmesi .....                                              | 114 |
| 3.2.3.1. Amaç ve Kapsam Tanımı.....                                                       | 114 |
| 3.2.3.2. Yaşam Döngüsü Envanteri.....                                                     | 115 |
| 3.2.3.2.1. Doğrudan Saha Emisyonları.....                                                 | 115 |
| 3.2.3.2.2. Tarım Makinaları Envanteri .....                                               | 125 |
| 3.2.3.2.3. Diğer Envanterler.....                                                         | 131 |
| 3.2.3.3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi .....                                         | 132 |
| 3.2.3.4. Yorumlama.....                                                                   | 133 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....                                                              | 135 |
| 4.1. Tatlı Sorgum Biyokütlesinin Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine İlişkin Bulgular..... | 135 |
| 4.2. Enerji Analizine İlişkin Bulgular .....                                              | 136 |
| 4.2.1. Enerji Girdileri .....                                                             | 136 |
| 4.2.1.1. Doğrudan Enerji Girdileri .....                                                  | 137 |
| 4.2.1.2. Dolaylı Enerji Girdileri.....                                                    | 139 |
| 4.2.1.3. Toplam Enerji Girdisi .....                                                      | 144 |
| 4.2.2. Enerji Çıktıları.....                                                              | 145 |
| 4.2.3. Enerji Etkinliği .....                                                             | 148 |

|                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2.3.1. Enerji Verimi.....                                        | 148 |
| 4.2.3.2. Özgöl Enerji .....                                        | 149 |
| 4.2.3.3. Enerji Üretkenliği .....                                  | 149 |
| 4.2.3.4. Net Enerji Üretimi .....                                  | 149 |
| 4.3. Çevresel Etkilere İlişkin Bulgular.....                       | 150 |
| 4.3.1. Yaşam Döngüsü Envanterine İlişkin Bulgular .....            | 150 |
| 4.3.1.1. Doğrudan Saha Emisyonları .....                           | 150 |
| 4.3.1.2. Tarım Makinaları Envanteri.....                           | 152 |
| 4.3.2. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesine İlişkin Bulgular ..... | 155 |
| 4.3.2.1. Karakterizasyon Değerlerine İlişkin Bulgular .....        | 159 |
| 4.3.2.2. Normalleştirme Değerlerine İlişkin Bulgular .....         | 170 |
| 4.3.3. Yorumlama .....                                             | 172 |
| 4.3.3.1. Küresel Etki.....                                         | 172 |
| 4.3.3.2. Bölgesel Etki .....                                       | 172 |
| 4.3.3.3. Yerel Etki .....                                          | 173 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....                                          | 175 |
| KAYNAKLAR.....                                                     | 183 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                      | 197 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

## SAYFA

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 1.1. Birincil enerji kaynakları üretimi (Orijinal Birimler) .....                                                                      | 5  |
| Çizelge 1.2. Birincil enerji kaynakları tüketimi (Orijinal Birimler).....                                                                      | 7  |
| Çizelge 1.3. Türkiye’de sektörel enerji tüketimi.....                                                                                          | 8  |
| Çizelge 1.4. Türkiye için 1990-2008 yılları arası sera gazı emisyonları .....                                                                  | 11 |
| Çizelge 1.5. Türkiye için 1990 - 2008 yılları arası sektörlere göre toplam sera gazı<br>emisyonları.....                                       | 13 |
| Çizelge 1.6. BMİDÇS kabul eden ülkeler ve sorumlukları .....                                                                                   | 14 |
| Çizelge 1.7. EK-I ülkeleri .....                                                                                                               | 15 |
| Çizelge 1.8. EK-II ülkeleri.....                                                                                                               | 15 |
| Çizelge 1.9. Ekonomik kalkınma ve işbirliği örgütü (OECD).....                                                                                 | 15 |
| Çizelge 1.10. Avrupa Birliği (AB) ülkeleri.....                                                                                                | 16 |
| Çizelge 1.11. Kyoto protokolünü kabul eden ülkeler ve sorumlukları.....                                                                        | 17 |
| Çizelge 1.12. Biyolojik çeşitlilik, kaynak ve kökenlerine bağlı olarak biyokütle<br>türlerinin katı yakıt olarak genel sınıflandırılması ..... | 19 |
| Çizelge 1.13. Biyokütle veya biyokütle yakıtların üstünlük ve olumsuzlukları .....                                                             | 20 |
| Çizelge 1.14. Biyokütlenin faz bileşimi.....                                                                                                   | 22 |
| Çizelge 1.15. Biyokütlerdeki fazların kökeni.....                                                                                              | 22 |
| Çizelge 1.16. Biyokütlenin elementel analizi.....                                                                                              | 24 |
| Çizelge 1.17. Biyokütlenin yüksek sıcaklıkta kül analizi.....                                                                                  | 25 |
| Çizelge 1.18. Geliştirilen HHV ilişkileri ve regresyon analizi sonuçları.....                                                                  | 26 |
| Çizelge 1.19. Tatlı sorgumdan elde edilen ürünler ve kullanım şekilleri .....                                                                  | 29 |
| Çizelge 1.20. Tatlı sorgum bitkisinin toplam CO <sub>2</sub> dengesi .....                                                                     | 33 |
| Çizelge 1.21. Tatlı sorgumun kullanım amacına göre avantajları.....                                                                            | 42 |
| Çizelge 1.22. YDD’ye ilişkin ISO 14040 ve TSE 14040 standartları.....                                                                          | 59 |
| Çizelge 1.23. Etki kategorilerinin olası kategori göstergeleri ve kategori uç noktaları<br>.....                                               | 68 |
| Çizelge 1.24. Endüstriyel ve tarımsal sistemlerin ana karakteristikleri.....                                                                   | 72 |
| Çizelge 1.25. Tarımsal YDD’nin gelişimindeki ana olaylar.....                                                                                  | 76 |
| Çizelge 1.26. YDD’de kullanılan bilgisayar programları.....                                                                                    | 77 |

|                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 2.1. Tatlı sorgumdan etanol üretiminde enerji etkinliği.....                                                                                        | 79  |
| Çizelge 2.2. Tatlı sorgum ve şeker kamışı yetiştirilmesinde enerji girdisi<br>karşılaştırması .....                                                         | 80  |
| Çizelge 2.3. Tatlı sorgum tarımında enerji girdileri ve enerji çıktıları.....                                                                               | 80  |
| Çizelge 2.4. Farklı girdi uygulamalarıyla tatlı sorgumdan etanol üretiminde enerji<br>etkinliği .....                                                       | 81  |
| Çizelge 2.5. Yağ bitkileri için belirlenmiş olan enerji eşdeğeri ve net enerji üretimi                                                                      | 82  |
| Çizelge 2.6. Alkolijen bitkiler için belirlenmiş olan girdiler ve enerji etkinliği .....                                                                    | 82  |
| Çizelge 2.7. Kuru biyokütle eldesinde kullanılan bitkiler için belirlenmiş olan girdiler<br>ve enerji etkinliği.....                                        | 82  |
| Çizelge 2.8. Geleneksel ve düşük girdili üretim sistemlerinde enerji girdileri.....                                                                         | 83  |
| Çizelge 2.9. Geleneksel ve düşük girdili üretim sistemlerinde enerji etkinliği .....                                                                        | 84  |
| Çizelge 2.10. Kuzey Hollanda’da yetiştirilen enerji bitkileri için yaşam döngüsü etki<br>değerlendirmesi sonuçları .....                                    | 84  |
| Çizelge 2.11. CED metodunu göre tatlı sorgum ürünlerinin yaşam döngüsü etki<br>değerlendirmesi .....                                                        | 88  |
| Çizelge 3.1. Deneme alanının toprak özellikleri .....                                                                                                       | 98  |
| Çizelge 3.2. Araştırmanın yürütüldüğü deneme alanında tatlı sorgum yetiştirme<br>dönemine ilişkin iklimsel veriler ve uzun yıllık ortalama değerler .....   | 99  |
| Çizelge 3.3. Tatlı sorgum üretimi için kültürel uygulamalar ve bakım işlemleri ....                                                                         | 100 |
| Çizelge 3.4. Tatlı sorgum üretimi için tarla uygulamaları ve kullanılan tarım<br>makinaları .....                                                           | 102 |
| Çizelge 3.5. Tatlı sorgum üretim işlemlerinde kullanılan tarım makinalarının teknik<br>özellikleri .....                                                    | 102 |
| Çizelge 3.6. Üretim işlemlerinde kullanılan traktörlere ait teknik özellikler.....                                                                          | 103 |
| Çizelge 3.7. Tatlı sorgum üretiminde kullanılan tarım makinalarının kütleleri,<br>ekonomik ömürleri, etkin iş kapasiteleri ve imalat enerjisi değerleri ... | 110 |
| Çizelge 3.8. Kimyasal gübrelerdeki saf maddenin üretimi için enerji tüketimi<br>değerleri .....                                                             | 111 |
| Çizelge 3.9. Tatlı sorgum tanesi ve biyokütlesinin enerji eşdeğerleri.....                                                                                  | 113 |
| Çizelge 3.10. Tarımda enerji kullanım etkinliği göstergeleri .....                                                                                          | 113 |

|                                                                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 3.11. Mineral gübrelerden amonyak emisyonları .....                                                                                                               | 116 |
| Çizelge 3.12. % 15 killi ve % 2 humuslu topraklarda azot mineralizasyonu .....                                                                                            | 118 |
| Çizelge 3.13. Toprağın kil ve humus içeriklerine göre azot mineralizasyonunun<br>düzeltmesi .....                                                                         | 118 |
| Çizelge 3.14. Bitkiler tarafından azot alımı .....                                                                                                                        | 119 |
| Çizelge 3.15. Potansiyel azot süzülme riski .....                                                                                                                         | 119 |
| Çizelge 3.16. Toprak derinliğine bağlı olarak potansiyel azot süzülme riskinin<br>düzeltmesi .....                                                                        | 120 |
| Çizelge 3.17. Tatlı sorgum ve bazı bitki materyallerinin ağır metal içeriği .....                                                                                         | 123 |
| Çizelge 3.18. Mineral gübreler için ağır metal içerikleri .....                                                                                                           | 123 |
| Çizelge 3.19. Yer altı suyuna ağır metal süzülmesi .....                                                                                                                  | 123 |
| Çizelge 3.20. Ağır metal çökmesi .....                                                                                                                                    | 124 |
| Çizelge 3.21. Tarım makinalarının sınıflandırılması .....                                                                                                                 | 125 |
| Çizelge 3.22. Tatlı sorgum üretiminde kullanılan tarım makinaları ve traktörlerin<br>kütlesi, ömrü, alan iş kapasitesi ve tükettikleri ortalama yakıt miktarları<br>..... | 126 |
| Çizelge 3.23. Tarım makinaları ile tarımsal işlemler sırasında ortaya çıkan saatlik<br>emisyon miktarı .....                                                              | 128 |
| Çizelge 3.24. Yakıtın yanmasından dolayı havaya olan emisyonlar için emisyon<br>faktörü .....                                                                             | 129 |
| Çizelge 3.25. Kullanılan traktörlerin nominal güçleri ve kullanılan makinaların<br>traktörden çektikleri ortalama güçler .....                                            | 130 |
| Çizelge 3.26. Tekerlek aşınmasından dolayı oluşan ağır metal emisyonlarının<br>hesaplanması için gerekli olan temel değerler ve ağır metal içerikleri                     | 131 |
| Çizelge 3.27. CML 2001 modeline göre etki kategorileri ve kategori uç noktaları                                                                                           | 132 |
| Çizelge 3.28. CML 2001 modeline göre geliştirilmiş olan normalleştirme faktörleri<br>.....                                                                                | 133 |
| Çizelge 4.1. Tatlı sorgum biyokütlesinin elementel ve kısa analizi .....                                                                                                  | 135 |
| Çizelge 4.2. Tatlı sorgum üretiminde farklı tarla uygulamaları için birim üretim alanı<br>başına yakıt miktarı ve yakıt enerjisi tüketimi değerleri .....                 | 137 |

|                                                                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 4.3. Tatlı sorgum üretiminde farklı tarla uygulamaları için birim üretim alanı başına yağ miktarı ve yağ enerjisi tüketimi değerleri.....                          | 138 |
| Çizelge 4.4. Tatlı sorgum üretiminde farklı tarla uygulamaları için birim üretim alanı başına insan işgücü miktarı ve insan işgücü enerjisi tüketimi değerleri             | 139 |
| Çizelge 4.5. Tatlı sorgum üretiminde farklı tarla uygulamaları için birim üretim alanı başına makina kullanım miktarı ve makina kullanım enerjisi tüketimi değerleri ..... | 141 |
| Çizelge 4.6. Tatlı sorgum üretiminde birim üretim alanı başına gübre miktarı ve gübre enerjisi tüketimi değerleri .....                                                    | 142 |
| Çizelge 4.7. Tatlı sorgum üretiminde birim üretim alanı başına sulama miktarı ve sulama enerjisi tüketimi değerleri .....                                                  | 143 |
| Çizelge 4.8. Tatlı sorgum üretiminde birim üretim alanı için kullanılan tohumluk miktarı ve tohumluk enerjisi tüketimi değerleri.....                                      | 143 |
| Çizelge 4.9. Tatlı sorgum üretiminde doğrudan ve dolaylı enerji girdileri .....                                                                                            | 144 |
| Çizelge 4.10. Tatlı sorgum üretiminde enerji çıktıları.....                                                                                                                | 145 |
| Çizelge 4.11. Tatlı sorgum üretiminde enerji girdileri ve çıktıları.....                                                                                                   | 147 |
| Çizelge 4.12. Tatlı sorgum üretiminde enerji etkinliği .....                                                                                                               | 148 |
| Çizelge 4.13. Doğrudan saha emisyonları .....                                                                                                                              | 151 |
| Çizelge 4.14. Makina üretim miktarları.....                                                                                                                                | 152 |
| Çizelge 4.15. Yakıt miktarları.....                                                                                                                                        | 153 |
| Çizelge 4.16. Yakıtın yanmasından dolayı havaya olan emisyonlar.....                                                                                                       | 153 |
| Çizelge 4.17. Tekerleğin aşınmasından dolayı toprağa olan emisyonlar .....                                                                                                 | 155 |
| Çizelge 4.18. Atık ısı miktarları .....                                                                                                                                    | 155 |
| Çizelge 4.19. Yaşam döngüsü envanter analizi sonucunda elde edilen bulgular.....                                                                                           | 156 |
| Çizelge 4.20. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi sonucunda elde edilen karakterizasyon değerleri.....                                                                      | 157 |
| Çizelge 4.21. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi sonucunda elde edilen normalleştirme değerleri.....                                                                       | 158 |
| Çizelge 4.22. Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin abiyotik bozunma etkisi .....                                                                      | 159 |

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 4.23. Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin asitleşme potansiyeli etkisi.....                       | 160 |
| Çizelge 4.24. Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin deniz canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisi .....   | 161 |
| Çizelge 4.25. Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin fotokimyasal oksidasyon etkisi .....                    | 162 |
| Çizelge 4.26. Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin iklim değişikliği (20 yıl) etkisi.....                  | 164 |
| Çizelge 4.27. Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin insan zehirlenmesi (20 yıl) etkisi.....                 | 165 |
| Çizelge 4.28. Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin kara canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisi .....    | 166 |
| Çizelge 4.29. Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin ötrofikasyon potansiyeli etkisi.....                    | 167 |
| Çizelge 4.30. Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin stratosferdeki ozon azalması (20 yıl) etkisi .....      | 168 |
| Çizelge 4.31. Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin temiz su canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisi..... | 169 |



|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Yıllara göre dünyanın toplam birincil enerji arzı (MTEP) .....                               | 2  |
| Şekil 1.2. OECD ülkeleri toplam birincil enerji arzı (MTEP) .....                                       | 2  |
| Şekil 1.3. Dünya toplam birincil enerji arzının dağılımı (2008) .....                                   | 2  |
| Şekil 1.4. OECD ülkeleri toplam birincil enerji arzının dağılımı (2008) .....                           | 3  |
| Şekil 1.5. Yıllara göre dünya toplam enerji tüketimi (MTEP).....                                        | 3  |
| Şekil 1.6. OECD ülkeleri toplam enerji tüketimi (MTEP) .....                                            | 4  |
| Şekil 1.7. Dünya toplam enerji tüketiminin yakıtlara göre dağılımı (2008).....                          | 4  |
| Şekil 1.8. OECD ülkeleri toplam enerji tüketiminin yakıtlara göre dağılımı (2008) ...                   | 4  |
| Şekil 1.9. Türkiye’de 2008 yılı enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı .....                        | 6  |
| Şekil 1.10. Türkiye’de 2008 yılı enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı.....                       | 7  |
| Şekil 1.11. Türkiye’de 2008 yılı enerji tüketiminin sektörel dağılımı .....                             | 8  |
| Şekil 1.12. Türkiye’de 2008 yılı yenilenebilir enerji kaynakları tüketiminin dağılımı                   | 9  |
| Şekil 1.13. Dünyada yakıtlar tarafından oluşturulan sera gazı emisyonları .....                         | 10 |
| Şekil 1.14. Dünyada yakıtlar tarafından oluşturulan sera gazı emisyonlarının dağılımı<br>.....          | 10 |
| Şekil 1.15. Türkiye için 1990-2008 yılları arası sera gazı emisyonları.....                             | 12 |
| Şekil 1.16. Türkiye için 1990 - 2008 yılları arası sektörlere göre toplam sera gazı<br>emisyonları..... | 13 |
| Şekil 1.17. Biyokütle enerjisi kaynaklarının sınıflandırılması.....                                     | 27 |
| Şekil 1.18. Modern biyokütle kaynakları.....                                                            | 28 |
| Şekil 1.19. Biyokütleden elde edilen yakıtlar .....                                                     | 28 |
| Şekil 1.20. Tatlı sorgum bitkisi ve bitkinin orijini .....                                              | 29 |
| Şekil 1.21. Tatlı sorgum konsantre şurubu .....                                                         | 30 |
| Şekil 1.22. Mısır, şeker kamışı ve şekerpancarı.....                                                    | 32 |
| Şekil 1.23. Tatlı sorgum bitkisinin kök sistemi.....                                                    | 33 |
| Şekil 1.24. Tatlı sorgum bitkisinin sapı .....                                                          | 34 |
| Şekil 1.25. Tatlı sorgum bitkisinin yaprağı.....                                                        | 36 |
| Şekil 1.26. Tatlı sorgum bitkisinin karışık salkımı.....                                                | 37 |
| Şekil 1.27. Tatlı sorgum bitkisinin çeşitli renk ve şekillerdeki tohumları .....                        | 38 |

|                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 1.28. Tatlı sorgum bitkisinin şeker dağılımı .....                                                                             | 41  |
| Şekil 1.29. Tatlı sorgumun sap kesitindeki şeker konsantrasyonu.....                                                                 | 41  |
| Şekil 1.30. Birim alandan (1 ha) elde edilen tatlı sorgum bitkisinden üretilecek farklı ürünler.....                                 | 43  |
| Şekil 1.31. Tatlı sorgumdan etanol üretim tesisi .....                                                                               | 44  |
| Şekil 1.32. Dünyada tatlı sorgum üretiminin yapıldığı yerler.....                                                                    | 45  |
| Şekil 1.33. İran’da geliştirilmiş tatlı sorgum hasat makinası.....                                                                   | 54  |
| Şekil 1.34. Darı rastığı .....                                                                                                       | 55  |
| Şekil 1.35. Lezyon ve kabarcık şeklinde oluşan pas .....                                                                             | 55  |
| Şekil 1.36. Antraknoz .....                                                                                                          | 56  |
| Şekil 1.37. Tatlı sorgum bitkisinde yaprak bitlerinin etkisi.....                                                                    | 56  |
| Şekil 1.38. Sorgum sap kurdunun etkileri.....                                                                                        | 57  |
| Şekil 1.39. Yaşam döngüsü değerlendirme.....                                                                                         | 58  |
| Şekil 1.40. Sistem modeli .....                                                                                                      | 61  |
| Şekil 1.41. YDD’nin yapısı.....                                                                                                      | 62  |
| Şekil 1.42. Yaşam döngüsü etki değerlendirme aşamasında zorunlu elemanlar ve asitleşme örneği.....                                   | 68  |
| Şekil 1.43. YDD yönteminin çerçevesi .....                                                                                           | 71  |
| Şekil 2.1. Avrupa’da enerji bitkileri yetiştirilmesinde gübre ve pestisit uygulamalarından dolayı oluşan emisyonların etkileri ..... | 92  |
| Şekil 2.2. Avrupa’da enerji bitkileri yetiştirilmesinde toprağa salınım göstergelerinin etkileri.....                                | 93  |
| Şekil 2.3. Avrupa’da enerji bitkileri yetiştirilmesinin suya ve mineral kaynaklara etkileri.....                                     | 93  |
| Şekil 2.4. Avrupa’da enerji bitkileri yetiştirilmesinin atık, biyoçeşitlilik ve manzara etki kategorileri .....                      | 93  |
| Şekil 3.1. Tarım makinaları bölümü araştırma ve uygulama alanı .....                                                                 | 97  |
| Şekil 3.2. Üretim deneme deseni.....                                                                                                 | 98  |
| Şekil 3.3. Ekim yapılan parselin genel görünüşü .....                                                                                | 101 |
| Şekil 3.4. İlk çapalamadan sonra (bitki boyu 35 cm) parselin genel görünüşü .....                                                    | 101 |
| Şekil 3.5. Ekimden 60 gün sonra (bitki boyu 2 m) parselin genel görünüşü.....                                                        | 101 |

|                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 3.6. Ekimden 90 gün sonra (bitki boyu 3 m) parselin genel görünüşü .....                           | 102 |
| Şekil 3.7. Traktör yakıt tüketimi ölçümlerinde (tarla koşullarında) kullanılan<br>akışmetre.....         | 103 |
| Şekil 3.8. SimaPro 7 programı .....                                                                      | 104 |
| Şekil 3.9. Tatlı sorgum biyokütlesi üretim sisteminin modeli .....                                       | 114 |
| Şekil 3.10. Tarım makinalarının ana materyal bileşimleri (kütlesinin yüzdesi) .....                      | 125 |
| Şekil 4.1. Tatlı sorgum üretiminde enerji girdilerinin yüzdelik dağılımı .....                           | 136 |
| Şekil 4.2. Tarım makinaları ile çalışmada yakıt enerjisi tüketimi.....                                   | 137 |
| Şekil 4.3. Tarım makinaları ile çalışma sırasında yağ enerjisi tüketimi.....                             | 138 |
| Şekil 4.4. Tarım makinaları ile çalışma sırasında insan işgücü enerjisi tüketimi ....                    | 140 |
| Şekil 4.5. Tarım makinaları ile çalışma sırasında makina enerjisi tüketimi .....                         | 141 |
| Şekil 4.6. Tatlı sorgum üretiminde gübre enerjisi tüketimi .....                                         | 142 |
| Şekil 4.7. Tatlı sorgum üretiminde enerji girdilerinin değişimi.....                                     | 144 |
| Şekil 4.8. Tatlı sorgum üretiminde birim alandan (ha) elde edilen enerji çıktılarının<br>değişimi.....   | 145 |
| Şekil 4.9. Abiyotik bozunma etkisinin yüzdelik dağılımı.....                                             | 159 |
| Şekil 4.10. Asitleşme potansiyeli etkisinin yüzdelik dağılımı .....                                      | 161 |
| Şekil 4.11. Deniz canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisinin yüzdelik dağılımı.....                    | 162 |
| Şekil 4.12. Fotokimyasal oksidasyon etkisinin yüzdelik dağılımı .....                                    | 163 |
| Şekil 4.13. İklim değişikliği (20 yıl) etkisinin yüzdelik dağılımı .....                                 | 164 |
| Şekil 4.14. İnsan zehirlenmesi (20 yıl) etkisinin yüzdelik dağılımı .....                                | 165 |
| Şekil 4.15. Kara canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisinin yüzdelik dağılımı .....                    | 166 |
| Şekil 4.16. Ötrofikasyon potansiyeli etkisinin yüzdelik dağılımı .....                                   | 167 |
| Şekil 4.17. Stratosferdeki ozon azalması (20 yıl) etkisinin yüzdelik dağılımı .....                      | 168 |
| Şekil 4.18. Temiz su canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisinin yüzdelik dağılımı                      | 170 |
| Şekil 4.19. Normalleştirme sonucunda etki kategorilerinin çevresel etkilerinin<br>yüzdelik dağılımı..... | 170 |
| Şekil 4.20. Uygulamaların çevresel etkisinin yüzdelik dağılımı.....                                      | 171 |



## SİMGELER VE KISALTMALAR

|                     |                                                                                   |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| A                   | : Birim alan (ha)                                                                 |
| AG                  | : Atık gaz miktarı (g/ha)                                                         |
| AG <sub>D</sub>     | : Diğer atık gaz miktarı (g/ha)                                                   |
| AG <sub>PM2.5</sub> | : Partikül madde atık gaz miktarı (g/ha)                                          |
| AI                  | : Atık ısı (MJ <sub>yakıt</sub> /ha)                                              |
| AİK                 | : Traktörün ve makinanın alan iş kapasitesi (h/ha)                                |
| AM <sub>s</sub>     | : Sentetik lastikteki ağır metal içeriği (g <sub>HM</sub> /kg <sub>lastik</sub> ) |
| AME                 | : Ağır metal emisyonu (g/ha)                                                      |
| AşM <sub>t</sub>    | : Tekerleğin aşınma miktarı (kg <sub>lastik</sub> /kg <sub>tekerlek</sub> )       |
| AÜV                 | : Ana ürün verimi (kg/ha)                                                         |
| BMİDÇŞ              | : Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi                        |
| ÇS                  | : Çalışma süresi (h)                                                              |
| DF                  | : Düzeltme faktörü (-)                                                            |
| DF <sub>g</sub>     | : Kullanılan gübreler için düzeltme faktörü (-)                                   |
| E <sub>aü</sub>     | : Ana ürünün enerji eşdeğeri (MJ/kg)                                              |
| E <sub>yağ</sub>    | : Alan başına yağ enerjisi tüketimi (MJ/ha)                                       |
| E <sub>yakıt</sub>  | : Alan başına yakıt enerjisi tüketimi (MJ/ha)                                     |
| E <sub>yü</sub>     | : Yan ürünün enerji eşdeğeri (MJ/kg)                                              |
| EF                  | : Emisyon faktörü (g/kg <sub>yakıt</sub> )                                        |
| EF <sub>PM2.5</sub> | : Partikül madde emisyon faktörü (g/kg <sub>yakıt</sub> )                         |
| EG <sub>dğ</sub>    | : Doğrudan enerji girdisi (MJ/ha)                                                 |
| EG <sub>dy</sub>    | : Dolaylı enerji girdisi (MJ/ha)                                                  |
| EİK                 | : Etkin iş kapasitesi (ha/h)                                                      |
| EM                  | : Emisyon miktarı (g/h)                                                           |
| EN                  | : Ekim normu (kg/ha)                                                              |
| EÖ                  | : Traktörün ve makinanın ekonomik ömrü (h)                                        |
| EÖ <sub>t</sub>     | : Tekerlek grubunun ömrü (h)                                                      |
| EPDK                | : Enerji piyasası düzenleme kurulu                                                |
| GE                  | : Birim alana toplam gübre enerjisi girdisi (MJ/ha)                               |

|                  |                                                                                                |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| HHV              | : Üst ısı değeri (MJ/kg)                                                                       |
| $hM_{yakıt}$     | : Tarımsal işlemler sırasında tüketilen ortalama yakıt miktarı (L/h)                           |
| IEA              | : Uluslararası enerji ajansı                                                                   |
| İE               | : İnsan işgücü enerjisi (MJ/ha)                                                                |
| İEE              | : İşgücü enerji eşdeğeri (MJ/h)                                                                |
| İS               | : İşçi sayısı (adet)                                                                           |
| $I_{i\bar{S}}$   | : İşlem sayısı (adet)                                                                          |
| K                | : Toprak aşınım faktörü (-)                                                                    |
| $KMG_{max}$      | : Traktörün maksimum kuyruk mili gücü (kW)                                                     |
| $K_2O$           | : Uygulanan potasyumlu gübre miktarı (kg)                                                      |
| $K_2O_{eş}$      | : Potasyumlu gübre üretimi için tüketilen enerji miktarı (MJ/kg)                               |
| LHV              | : Alt ısı değeri (MJ/kg)                                                                       |
| $LHV_{yağ}$      | : Yağın alt ısı değeri (MJ/L)                                                                  |
| $LHV_{yakıt}$    | : Yakıtın alt ısı değeri (MJ/L)                                                                |
| $M_{çökelme}$    | : mg/(ha yıl)'da atmosferik çökelme nedeniyle ağır metal girdisi                               |
| $M_{yakıt}$      | : Alan başına traktörün yakıt tüketimi (L/ha, kg/ha)                                           |
| $M_{süzülme\ i}$ | : i ağır metal emisyonunun tarımsal salımı (mg/ha)                                             |
| $M_{tarım\ i}$   | : mg/(ha yıl)'da tarımsal üretim sonucunda ağır metal girdisi                                  |
| m                | : Makinanın kütlesi (kg)                                                                       |
| $m_{süzülme\ i}$ | : i ağır metal emisyonunun ortalama miktarı (mg/ha)                                            |
| $m_t$            | : Makinanın bir kg'ı başına düşen tekerlek grubunun kütlesi<br>( $kg_{tekerlek}/kg_{makine}$ ) |
| ME               | : Alan başına makina kullanımına ilişkin dolaylı enerji tüketimi<br>(MJ/ha)                    |
| MTEP             | : Milyon ton eşdeğer petrol                                                                    |
| MÜM              | : Makina üretim miktarı (kg/ha)                                                                |
| MYE              | : Makina yapım enerjisi (MJ)                                                                   |
| N                | : Uygulanan azotlu gübre miktarı (kg)                                                          |
| $N_{eş}$         | : Azotlu gübre üretimi için tüketilen enerji miktarı (MJ/kg)                                   |
| $N_{girdi}$      | : Mineral gübre olarak verilen azot miktarı (kg/ha)                                            |
| $N_{süzülen}$    | : Nitrat süzülme miktarı (kg/ha)                                                               |

|                  |                                                                                                   |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OECD             | : Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü                                                           |
| $P_{anma}$       | : Traktörün anma gücü (kW)                                                                        |
| $P_{nom}$        | : Traktörün nominal gücü (kW)                                                                     |
| $P_{ort}$        | : Kullanılan makinaların traktörden çektikleri ortalama güç (kW)                                  |
| PEGSÜ            | : Pazar Ekonomisine Geçiş Sürecindeki Ülkeler                                                     |
| $P_2O_5$         | : Uygulanan fosforlu gübre miktarı (kg)                                                           |
| $P_2O_{5B}$      | : Bulamaçlardaki $P_2O_5$ miktarı (kg/ha)                                                         |
| $P_2O_{5eş}$     | : Fosforlu gübre üretimi için tüketilen enerji miktarı (MJ/kg)                                    |
| $P_2O_{5K}$      | : Katı gübrelerdeki $P_2O_5$ miktarı (kg/ha)                                                      |
| $P_2O_{5M}$      | : Mineral gübrelerdeki $P_2O_5$ miktarı (kg/ha)                                                   |
| $P_2O_{5n}$      | : Nehire akan fosforun miktarı (kg/ha)                                                            |
| $P_2O_{5nt}$     | : Toprak kullanım kategorisi için nehire akan fosforun ortalama miktarı (kg/ha)                   |
| PTE              | : Paketleme ve taşıma enerjisi (MJ/kg)                                                            |
| SE               | : Birim alana sulama enerjisi girdisi (MJ/ha)                                                     |
| TBE              | : Makinanın tamir/bakım enerjisi (MJ)                                                             |
| TDE              | : Makinanın taşıma/dağıtım enerjisi (MJ)                                                          |
| TE               | : Birim alana tohumluk enerjisi (MJ/ha)                                                           |
| TEÇ              | : Toplam enerji çıktısı (MJ/ha)                                                                   |
| TEG              | : Toplam enerji girdisi (MJ/ha)                                                                   |
| $TF_i$           | : i ağır metali için toplam girdilerde tarımsal girdilerin paylaşılması için tahsisat faktörü (-) |
| TÜE              | : Tohum üretim enerjisi (MJ/kg)                                                                   |
| u                | : Gübre uygulama sayısı (adet)                                                                    |
| YDD              | : Yaşam döngüsü değerlendirme                                                                     |
| YT               | : Traktörün saatlik yağ tüketimi (L/h)                                                            |
| YÜV              | : Yan ürün verimi (kg/ha)                                                                         |
| $\delta_{dizel}$ | : Dizel yakıtın özgül kütlesi (0.84 kg/L)                                                         |



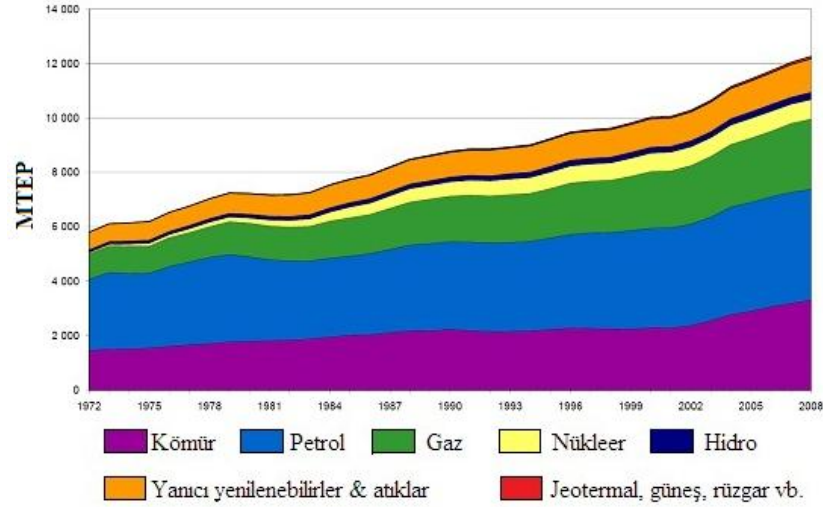
## 1. GİRİŞ

Enerji, doğa ve toplum yaşamı için önemli bir etmendir. İnsanoğlunun yaşam standartlarının artmasında ve sosyo-ekonomik olarak gelişmesinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Enerji üretimi, dönüşümü ve tüketimi, çevre ve sürdürülebilir bir gelişme için önemli bir girdi olarak dikkate alınır. Enerji üretimi, ekosistemi bozan önemli çevresel sorunlara neden olur. Enerji sistemleri ile enerji üretiminden, tüketimine ve atılmasına kadar gerçekleşen değişik aşamalarda çevreye değişik emisyonlarda bulunulur. Bunlardan en önemlileri sera gazı emisyonlarıdır. Bu emisyonların yüksek olmasının sebebi ise, enerji üretiminde tüm dünyada birincil enerji kaynağı olarak fosil yakıtların kullanılmasıdır. Ayrıca, fosil yakıtlar sınırlı miktarda bulunmakta ve tükenebilmektedir. Çevresel ve sürdürülebilir bir gelişme için, bu emisyonların en az seviyede olması gerekir. Özellikle, Kyoto protokolünün de devreye girmesiyle, protokolü imzalayan ülkeler, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin teknolojilerin geliştirilmesi üzerine odaklanmışlardır.

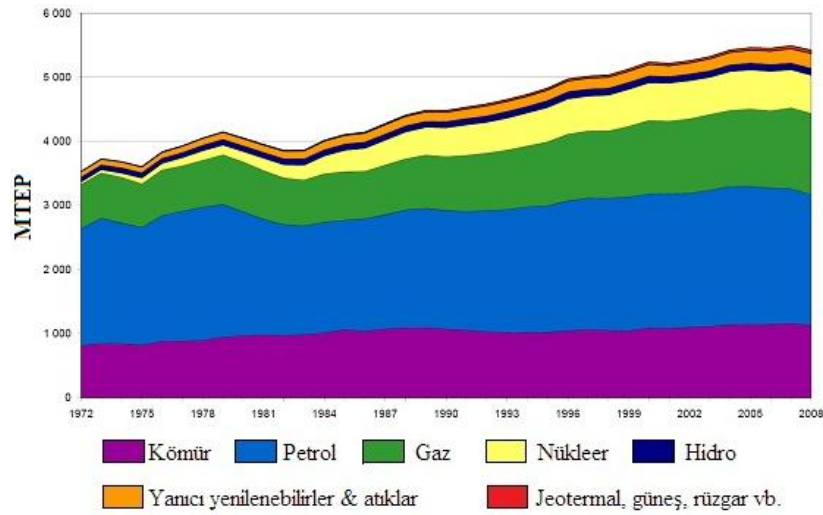
Kyoto protokolünün ardından, yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütle kaynaklarının kullanımı ve geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. Biyokütle kaynaklarının kullanımı ve geliştirilmesi sonucunda, enerji tarımı, enerji ormancılığı vb. yeni kavramlar ortaya çıkmıştır.

### 1.1. Dünya Enerji Üretimi ve Tüketimi

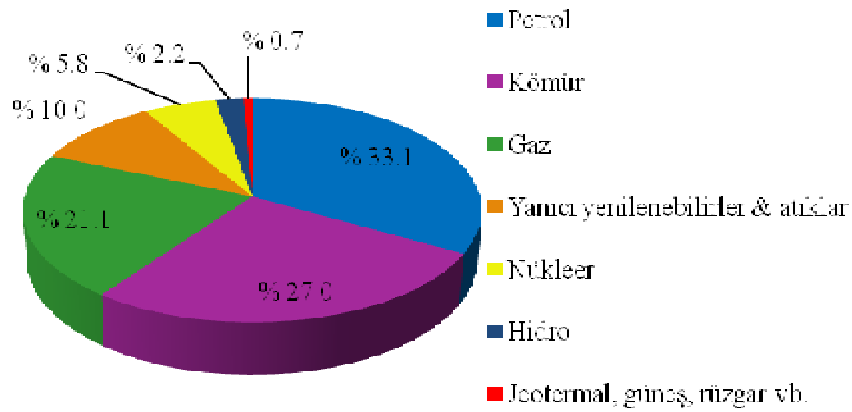
Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency - IEA) tarafından 2010 yılı içinde yayınlanan enerji istatistiklerine göre, 2008 yılında, tüm dünyanın toplam birincil enerji arzı (Total Primary Energy Supply - TPES) 12 267 MTEP olmuştur (Şekil 1.1). OECD ülkeleri toplamında bu değer, 5 422 MTEP olarak gerçekleşmiştir (Şekil 1.2). Enerji arzında kaynak paylarına bakıldığında, petrolün hem dünyada (% 33.1) (Şekil 1.3), hem de OECD ülkelerinde (% 37.5) (Şekil 1.4) en önemli enerji kaynağı olarak birinci sırayı aldığı görülmektedir (IEA, 2010).



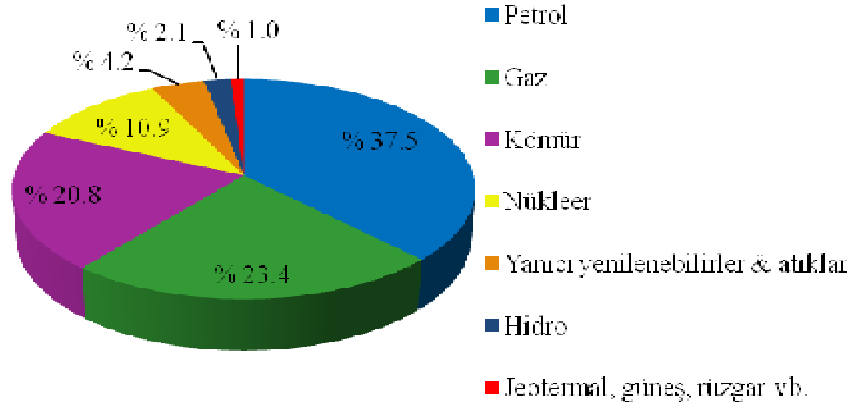
Şekil 1.1. Yıllara göre dünyanın toplam birincil enerji arzı (MTEP) (IEA, 2010)



Şekil 1.2. OECD ülkeleri toplam birincil enerji arzı (MTEP) (IEA, 2010)

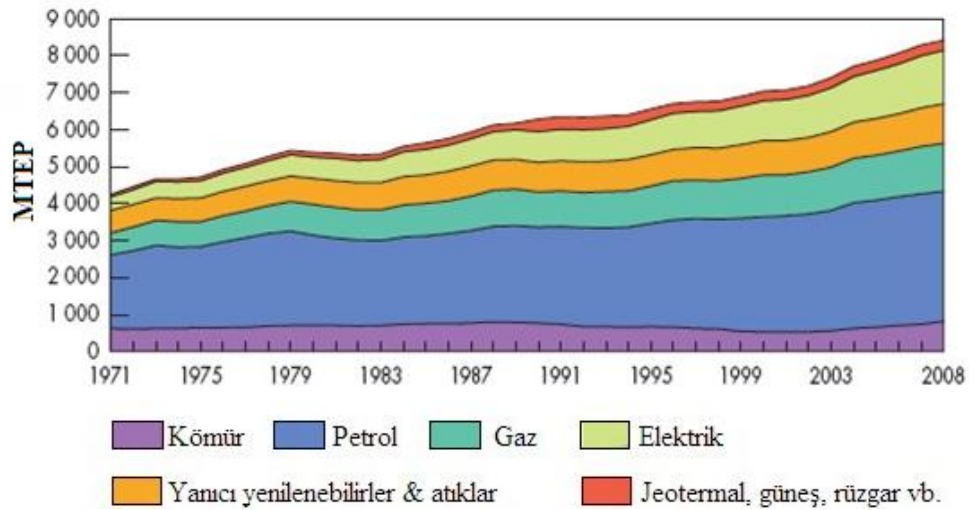


Şekil 1.3. Dünya toplam birincil enerji arzının dağılımı (2008) (IEA, 2010)

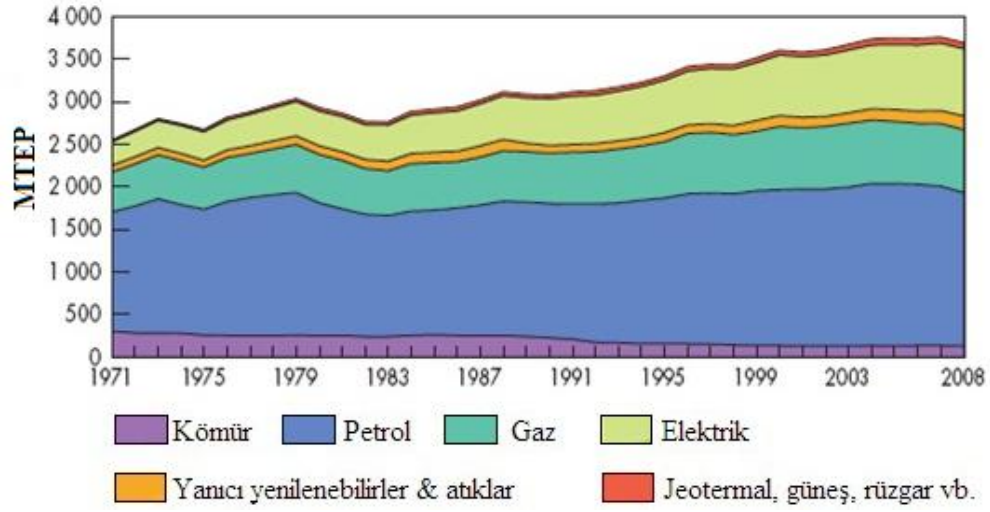


Şekil 1.4. OECD ülkeleri toplam birincil enerji arzının dağılımı (2008) (IEA, 2010)

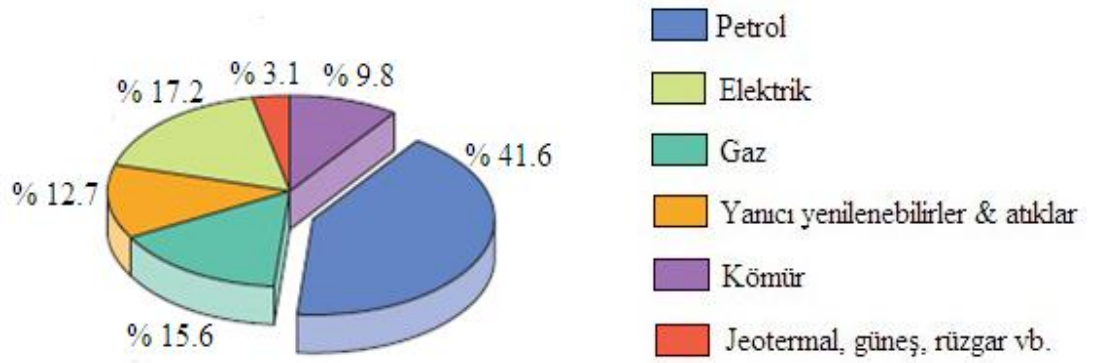
2008 yılı için dünya toplam enerji tüketimi 8 428 MTEP olmuştur (Şekil 1.5). OECD ülkeleri toplamında bu değer 3 696 MTEP olarak gerçekleşmiştir (Şekil 1.6). Dünya toplam enerji tüketiminde en büyük payı petrol (% 41.6) almaktadır. Bunu sırasıyla elektrik (% 17.2), gaz (% 15.6) ve yanıcı yenilenebilirler ve atıklar (% 12.7) takip etmektedir (Şekil 1.7). OECD ülkeleri toplamında toplam enerji tüketiminde de en büyük payı petrol (% 48.7) almaktadır. Bunu sırasıyla elektrik (% 21.5), gaz (% 20.0) takip etmektedir (Şekil 1.8) (IEA, 2010).



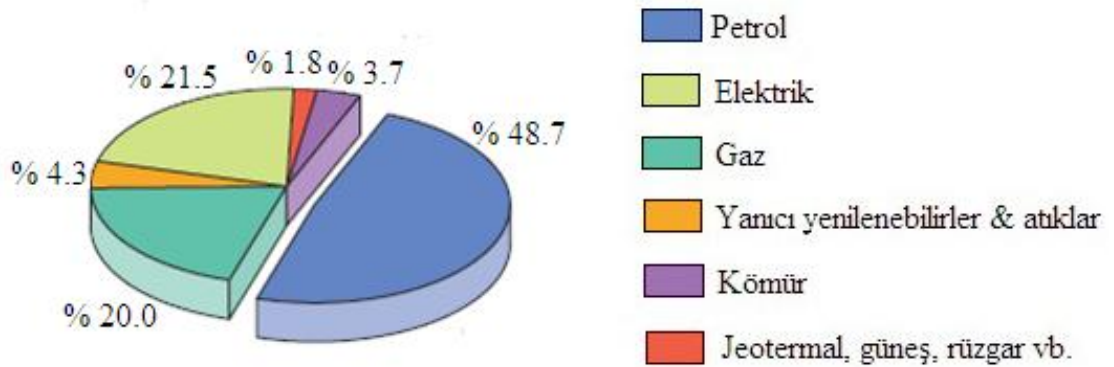
Şekil 1.5. Yıllara göre dünya toplam enerji tüketimi (MTEP) (IEA, 2010)



Şekil 1.6. OECD ülkeleri toplam enerji tüketimi (MTEP) (IEA, 2010)



Şekil 1.7. Dünya toplam enerji tüketiminin yakıtlara göre dağılımı (2008) (IEA, 2010)



Şekil 1.8. OECD ülkeleri toplam enerji tüketiminin yakıtlara göre dağılımı (2008) (IEA, 2010)

## 1.2. Türkiye Enerji Üretimi ve Tüketimi

### 1.2.1. Birincil Enerji Kaynaklarının Üretimi

Ülkemizde enerji söz konusu olduğunda; ülkesel kaynakların yeterli olmasına rağmen, dışa bağımlı bir yapının olduğu görülmektedir. Ülkemizde enerji kaynakları üretim rakamları incelendiğinde; 2008 yılı itibarıyla 29 257 bin ton eşdeğer petrol (bin TEP) enerji üretiminin gerçekleştirildiği görülmektedir. Ülkemizde üretilen birincil enerji kaynakları içerisinde özellikle linyit, hidrolik ve jeotermal enerji, odun, hayvan ve bitki artıkları enerji kaynaklarının ön plana çıktığı görülmektedir (Çizelge 1.1).

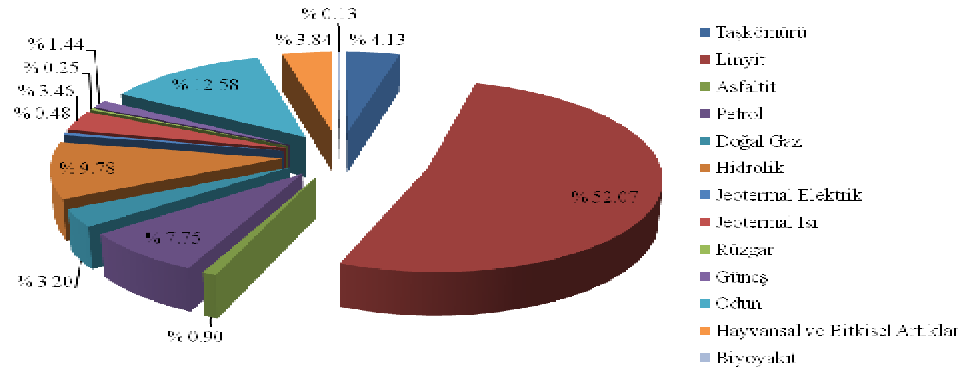
Çizelge 1.1. Birincil Enerji Kaynakları Üretimi (Orijinal Birimler) (ETKB, 2010)

| Birincil Enerji Kaynakları                  | Yıllar |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                             | 1980   | 1990   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   |
| Taşkömürü (Bin Ton)                         | 3 598  | 2 745  | 2 392  | 2 494  | 2 319  | 2 059  | 1 946  | 2 170  | 2 319  | 2 462  | 2 601  |
| Linyit (Bin Ton)                            | 14 469 | 44 407 | 60 854 | 59 572 | 51 660 | 46 168 | 43 709 | 57 708 | 61 484 | 72 121 | 76 171 |
| Asfaltit (Bin Ton)                          | 558    | 276    | 22     | 31     | 5      | 336    | 722    | 888    | 452    | 782    | 630    |
| Petrol (Bin Ton)                            | 2 330  | 3 717  | 2 749  | 2 551  | 2 442  | 2 375  | 2 276  | 2 281  | 2 176  | 2 134  | 2 160  |
| Doğal Gaz (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | 23     | 212    | 639    | 312    | 378    | 561    | 708    | 897    | 907    | 893    | 1 017  |
| Hidrolik ve Jeotermal Elektrik (GWh)        | 11 348 | 23 228 | 30 955 | 24 100 | 33 789 | 35 419 | 46 177 | 39 655 | 44 338 | 36 007 | 33 432 |
| Jeotermal Isı (Bin TEP)                     | 60     | 364    | 648    | 687    | 730    | 784    | 811    | 926    | 898    | 914    | 1 011  |
| Rüzgar (GWh)                                | -      | -      | 21     | 33     | 62     | 48     | 61     | 58     | 127    | 355    | 847    |
| Güneş (Bin TEP)                             | -      | 28     | 262    | 287    | 318    | 350    | 375    | 385    | 403    | 420    | 420    |
| Odun (Bin Ton)                              | 15 765 | 17 870 | 16 938 | 16 263 | 15 614 | 14 991 | 14 393 | 13 819 | 13 411 | 12 932 | 12 264 |
| Hayvansal ve Bitkisel Artıklar (Bin Ton)    | 12 839 | 8 030  | 5 981  | 5 790  | 5 609  | 5 439  | 5 278  | 5 127  | 4 984  | 4 850  | 4 883  |
| Biyoyakıt (Bin Ton)                         | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | 2      | 14     | 74     |
| Toplam (Bin TEP)                            | 17 358 | 25 478 | 26 047 | 24 576 | 24 282 | 23 783 | 24 332 | 24 549 | 26 580 | 27 455 | 29 257 |

\* Elektrik ithalatı dahil edilmemiştir.

Üretilen enerji kaynakları oransal olarak incelendiğinde ise; linyit % 52.07, odun % 12.58, hidrolik enerji % 9.78, petrol % 7.75, taş kömürü % 4.13, hayvansal

ve bitkisel artıklar % 3.84, jeotermal ısı % 3.46, doğal gaz % 3.20 ve güneş, jeotermal elektrik, asfaltit, rüzgar ve biyoyakıt enerjisi gibi diğer enerji kaynakları toplamının yaklaşık olarak % 1.76 oranında pay aldığı görülmektedir (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Türkiye’de 2008 yılı enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı

### 1.2.2. Birincil Enerji Kaynaklarının Tüketimi

Ülkemiz enerji konusunda dışa bağımlı bir yapı göstermekte ve en önemli enerji kaynağı olan petrolün % 90’ını ithal etmektedir. Toplam enerji talebinin de yaklaşık % 72’sini dışalım yoluyla karşılayan ülkemizde enerji konusunda kronik bir dışa bağımlılıktan rahatlıkla söz edebiliriz. Sonuç olarak, ülkemizin enerji kaynakları üretimi, tüketimi karşılamamakta ve enerjide karşılaşılan üretim açığı ithalat ile giderilmekte ve ülkemizde enerji konusunda karşılaşılan yapısal sorunlar devam etmektedir.

Ülkemizde birincil enerji tüketim rakamları incelendiğinde; 2000’li yıllardan itibaren düzenli artış gösteren enerji tüketimimiz, 2008 yılı itibariyle 104 286 bin TEP olarak gerçekleşmiştir. 2008 yılı itibariyle ülkemizde tüketilen enerjinin kaynaklara göre dağılımı incelendiğinde; sırasıyla doğal gazın 33 604 bin TEP (% 32.22), petrolün 32 294 bin TEP (% 30.97), linyitin 15 053 bin TEP (% 14.43), kömürün 13 859 bin TEP (% 13.29) ve yenilenebilir enerji kaynakları toplamının 9 204 bin TEP olduğu görülmektedir (Çizelge 1.2).

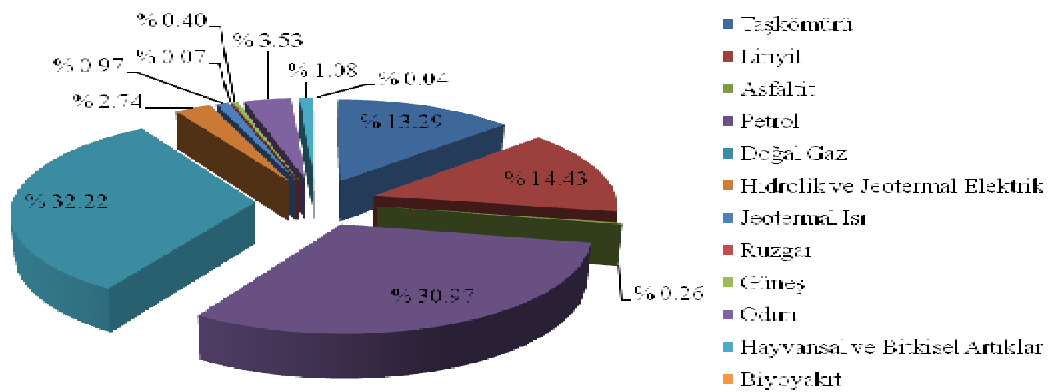
Bu tüketimlere ilave olarak, odun enerjisi % 3.53, hidrolik ve jeotermal elektrik tüketimi % 2.74, hayvansal ve bitkisel atıklar, jeotermal ısı, güneş, asfaltit,

rüzgar ve biyoyakıt enerjisinin ise yaklaşık % 2.81 olduğu görülmektedir. Tüketim rakamları incelendiğinde, ülkemizde enerji tüketiminde fosil kökenli yakıt tüketiminin % 91.17 olduğu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının ise toplam tüketim içinde % 8.83 dolayında kaldığı anlaşılmaktadır (Şekil 1.10).

Çizelge 1.2. Birincil Enerji Kaynakları Tüketimi (Orijinal Birimler) (ETKB, 2010)

| Birincil Enerji Kaynakları                  | Yıllar |        |        |        |        |        |        |        |        |         |         |
|---------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
|                                             | 1980   | 1990   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   | 2005   | 2006   | 2007    | 2008    |
| Taşkömürü (Bin Ton)                         | 4 630  | 10 082 | 15 525 | 11 176 | 13 830 | 17 535 | 18 904 | 19 421 | 22 798 | 25 388  | 22 720  |
| Linyit (Bin Ton)                            | 19 850 | 48 825 | 64 384 | 61 010 | 52 039 | 46 051 | 44 823 | 56 571 | 60 184 | 72 317  | 75 264  |
| Asfaltit (Bin Ton)                          | 558    | 286    | 22     | 31     | 5      | 336    | 722    | 738    | 602    | 632     | 630     |
| Petrol (Bin Ton)                            | 15 309 | 22 763 | 31 072 | 29 661 | 29 776 | 30 669 | 31 729 | 31 062 | 31 395 | 32 143  | 30 756  |
| Doğal Gaz (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | 23     | 3 418  | 15 086 | 16 339 | 17 694 | 21 374 | 22 446 | 27 171 | 31 187 | 36 682  | 36 928  |
| Hidrolik ve Jeotermal Elektrik (GWh)        | 10 651 | 23 954 | 30 955 | 24 100 | 33 789 | 35 419 | 46 177 | 39 655 | 44 338 | 36 007  | 33 270  |
| Jeotermal Isı (Bin TEP)                     | 60     | 364    | 648    | 687    | 730    | 784    | 811    | 926    | 898    | 914     | 1 011   |
| Rüzgar (GWh)                                | -      | -      | 33     | 62     | 48     | 61     | 58     | 59     | 127    | 355     | 847     |
| Güneş (Bin TEP)                             | -      | 28     | 262    | 287    | 318    | 350    | 375    | 385    | 403    | 420     | 420     |
| Odun (Bin Ton)                              | 15 767 | 17 870 | 16 938 | 16 263 | 15 614 | 14 991 | 14 393 | 13 819 | 13 411 | 12 931  | 12 264  |
| Hayvansal ve Bitkisel Artıklar (Bin Ton)    | 12 839 | 8 030  | 5 981  | 5 790  | 5 609  | 5 439  | 5 278  | 5 127  | 4 984  | 4 850   | 4 883   |
| Biyoyakıt (Bin Ton)                         | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | 2      | 12      | 74      |
| Toplam (Bin TEP)                            | 31 848 | 52 709 | 78 577 | 73 589 | 76 320 | 82 074 | 86 200 | 89 199 | 98 138 | 106 815 | 104 286 |

\* Elektrik ithalatı dahil edilmemiştir.



Şekil 1.10. Türkiye’de 2008 yılı enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı

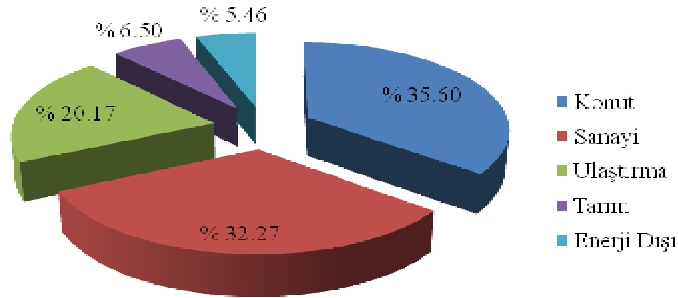
Ülkemizde tüketilen enerjinin sektörlere göre dağılımı incelendiğinde (Çizelge 1.3); başta sanayi tüketimi olmak üzere sırasıyla, konut tüketimi, ulaştırma, enerji dışı tüketim ve tarım sektörünün geldiği görülmektedir.

Çizelge 1.3. Türkiye’de Sektörel Enerji Tüketimi (ETKB, 2010)

| Yıllar | Enerji Tüketimi (Bin TEP) |        |           |       |             |                       | Toplam Enerji Tüketimi (*) |
|--------|---------------------------|--------|-----------|-------|-------------|-----------------------|----------------------------|
|        | Konut                     | Sanayi | Ulaştırma | Tarım | Enerji Dışı | Nihai Enerji Tüketimi |                            |
| 2000   | 20 058                    | 24 501 | 12 008    | 3 073 | 1 915       | 61 555                | 80 500                     |
| 2001   | 18 122                    | 21 324 | 12 000    | 2 964 | 1 638       | 56 048                | 75 402                     |
| 2002   | 18 463                    | 24 782 | 11 405    | 3 030 | 1 806       | 59 486                | 78 331                     |
| 2003   | 19 634                    | 27 777 | 12 395    | 3 086 | 2 098       | 64 990                | 83 826                     |
| 2004   | 20 252                    | 29 358 | 13 907    | 3 314 | 2 174       | 69 005                | 87 818                     |
| 2005   | 22 923                    | 28 084 | 13 849    | 3 359 | 3 296       | 71 510                | 91 074                     |
| 2006   | 23 677                    | 30 996 | 14 994    | 3 610 | 4 163       | 77 441                | 99 642                     |
| 2007   | 24 623                    | 32 466 | 17 282    | 3 945 | 4 430       | 82 746                | 107 625                    |
| 2008   | 28 323                    | 25 677 | 16 044    | 5 174 | 4 341       | 79 559                | 106 338                    |

(\*) Çevrim sektörü genel toplama ilave edilmiştir.

Ülkemizde 2008 yılı itibariyle tüketilen enerjinin sektörel bazda dağılımı Şekil 1.11’de verilmiştir. Buna göre; toplam tüketim içerisinde konut sektörü % 35.60, sanayi sektörü % 32.27, ulaştırma sektörü % 20.17, tarım sektörü % 6.50 ve enerji dışı alanlar % 5.46 pay almaktadır.



Şekil 1.11. Türkiye’de 2008 yılı enerji tüketiminin sektörel dağılımı

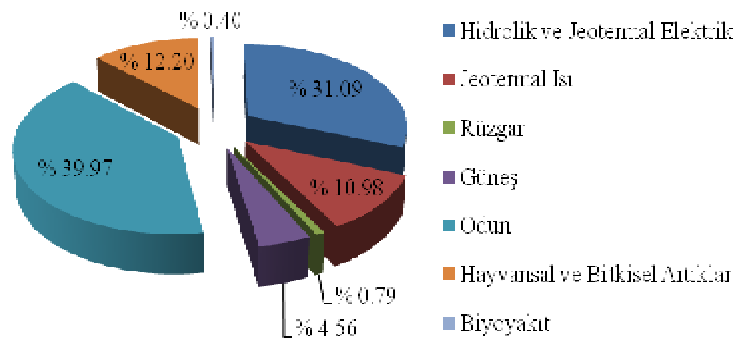
### 1.2.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanımı

Ülkemizde yerli ve yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji yönetimine ilişkin, uzun yıllardır birçok platformda raporlar ve öneriler sunulmasına rağmen,

yenilenebilir enerjinin hayat bulması için beklediği teşvik ve desteğin sınırlarını çizecek yasal bir düzenleme ancak 2005 yılında çıkarılabilmıştır (TMMOB, 2008).

Yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli açısından zengin sayılabilecek bir durumda olmasına rağmen, ülkemiz mevcut potansiyelini yeterince kullanamamaktadır. Bu kaynakların geliştirilmesi ve sürdürülebilirliğinin sağlanması AR-GE çalışmalarına verilen desteklerle olmaktadır. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen desteklerin (% 0.7), dünya ortalaması (% 2-3) ile karşılaştırıldığında düşük olduğu görülmekle birlikte, bunu geliştirmeye yönelik çalışmaların da yapılmadığı dikkatleri çekmektedir (Yaşar, 2009).

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları olarak; hidrolik, jeotermal elektrik-ısı, rüzgar, güneş, odun, biyoyakıt, hayvansal ve bitkisel atıkların enerji üretiminde kullanıldığı bilinmektedir. Enerji üretiminde kullanılan bu alternatif kaynakların üretim miktarları 2008 yılı itibariyle incelendiğinde; başta hidrolik ve jeotermal elektrik, odun, hayvansal ve bitkisel atıkların kullanımının geldiği görülmektedir. Rakamsal olarak hidrolik-jeotermal elektriğin, güneş ve rüzgar enerjilerinin 39 164 GWh, odun enerjisi kullanımının 12 264 bin ton, hayvansal ve bitkisel atıkların enerji olarak kullanımının 4 883 bin ton ve jeotermal ısının 1 011 bin TEP enerji kapasitesine sahip olduğu görülmektedir (ETKB, 2010). Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları tüketim rakamları incelendiğinde (Şekil 1.12); odunun % 39.97, hidrolik-jeotermal elektriğin % 31.09, hayvansal ve bitkisel atığın % 12.20, jeotermal ısının % 10.98, güneşin % 4.56, rüzgar enerjisinin % 0.79 ve biyoyakıtın % 0.40 pay aldıkları görülmektedir.



Şekil 1.12. Türkiye’de 2008 yılı yenilenebilir enerji kaynakları tüketiminin dağılımı

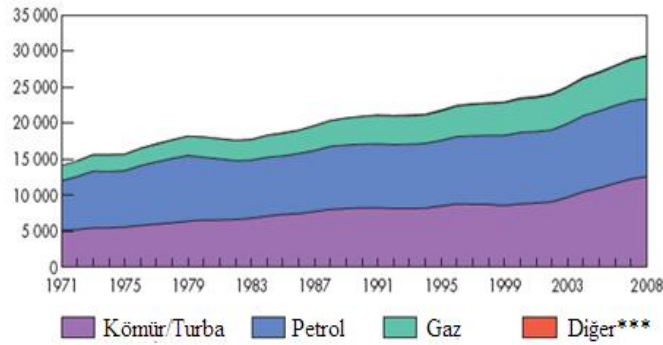
### 1.3. Enerji ve Çevre



**Enerji** ve **Çevre**, iki ayrı başlık gibi gözükse de, bir elmanın iki yarısı gibi birbirlerini tamamlamaktadırlar. Günümüzde iklim değişikliği, enerji politikalarına yön veren, eğilim tahmin modellerine girdi sağlayan ana parametrelerden birisidir.

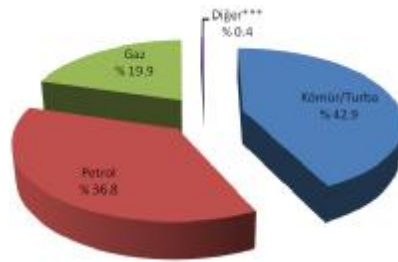
#### 1.3.1. Dünyada Sera Gazı Emisyonlarındaki Mevcut Durum

Dünyada yakıtlar tarafından oluşturulan sera gazı emisyonu 1971-2008 yılları arasında yaklaşık 2 kat artarak 14 900 milyon ton CO<sub>2</sub> eşdeğerinden (Mton CO<sub>2</sub>-eş), 29 381 Mton CO<sub>2</sub>-eş'e yükselmiştir (Şekil 1.13). 2008 yılında dünyada en fazla sera gazı emisyonuna % 42.9'luk oranla kömür/turba yakıtı sebep olmuştur. Bunu sırasıyla petrol (% 36.8) ve gaz (% 19.9) yakıtlar takip etmiştir (Şekil 1.14) (IEA, 2010).



\*\*\* Endüstriyel atıklar ve yenilenemeyen kentsel atıkları

Şekil 1.13. Dünyada yakıtlar tarafından oluşturulan sera gazı emisyonları (Mton CO<sub>2</sub>-eş) (IEA, 2010)



\*\*\* Endüstriyel atıklar ve yenilenemeyen kentsel atıkları

Şekil 1.14. Dünyada yakıtlar tarafından oluşturulan sera gazı emisyonlarının dağılımı (2008) (IEA, 2010)

### 1.3.2. Türkiye’de Sera Gazı Emisyonlarındaki Mevcut Durum

#### 1.3.2.1. Sera Gazı Emisyonları

Türkiye’nin sera gazı üretimi ise, 1990-2008 yılları arasında yaklaşık 2 kat artarak 187.03 Mton CO<sub>2</sub>-eş’den, 366.50 Mton CO<sub>2</sub>-eş’e yükselmiştir (Çizelge 1.4). Sera gazları içindeki en yüksek pay ise CO<sub>2</sub>’e aittir (Şekil 1.15).

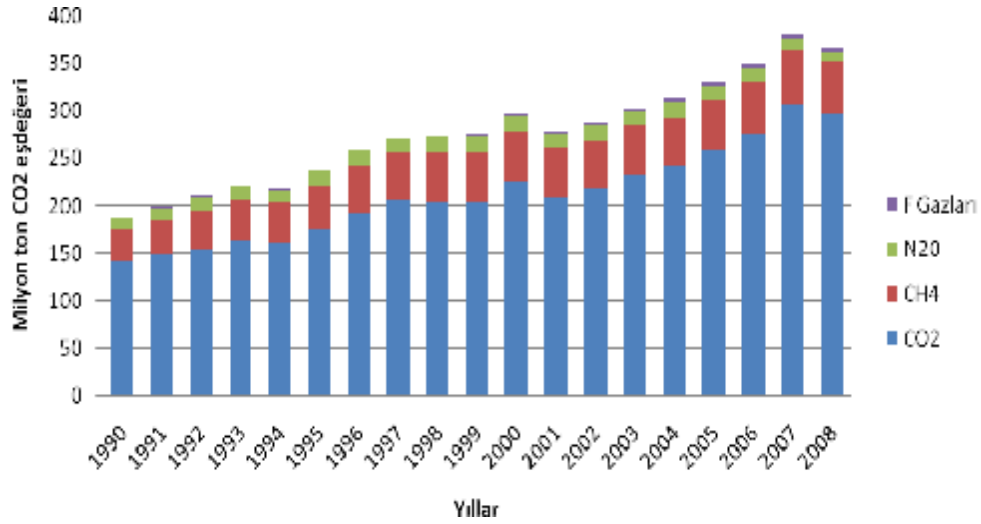
Çizelge 1.4. Türkiye için 1990-2008 Yılları Arası Sera Gazı Emisyonları (TÜİK, 2010)

| Yıllar | Sera Gazı Emisyonları (Mton CO <sub>2</sub> -eş) |                 |                  |           |        |
|--------|--------------------------------------------------|-----------------|------------------|-----------|--------|
|        | CO <sub>2</sub>                                  | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O | F Gazları | Toplam |
| 1990   | 141.36                                           | 33.50           | 11.57            | 0.60      | 187.03 |
| 1991   | 148.31                                           | 37.56           | 12.51            | 0.74      | 199.13 |
| 1992   | 153.95                                           | 41.02           | 14.58            | 0.68      | 210.23 |
| 1993   | 162.55                                           | 42.33           | 15.10            | 0.69      | 221.67 |
| 1994   | 160.82                                           | 43.71           | 12.02            | 0.60      | 217.15 |
| 1995   | 173.90                                           | 46.87           | 16.22            | 0.52      | 237.51 |
| 1996   | 192.01                                           | 49.31           | 16.40            | 0.89      | 258.62 |
| 1997   | 205.18                                           | 50.59           | 14.98            | 1.13      | 271.88 |
| 1998   | 204.32                                           | 51.90           | 16.65            | 1.18      | 274.04 |
| 1999   | 203.68                                           | 53.14           | 16.93            | 1.03      | 274.77 |
| 2000   | 225.43                                           | 53.30           | 16.62            | 1.66      | 297.01 |
| 2001   | 208.99                                           | 52.74           | 14.69            | 1.70      | 278.11 |
| 2002   | 217.93                                           | 50.43           | 15.32            | 2.41      | 286.08 |
| 2003   | 232.64                                           | 51.63           | 15.67            | 2.80      | 302.75 |
| 2004   | 243.43                                           | 49.37           | 16.00            | 3.46      | 312.26 |
| 2005   | 259.61                                           | 52.35           | 14.18            | 3.73      | 329.86 |
| 2006   | 276.72                                           | 53.33           | 15.55            | 4.05      | 349.64 |
| 2007   | 307.92                                           | 55.58           | 12.35            | 4.13      | 379.97 |
| 2008   | 297.12                                           | 54.29           | 11.57            | 3.51      | 366.50 |

\*Arazi kullanımı ve arazi kullanım değişimlerinden kaynaklanan emisyonlar envantere dahil edilmemiştir.

Türkiye; OECD ve Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) EK-1 ülkeleri arasında; kişi başı sera gazı emisyon, kümülatif emisyon ve kişi başı birincil enerji tüketimi miktarına göre en düşük değere sahiptir. Türkiye’nin 2008 yılı kişi başı sera gazı emisyonu değeri 3.71 ton CO<sub>2</sub> eşdeğeridir.

Aynı dönemde OECD kişi başı emisyonu ortalama 10.61 ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri, Avrupa Birliği'ne üye 27 ülkede ise ortalama 7.72 ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri olmuştur (IEA, 2010).



Şekil 1.15. Türkiye için 1990-2008 yılları arası sera gazı emisyonları (TÜİK, 2010)

Türkiye sera gazları emisyon politikalarını; halen sanayileşmeye devam eden, sera gazı sınırlaması (artıştan azaltım) yapabilecek, ulusal uygun azaltım eylemlerini uygulamaya koymayı, düşük karbonlu kalkınma stratejisi ile kalkınmayı hedefleyen ülke olarak belirlemektedir (ÇED, 2009).

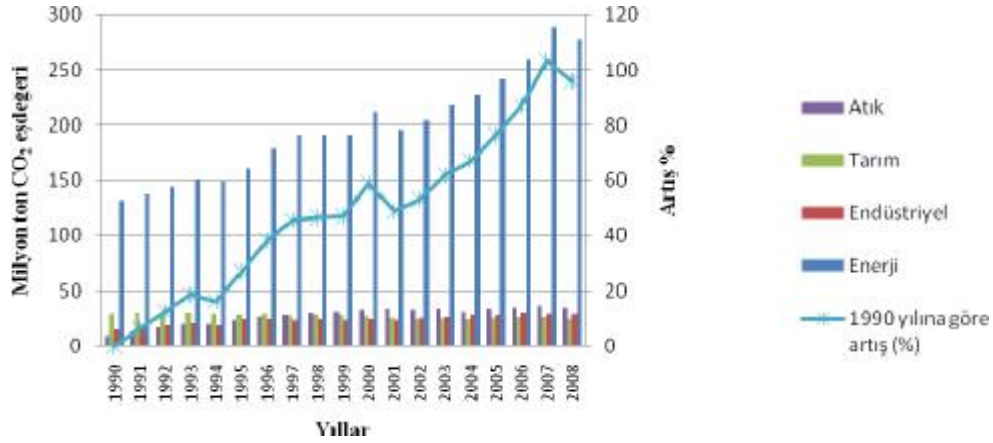
### 1.3.2.2. Sektörlere Göre Toplam Sera Gazı Emisyonları

1990-2008 yılları arasında enerji sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları 132.13 Mton CO<sub>2</sub>-eş'den, 277.71 Mton CO<sub>2</sub>-eş'e yükselmiştir (Çizelge 1.5). Bütün dünyada olduğu gibi, Türkiye'de de sera gazı emisyonu kaynakları içerisinde en büyük pay enerji sektörüne ait olup, 2008 yılı emisyonlarında enerji sektörünün payı % 75.8, atık sektörünün payı % 9.3, endüstriyel sektörünün payı % 8.1 ve tarım sektörünün payı ise % 6.8 civarındadır (Şekil 1.16).

Çizelge 1.5. Türkiye için 1990-2008 Yılları Arası Sektörlere Göre Toplam Sera Gazı Emisyonları (TÜİK, 2010)

| Yıllar | Toplam Sera Gazı Emisyonları (Mton CO <sub>2</sub> -eş) |             |       |       |        | 1990 yılına göre artış yüzdesi |
|--------|---------------------------------------------------------|-------------|-------|-------|--------|--------------------------------|
|        | Enerji                                                  | Endüstriyel | Tarım | Atık  | Toplam |                                |
| 1990   | 132.13                                                  | 15.44       | 29.78 | 9.68  | 187.03 | -                              |
| 1991   | 137.96                                                  | 17.73       | 30.35 | 13.09 | 199.13 | 6.5                            |
| 1992   | 144.27                                                  | 18.93       | 30.33 | 16.70 | 210.23 | 12.4                           |
| 1993   | 150.78                                                  | 20.92       | 30.51 | 19.46 | 221.67 | 18.5                           |
| 1994   | 148.62                                                  | 19.25       | 29.19 | 20.09 | 217.15 | 16.1                           |
| 1995   | 160.79                                                  | 24.21       | 28.68 | 23.83 | 237.51 | 27.0                           |
| 1996   | 178.96                                                  | 24.32       | 29.10 | 26.24 | 258.62 | 38.3                           |
| 1997   | 191.39                                                  | 24.14       | 27.66 | 28.69 | 271.88 | 45.4                           |
| 1998   | 190.62                                                  | 24.75       | 28.36 | 30.31 | 274.04 | 46.5                           |
| 1999   | 190.61                                                  | 23.93       | 28.61 | 31.62 | 274.77 | 46.9                           |
| 2000   | 212.55                                                  | 24.37       | 27.37 | 32.72 | 297.01 | 58.8                           |
| 2001   | 196.02                                                  | 23.32       | 25.96 | 32.81 | 278.11 | 48.7                           |
| 2002   | 204.02                                                  | 25.43       | 24.51 | 32.12 | 286.08 | 53.0                           |
| 2003   | 218.00                                                  | 26.30       | 25.36 | 33.09 | 302.75 | 61.9                           |
| 2004   | 227.43                                                  | 28.52       | 25.01 | 31.30 | 312.26 | 67.0                           |
| 2005   | 241.75                                                  | 28.75       | 25.84 | 33.52 | 329.86 | 76.4                           |
| 2006   | 258.56                                                  | 30.69       | 26.50 | 33.88 | 349.64 | 86.9                           |
| 2007   | 288.69                                                  | 29.26       | 26.31 | 35.71 | 379.97 | 103.2                          |
| 2008   | 277.71                                                  | 29.83       | 25.04 | 33.92 | 366.50 | 96.0                           |

\*Arazi kullanımı ve arazi kullanım değişimlerinden kaynaklanan emisyonlar envantere dahil edilmemiştir.



Şekil 1.16. Türkiye için 1990-2008 yılları arası sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları (TÜİK, 2010)

Enerji sektöründen kaynaklanan emisyon miktarları incelendiğinde, sürekli bir artış eğilimi görülmektedir. Bunun temel nedeni, 1990'lı yıllardan itibaren nüfus ve sanayi tesisleri sayısında meydana gelen artışlardır. Bunun yanında, konutlarda ve sanayide kömür yerine doğal gaz kullanımının yaygınlaşması, alternatif yakıt kaynaklarının kullanılmaya başlanması ve trafikten kaynaklanan emisyonların yeni

motor teknolojileri sayesinde azaltılması, toplam sera gazı emisyonlarının önemli oranlarda artmasına engel olmaktadır. Bunlara ek olarak enerji sektörü emisyonlarının azaltılması ve kontrol altına alınabilmesi amacı ile yasal düzenlemeler yapılarak, alternatif enerji kaynaklarından yararlanma, mevcut kaynakların verimli kullanımını sağlama konularında da önemli mesafeler alınmıştır (ÇED, 2009).

### 1.3.3. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Türkiye

İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Haziran 1992’de yapılan BM Çevre ve Kalkınma Rio Konferansında imzaya açılmış, 21 Mart 1994 yılında resmen yürürlüğe girmiştir.

Sözleşmenin temel ilkeleri (Şahin, 2009):

- \* İklim sisteminin eşitlik temelinde, ortak fakat farklı sorumluluk ilkesine uygun olarak korunması,
- \* İklim değişikliğinden etkilenecek olan gelişme yolundaki ülkelerin ihtiyaç ve özel koşullarının dikkate alınması,
- \* İklim değişikliğinin önlenmesi için alınacak tedbirlerin etkin ve en az maliyetle yapılması,
- \* Sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesi ve alınacak politika ve önlemlerin ulusal kalkınma programlarına entegre edilmesidir.

Sözleşmeyi kabul eden ülkeler ve sorumlulukları Çizelge 1.6’da gösterilmiştir (Şahin, 2009).

Çizelge 1.6. BMİDÇS Kabul Eden Ülkeler ve Sorumlulukları (Şahin, 2009)

| Listeler               | Ülkeler                                                          | Sorumluluklar                               |
|------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Ek-I<br>(Çizelge 1.7)  | OECD + AB + PEGSÜ (38 ülke)<br>Türkiye (özel şartlar tanınarak)  | Emisyon azaltımı                            |
| Ek-II<br>(Çizelge 1.8) | OECD + AB-15 (24 ülke)<br>Türkiye (hariç)                        | Teknoloji transferi ve mali destek sağlamak |
| Ek-I Dışı              | Diğer Ülkeler (Çin, Hindistan, Pakistan, Meksika, Brezilya, vb.) | Yükümlülükleri yok                          |

Çizelge 1.7. EK-I Ülkeleri

|            |           |              |             |             |
|------------|-----------|--------------|-------------|-------------|
|            |           |              |             |             |
| ABD        | İngiltere | Lüksemburg   | Hırvatistan | Rusya       |
| Almanya    | İrlanda   | Norveç       | Litvanya    | Slovakya    |
| Avustralya | İspanya   | Portekiz     | Macaristan  | Ukrayna     |
| Avusturya  | İsveç     | Türkiye      | Polonya     | Letonya     |
| Belçika    | İsviçre   | Yeni Zelanda | Romanya     | Slovenya    |
| Danimarka  | İtalya    | Yunanistan   | Belarus     | Bulgaristan |
| Finlandiya | İzlanda   | Kanada       | Estonya     | Çek Cumh.   |
| Fransa     | Japonya   | Hollanda     |             |             |

\* Pazar ekonomisine geçiş sürecindeki ülkeler (PEGSÜ)

Çizelge 1.8. EK-II Ülkeleri

|               |            |                |              |
|---------------|------------|----------------|--------------|
|               |            |                |              |
| (Çizelge 1.9) |            | (Çizelge 1.10) |              |
| ABD           | Finlandiya | İsveç          | Lüksemburg   |
| Almanya       | Fransa     | İsviçre        | Norveç       |
| Avustralya    | Hollanda   | İtalya         | Portekiz     |
| Avusturya     | İngiltere  | İzlanda        | Türkiye      |
| Belçika       | İrlanda    | Japonya        | Yeni Zelanda |
| Danimarka     | İspanya    | Kanada         | Yunanistan   |

Çizelge 1.9. Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD)

| Kurucu ülkeler (14.12.1960) |                        |                 |            |
|-----------------------------|------------------------|-----------------|------------|
| ABD                         | Fransa                 | İsveç           | Lüksemburg |
| Almanya                     | Hollanda               | İsviçre         | Norveç     |
| Avusturya                   | İngiltere              | İtalya          | Portekiz   |
| Belçika                     | İrlanda                | İzlanda         | Türkiye    |
| Danimarka                   | İspanya                | Kanada          | Yunanistan |
| Sonradan katılan ülkeler    |                        |                 |            |
| Japonya (1964)              | Çek Cumhuriyeti (1995) | Slovakya (2000) |            |
| Finlandiya (1969)           | Macaristan (1996)      | Şili (2010)     |            |
| Avustralya (1971)           | Polonya (1996)         | Slovenya (2010) |            |
| Yeni Zelanda (1973)         | Kore (1996)            | İsrail (2010)   |            |
| Meksika (1994)              |                        |                 |            |

Çizelge 1.10. Avrupa Birliği (AB) Ülkeleri

| Kurucu ülkeler (1957)    |                    |                   |
|--------------------------|--------------------|-------------------|
| Almanya                  | Fransa             | İtalya            |
| Belçika                  | Hollanda           | Lüksemburg        |
| Sonradan katılan ülkeler |                    |                   |
| Danimarka (1973)         | İngiltere (1973)   | İrlanda (1973)    |
| Yunanistan (1981)        | Portekiz (1986)    | İspanya (1986)    |
| Avusturya (1995)         | Finlandiya (1995)  | İsveç (1995)      |
| Çek Cumhuriyeti (2004)   | Estonya (2004)     | Kıbrıs (2004)     |
| Letonya (2004)           | Litvanya (2004)    | Macaristan (2004) |
| Malta (2004)             | Polonya (2004)     | Slovakya (2004)   |
| Slovenya (2004)          | Bulgaristan (2007) | Romanya (2007)    |
| Aday ülkeler             |                    |                   |
| Hırvatistan              | Makedonya          | Türkiye           |
| Olası adaylar            |                    |                   |
| Arnavutluk               | Bosna-Hersek       | Kosova            |
| Sırbistan                | İzlanda            |                   |

EK-I ülkelerinin yükümlülükleri (Şahin, 2009):

Gelişmiş ülkeler;

- 2000 yılına kadar sera gazı emisyonlarını 1990 yılı seviyesine indirmek,
- Emisyon kaynaklarını sınırlandırmak,
- Emisyon emen alanları arttırmak,
- Ulusal raporlarını hazırlamak ve sekreteryaya sunmakla yükümlüdürler.

PEGSÜ'e sağlanan kolaylıklar ise,

- Temel sera gazlarında tarihsel olmak şartı ile 1990 yılından başka bir yılı, baz yıl olarak seçmek,
- Macaristan 1985 - 1987 döneminin ortalamasını,
- Slovenya 1986 yılını
- Polonya ve Bulgaristan 1988 yılını,
- Romanya 1989 yılını,

Gelişme yolundaki ülkeler,

- Mali kaynak ile
- Teknoloji transferi, sağlamayacaklardır.

2001 yılında Marakeşte gerçekleştirilen 7. Taraflar Konferansında, "Sözleşmenin Ek-I listesinde yer alan diğer taraflardan farklı bir konumda olan

*Türkiye'nin özel koşullarının tanınarak, isminin EK-I'de kalarak EK-II'den silinmesi” yönünde karar alınmıştır. Türkiye, sözleşmeye 24 Mayıs 2004 tarihi itibarıyla taraf olmuştur (Şahin, 2009).*

#### 1.3.4. Kyoto Protokolü

Kyoto protokolü; 1997 yılında imzaya açılmış ve 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. AB dahil şu an 182 ülke ve 1 ekonomik topluluk protokole taraftır. BMİDÇS'nin sera gazı emisyonlarının azaltılmasına veya sınırlandırılmasına yönelik hukuki açıdan bağlayıcı belgesidir. Protokolün Ek-B listesinde yer alan ülkelerin toplam sera gazı emisyonlarını 2008-2012 döneminde (ilk yükümlülük dönemi), 1990 yılı (temel yıl) seviyesinin ortalama en az % 5 altına indirmesini taahhüt etme zorunluluğu bulunmaktadır (Çizelge 1.11) (Şahin, 2009).

Çizelge 1.11. Kyoto Protokolünü Kabul Eden Ülkeler ve Sorumlulukları

| Listeler | Ülkeler                                             | Sorumluluklar                                                                        |
|----------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Ek-B     | EK-I Ülkeleri (38 ülke)<br>Türkiye ve Belarus hariç | 2008-2012 arası dönem için 1990 seviyesine göre sera gazı emisyonlarında % 5 azaltım |

BMİDÇS yönelik Kyoto Protokolüne katılmamızın uygun bulunduğu dair kanun tasarısı 05 Şubat 2009 tarihinde TBMM Genel Kurulunda kabul edilmiştir. Türkiye, protokol kabul edildiğinde sözleşmeye taraf olmadığı için sayısallaştırılmış sera gazı azaltım veya sınırlama yükümlülüğü almamıştır. İlk yükümlülük döneminde (2008-2012) sayısallaştırılmış sera gazı emisyon azaltım veya sınırlama yükümlülüğü alması prosedür olarak mümkün görülmemektedir. 2012 sonrası uluslararası iklim rejimine yönelik müzakereler devam etmektedir (Şahin, 2009).

2012 sonrası iklim rejimine ilişkin temel müzakere konuları aşağıdaki başlıkları üzerinden yürütülmektedir (Şahin, 2009).

- Ortak vizyon,
- Azaltım,
- Adaptasyon,
- Teknoloji transferi ve
- Finansman.

2012 sonrası Türkiye'nin beklentileri ise;

- Gerçekçi, esnek, katılımcı, tüm ülkelerin ihtiyaçlarını dikkate alacak şekilde kapsayıcı, düşük karbonlu teknolojiye geçişin sağlanabilmesi için teşvik mekanizmalarını içeren ortak vizyon.

- Ülkelerin ekonomik gelişmişlik ve ulusal kapasitelerine göre farklılaştırılmaları, farklılaşmada yeni kriterlerin belirlenmesi, dinamik, eşitlikçi ve esnek bir azaltım sistemi,

- Adaptasyon planlarının geliştirilmesi ve ulusal planlara entegrasyonunu, çeşitli teşvikler ile mali ve teknik destek sağlanması,

- Yeni bir teknoloji transferi mekanizmasının oluşturulması ve bu mekanizmadan sağlanan desteğin salım azaltım ve teknolojiyi kullanma potansiyellerine göre kullanılması,

- İklim değişikliği ile mücadelede mali fonların yetersiz kalması sebebiyle yeni ve yenilikçi mekanizmaların oluşturulması, tüm tarafların erişimine açık olacak şekilde finansman mekanizmasının geliştirilmesidir (Şahin, 2009).

Ülkemiz için kısaca temel göstergeler ise:

- İklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden en çok etkilenecek bölgeler Akdeniz Havzasında yer almaktadır.

- OECD, AB ve BMİDÇS EK-I ülkeleri arasında en yüksek nüfus artış hızına sahiptir.

- İnsani kalkınma endeksi 2007 yılı verilerine göre 182 ülke içinde 79. sıradadır.

- Sanayileşme seviyesi diğer OECD & BMİDÇS EK-I ülkeleri ile karşılaştırılabilir seviyede değildir.

- OECD & BMİDÇS EK-I ülkeleri arasında; kişi başı sera gazı emisyon, kümülatif emisyon ve kişi başı birincil enerji tüketimi miktarında en düşük değere sahiptir.

- 2008 yılı kişi başı sera gazı emisyonu değeri 3.71 ton CO<sub>2</sub> eşdeğerdir Avrupa Birliği'ne üye 27 ülkede ise ortalama 7.72 ton CO<sub>2</sub> eşdeğeridir.

- BMİDÇS EK-I ülkeleri arasında 1990-2008 yılları arası en yüksek sera gazı emisyonu artış oranına sahiptir (yaklaşık olarak 2 kat).

## 1.4. Biyokütle

### 1.4.1. Tanımı ve Özellikleri

Bitkilerin ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan biyokütle, genel olarak güneş enerjisini fotosentez yardımıyla organik formlarda depolayan bitkisel organizmalar olarak adlandırılır. Biyokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların, belirli bir sürede sahip olduğu toplam kütle olarak da tanımlanabilir. Biyokütleyi aynı zamanda bir organik karbon olarak da kabul etmek olanaklıdır. Canlı kütle deyimiyle eş anlama gelen biyokütle, çoğu kez bitkisel ve hayvansal kökenli olmak üzere ikiye ayrılır. Ölçü birimi ise, belirli bir alana ve süreye oranlanmış yaş veya kuru kütledir. Biyokütle, fosil kökenli karbonun enerji içeren formları şeklinde de tanımlanabilir.

Yeryüzünde yaşayan her madde biyokütle olarak tanımlanır. Bitkiler fotosentez işlemi ile sürekli olarak biyokütle üretirler. Biyokütle, fosil kökenli olmayan çağdaş/doğal/teknolojik insan işlemleri ile üretilen biyolojik-organik-inorganik katı ürün bütünüdür ve aşağıdaki ürünleri kapsar:

- 1) İnsan ve hayvan besini olarak, fotosentez yaparak karada ve suda yetişen doğal bileşenler ve
- 2) Doğal ürünün işlenmesi sonucunda elde edilen teknolojik ürünler.

Belirgin biyolojik çeşitlilik, kaynak ve kökenlerine bağlı olarak, yakıt kaynağı olarak biyokütle türlerinin genel sınıflandırılması Çizelge 1.12’de verilmiştir.

Çizelge 1.12. Biyolojik Çeşitlilik, Kaynak ve Kökenlerine Bağlı Olarak Biyokütle Türlerinin Katı Yakıt Olarak Genel Sınıflandırılması

| Biyokütle Grubu                                                        | Biyokütle Alt Grubu, Türü ve Çeşidi                                                           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Odun ve odunsu biyokütle                                            | Gövde, dal, kabuk, yonga, briket, pelet                                                       |
| 2. Otsu ve tarımsal biyokütle                                          | Yıllık ve çok yıllık, doğal veya işlenmiş ürünler: otlar ve çiçekler, samanlar, diğer atıklar |
| 3. Suda yaşayan biyokütle                                              | Tuzlu veya tatlı su yosunları                                                                 |
| 4. Hayvan ve insan atığı biyokütle                                     | Hayvan ve insan dışkıları                                                                     |
| 5. Bulaşık biyokütle ve endüstriyel biyokütle atıklar (Yarı-biyokütle) | Kentsel atıklar, hastane atıkları, endüstri atıkları                                          |
| 6. Biyokütle karışımları                                               | Yukarıdaki türlerin karışımları                                                               |

Biyokütle yakıtlar veya biyoyakıtlar, bazı işlemler ile doğal biyokütle kaynaklardan üretilen teknolojik katı, sıvı ve gaz yakıtlardır. Biyoenerji ise, biyokütle yakıtlardan üretilen enerjidir. Biyokütle veya biyokütle yakıtların önemli üstünlük ve olumsuzlukları Çizelge 1.13’de özetlenmiştir.

Çizelge 1.13. Biyokütle veya Biyokütle Yakıtların Üstünlük ve Olumsuzlukları (Eren ve Öztürk, 2011)

| Üstünlükleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Olumsuzlukları                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Ü Doğal biyokütle yenilenebilir bir enerji kaynağıdır.</li> <li>Ü CO<sub>2</sub> bakımından nötr dönüşüm gerçekleşir. İklim değişikliğine olumlu katkıları vardır.</li> <li>Ü Kül, C, S, N ve iz elementler genel olarak düşüktür.</li> <li>Ü Uçucu madde, Ca, H, Mg, O ve P içerikleri normal olarak yüksektir.</li> <li>Ü Dönüşüm süresince reaktivitesi fazladır.</li> <li>Ü Zararlı emisyonlar (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, iz elementler) azaltılmıştır ve atıklar ayrılmıştır.</li> <li>Ü Bazı zararlı bileşenler, yanma süresince kül tarafından tutulur.</li> <li>Ü Miktarı fazladır ve kısmen ucuz bir kaynaktır.</li> <li>Ü Yakıt kaynaklarının çeşitlendirilmesini ve enerji güvenliği sağlar.</li> <li>Ü Yeni iş olanakları yaratarak kırsal kalkınmaya katkı sağlar.</li> <li>Ü Okyanusların, düşük kaliteli toprakların potansiyel kullanımını sağlar. Bozulmuş alanların restorasyonunu sağlar.</li> <li>Ü Biyokütle atıkların azalımı sağlar.</li> <li>Ü Çözücü, gübre, nötrleştirici ajan ve yapı malzemelerinin üretimi ve belirli element ve bileşiklerin geri kazanılması veya kısmi sentezi için ucuz kaynaktır.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ø Yaşam döngüsü değerlendirmesi bakımından biyokütle, yakıt için tamamlanmamış yenilenebilir bir enerji kaynağıdır.</li> <li>Ø Dünya genelinde sınıflandırma sistemleri, standartları ve kabul edilmiş teknoloji eksiktir.</li> <li>Ø Bileşimi, özellikleri ve kalitesi değişkendir ve bu konularda yeterli bilgi yoktur.</li> <li>Ø Nem, Cl, K, Na, Mn ve bazı iz element içerikleri genellikle yüksektir.</li> <li>Ø Enerji içeriği düşüktür.</li> <li>Ø Besin ve besin üretimi ile rekabet halindedir.</li> <li>Ø Toprağın zarar görmesi ve biyolojik çeşitliliğin kaybolması olasılığı vardır.</li> <li>Ø Bertaraf etme süresince koku, potansiyel salımlar ve zararlı bileşenlerin yayılması söz konusu olabilir.</li> <li>Ø Isıl işlem süresince zararlı emisyonların açığa çıkma olasılığı vardır.</li> <li>Ø Isıl işlem süresince potansiyel teknolojik sorunlar ortaya çıkabilir.</li> <li>Ø Bölgesel dağınıklık söz konusudur.</li> <li>Ø Toplama, taşıma, depolama ve ön-ışleme giderleri fazladır.</li> <li>Ø Atık ürünlerden temiz bir şekilde yararlanılamayabilir.</li> </ul> |

Biyokütle kaynakları çok genel bir yaklaşımla, doğal ve türetilmiş kaynaklar olmak üzere iki ana grupta toplanabilir. Biyokütle kaynaklar üç alt grupta incelenebilir:

- 1) Atıklar: Tarımsal üretim atıkları, tarım ürünlerini işleyen sanayi atıkları, ürün atıkları, kırsal kesimdeki odunsu ve organik atıklar
- 2) Orman Ürünleri: Odun, budama atıkları, talaş
- 3) Enerji Bitkileri: Çayır bitkileri, nişasta bitkileri, şeker bitkileri, yağlı tohumlu bitkiler.

#### 1.4.2. Biyokütlenin Kimyasal Bileşimi

Biyokütle yakıtlar, kısa ve elementel analiz ile belirlenen özellikleri ile tanımlanırlar. Bu yakıtlar, ısı veya buhar elde etmek için doğrudan yakılabilirler. Kısa analiz; nem, uçucu madde, bağlı karbon ve kül içeriğinin belirli yöntemlerle belirlenmesi işlemidir. Bu analizde, örnek madde belirli koşullarda ısıtılarak, içerdiği ürünlerin dağılımı belirlenir. ASTM D 121 standardına göre, kısa analizde ürünler dört gruba ayrılır:

- 1) Nem,
- 2) Piroliz süresince açığa çıkan gaz ve buharlardan oluşan uçucu madde,
- 3) Materyalin buharlaşmayan bölümü olan bağlı karbon ve
- 4) Yanmadan sonra arta kalan inorganik madde olarak kül.

Kısa analiz, genellikle yakıtların kullanımı ile ilgili olan özelliklerini belirlemek için uygulanır. Elementel analiz, gaz durumundaki ürünlerdeki karbon, hidrojen, azot, kükürt, klor ve oksijen ile organik materyal örneğinin tamamen yandıktan sonra kül yüzdelerinin belirlenmesi işlemidir.

Biyokütle, katı fosil yakıt gibi, değişik katı ve sıvı fazları veya farklı kökenli mineralleri içeren, organik madde ve az miktarda da inorganik maddenin karışımından oluşur (Çizelge 1.14).

Biyokütledeki fazlar, faz oluşum mekanizması ve zamanına bağlı doğal ve insan kaynaklı işlemlerin bir sonucudur (Çizelge 1.15).

Çizelge 1.14. Biyokütlenin Faz Bileşimi (Eren ve Öztürk, 2011)

| Materyal           | Bileşenlerin Tipi ve Durumu | Fazlar ve Bileşenler                                                                                                    |
|--------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Organik madde   | 1.1. Katı, kristal değil    | Selüloz, yarı-selüloz, lignin gibi yapısal bileşenler                                                                   |
|                    | 1.2. Katı, kristal          | Ca, Mg, K, Na gibi organik mineraller                                                                                   |
| 2. İnorganik madde | 2.1. Katı, kristal          | Fosfat, karbonat, silikat, klorid, sülfat, oksihidroksit, nitrat ve diğer mineral sınıflarından gelen mineral çeşitleri |
|                    | 2.2. Katı, yarı-kristal     | Bazı silikat, fosfat, hidroksitler ve diğerlerinin zayıf kristalleşmiş mineralleri                                      |
|                    | 2.3. Katı, amorf            | Değişik camlar, silikatlar ve diğer amorf fazlar                                                                        |
| 3. Akışkan madde   | 3.1. Sıvı, akışkan, gaz     | Nem, gaz ve organik ve inorganik madde ile birleşik gaz-sıvı karışımı                                                   |

Çizelge 1.15. Biyokütlerdeki Fazların Kökeni (Eren ve Öztürk, 2011)

| Oluşma İşlemi  | Oluşma Yeri                                                                                 | Oluşma Zamanı                                            | Oluşma Mekanizması                                                                                                                                                     |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DOĞAL          | Biyokütlenin içinde oluşur.                                                                 | Bitki gelişmesi süresince                                | Gelişen bitkilerin biyolojik işlemleri ile üretilir (Fotosentez, difüzyon, adsorpsiyon, hidroliz vb)                                                                   |
|                |                                                                                             | Bitki öldükten sonra                                     | Bitki öldükten sonra buharlaşma ve yağış gibi doğal işlemlerden kaynaklanır.                                                                                           |
|                | Biyokütlenin dışında oluşur, fakat biyokütlenin içine/üzerine bağlanır.                     | Bitki gelişmeden önce                                    | Bitki içerisinde su süspansiyonu ile oluşmuş olan çok küçük ( $< 1 \mu\text{m}$ ) dağılmış mineral taneleri                                                            |
|                |                                                                                             | Bitki gelişiminden önce ve sonra ve bitki öldükten sonra | Bitki yüzeylerine, su ve rüzgar tarafından taşınan ve boşluk ve çatlaklarda tutunan çok küçük ( $< 10\text{-}100 \mu\text{m}$ ) parçacıklar                            |
| İNSAN KAYNAKLI | Teknojenik (Biyokütlenin içinde veya dışında oluşur ve biyokütlenin içine/üzerine tutunur). | Bitki toplama süresince ve sonra                         | Toplama, işleme, taşıma ve alt işlemler süresince, doğal veya endüstriyel bileşenler (toz, materyaller, kirleticiler, katkı maddeleri) tarafından biyokütleye tutunur. |

Doğal biyokütlenin bileşimi aşağıdaki etmenlere bağlı olarak değişir:

- Biyokütle tipi, bitki türleri veya bitkilerin bölümleri
- Bitki türlerinin toprak-hava-sudan belirli bileşikleri alma ve bitki dokularına taşıma/depolama işlemleri
- Güneş ışınımı, jeolojik yerleşim, iklim, mevsimler, toprak tipleri, su, pH, besin elementleri, orman kenarı, deniz kenarı veya kirli alanlar gibi büyüme koşulları
- Bitkilerin yaşı
- Uygulanan gübre ve pestisit dozları: özellikle bazı elementler (Cl, K, N, P, S ve belirli iz elementler) için çok önemlidir.
- Bitkilerin demiryolu, büyük şehirler, fabrikalar ve maden ocaklarından uzaklığı
- Hasat zamanı, toplama tekniği, taşıma ve depolama koşulları
- Biyokütlenin hasadı, taşınması ve işlenmesi süresince; toz, kir ve toprak gibi materyal bulaşıklılığı
- Kül oranı ve tipindeki değişim
- Farklı biyokütle türlerinin harmanlanması

#### 1.4.2.1. Biyokütlenin Kısa Analizi

Kısa analize göre, 86 farklı biyokütlenin kimyasal bileşimi incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilir (Vassilev ve ark., 2010). Bunlar;

Nem İçeriği: Biyokütlenin nem içeriği, normal olarak fırında kurutularak (105°C ve 24 h) belirlenir ve % 3–63 aralığında değişir.

Kül Miktarı: Biyokütle türlerinin, 550-600°C sıcaklıkta kuru baza göre belirlenen kül verimi, % 0.1–46 aralığında değişir. Kül, biyokütlenin yanması tamamlandıktan sonra oluşan, inorganik bir atıktır ve biyokütledeki inorganik, organik ve akışkan bileşenlerinden üretilen orijinal ve henüz yeni oluşmuş olan inorganik fazların bileşimidir. Yanma sıcaklığı, biyokütlenin toplam kül verimini önemli düzeyde etkiler.

Uçucu Madde: Biyokütle türlerinin kuru baza göre belirlenen uçucu madde içeriği, % 48–86 aralığında değişir. Biyokütlenin uçucu madde içeriğinde genel olarak; hafif hidrokarbonlar, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, bağıl nem ve katranlar yer alır.

Bağılı Karbon: Biyokütle türlerinin kuru baza göre belirlenen bağılı karbon içeriği, % 1–38 aralığında değişir.

#### 1.4.2.2. Biyokütlenin Elementel Analizi

Elementel analize göre, 86 farklı biyokütlenin kimyasal bileşimi incelendiğinde Çizelge 1.16'daki sonuçlar elde edilir (Vassilev ve ark., 2010).

Çizelge 1.16. Biyokütlenin Elementel Analizi (Vassilev ve ark., 2010)

|           | %             |                             |                 |             |               |
|-----------|---------------|-----------------------------|-----------------|-------------|---------------|
|           | C<br>(Karbon) | O <sub>2</sub><br>(Oksijen) | H<br>(Hidrojen) | N<br>(Azot) | S<br>(Kükürt) |
| En düşük  | 42            | 16                          | 3               | 0.1         | 0.01          |
| En yüksek | 71            | 49                          | 11              | 12          | 2.3           |

86 farklı biyokütle içinde en fazla bulunan element, C (% 42-71)'dur. Katı fosil yakıtlarda C içeriği % 56-87 aralığında değişir. Dolayısıyla biyokütlenin C içeriği, katı fosil yakıtlarınkinden daha düşüktür. Düşük olmasının en önemli sebebi fotosentez sırasında bitkilerde karbonhidratların üretimidir. Ayrıca, C içeriği, biyokütle yakıtlarının yanma ısı değerlerini ve sera gazı emisyonlarının yoğunluğunu, katı fosil yakıtlara kıyasla azaltıcı bir yönde etkileyebilir.

86 farklı biyokütle içinde en az bulunan element, S (% 0.01-2.3)'dür. Katı fosil yakıtlarda S içeriği % 0.2-9.8 aralığında değişir. Dolayısıyla biyokütlerde hareketli bir element olan S içeriği, katı fosil yakıtlarınkinden çok daha düşüktür. Biyokütleden pelet veya briket elde edilebilmesi için S içeriği düşük olmalıdır. S içeriği yüksek olursa, biyokütleden pelet ve briket elde edilmesi sırasında katkı maddeleri kullanılır. Ayrıca, S içeriği, biyokütle yakıtlarının çevreyi kirlenme potansiyelini (asitleşme vb.), katı fosil yakıtlara kıyasla daha düşük bir düzeyde etkileyebilir.

### 1.4.2.3. Biyokütlenin Yüksek Sıcaklıkta Kül Bileşimi

Biyokütle grupları ve çeşitlerinin 550-600°C yüksek sıcaklıkta kül (YSK) analizi ile belirlenen kimyasal bileşimi, Çizelge 1.17’de görüldüğü gibi çok fazla değişim göstermektedir. Bu durum, biyokütle materyallerin inorganik madde içeriklerinin çok değişken olması ve biyokütle türlerindeki inorganik maddenin farklı gen sınıflarında yer almasından kaynaklanmaktadır (Vassilev ve ark., 2010).

Çizelge 1.17. Biyokütlenin Yüksek Sıcaklıkta Kül Analizi (Vassilev ve ark., 2010)

|           | %                |     |                  |                               |                                |     |                                |                 |                   |                  |      |
|-----------|------------------|-----|------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----|--------------------------------|-----------------|-------------------|------------------|------|
|           | SiO <sub>2</sub> | CaO | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | Mn   |
| En düşük  | 0.02             | 1.0 | 0.2              | 0.2                           | 0.1                            | 0.2 | 0.2                            | 0.01            | 0.1               | 0.01             | 0.01 |
| En yüksek | 94               | 83  | 64               | 41                            | 54                             | 16  | 36                             | 15              | 30                | 28               | 3.6  |

### 1.4.3. Biyokütlenin Isıl Değeri

Kısa analiz ile tam yanma durumuna bağlı olarak, yakıtın en yüksek ısı değeri de belirlenir. En düşük ısı değeri, hidrojenin gaz durumundaki suya yandığı zaman açığa çıkan ısı miktarıdır ve ısıtma uygulamalarında bu değer kullanılır. En yüksek ısı değeri ve H oranına bağlı olarak hesaplanabilir.

Yakıtların yanma ısıları (en yüksek ısı değerleri, HHV) ve elementel analiz ile belirlenen elementel bileşimi arasında yakın bir ilişki vardır. Bu ilişki ilk kez 19. yüzyılda DuLong tarafından belirlenmiş ve daha sonraki yıllarda birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Channiwala, Bombay’daki Hindistan Teknoloji Enstitüsü’nde 1992 yılında tamamladığı tezinde, 200 biyokütle türü ile yapmış olduğu denemelerde aşağıdaki ilişkiyi belirlemiştir (Channiwala ve Parikh, 2002).

$$HHV = 0.3491C + 1.1783H - 0.1034O - 0.0211A + 0.1005S - 0.0151N \dots\dots\dots(1.1)$$

Burada; C, H, O, A, S ve N sırasıyla elementel analiz ile belirlenen karbonun, hidrojenin, oksijenin, külün, kükürdün ve azotun kütle kesirleridir. Deneysel veriler ile bu eşitlikten belirlenen değerler arasındaki ortalama hata % 1.45’dir. Bu eşitlik, biyokütle işlemlerindeki hesaplamalarda ısı değeri hesaplamak için kullanılabilir.

Kısa ve elementel analizler ile belirlenen veriler ile HHV arasında bir ilişki belirleyebilmek için birçok girişimde bulunulmuştur. Bu konudaki ilk ve en meşhur ilişki, kömürün elementel analizine bağlı olarak, Dulong tarafından, 1800’lü yılların sonlarında geliştirilmiştir. Son yirmi yılda, yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili olarak, biyokütle yakıtların ve özellikle de tarımsal atık/artıkların kısa ve elementel analizleri ile elde edilen verilere bağlı olarak, birçok teorik ilişki belirlenmiştir. Tillman (1978), ağaç ve ağaç kabuklarının karbon içeriğine bağlı olarak, HHV değerinin belirlenmesi için aşağıdaki eşitliği geliştirmiştir.

$$HHV=0.4373C-1.6701 \dots\dots\dots(1.2)$$

Biyokütlenin ısı değerlerini belirlemek için, kısa ve elementel analiz sonuçlarına bağlı olarak Yin (2011), tarafından geliştirilmiş olan eşitlikler Çizelge 1.18’de verilmiştir.

Çizelge 1.18. Geliştirilen HHV İlişkileri ve Regresyon Analizi Sonuçları (Yin, 2011)

| Eşitlik                  | Analiz    | Birim | R <sup>2</sup> | $\bar{R}^2$ | Standart hata | Önemlilik F            | p-Değeri               |
|--------------------------|-----------|-------|----------------|-------------|---------------|------------------------|------------------------|
| 1. HHV=0.1905UM+0.2521BK | Kısa      | MJ/kg | 0.9953         | 0.9714      | 1.3507        | 1.24×10 <sup>-48</sup> | Her iki değişken <0.05 |
| 2. HHV=0.2949C+0.8250H   | Elementel | MJ/kg | 0.9976         | 0.9737      | 0.9684        | 1.47×10 <sup>-54</sup> | Her iki değişken <0.05 |

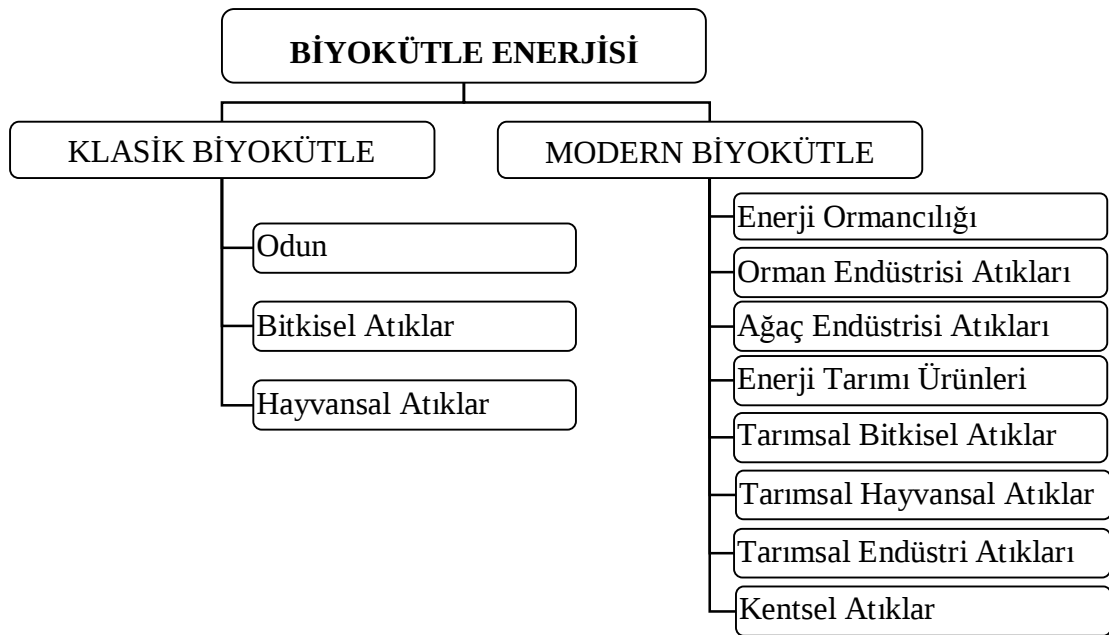
\* UM: Uçucu madde, BK: Bağlı karbon

#### 1.4.4. Biyokütle Enerjisi Kaynakları

Genel olarak biyokütle enerjisi; doğada yaygın olarak mevcut tarımsal kökenli ürünlerden; değişik fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle üretilen, ticari özelliğe sahip, temel ve belirli özellikleri standartlaştırılmış olan katı, sıvı ve gaz haldeki bitkisel enerji kaynaklarıdır (Taşyürek ve Acaroğlu, 2007). Dünyada çeşitli formlarda bulunabilen biyokütle enerjisi farklı yöntemler kullanılarak birçok sektörde biyoenerji üretiminde kullanılabilir. Odun, odun artıklarının ve elyafın endüstri sektöründe, enerji bitkilerinin, kısa süreli rotasyon bitkilerinin ve tarımsal atıkların tarım sektöründe, ormanlardan elde edilen atıkların elektrik,

ısınma, ısı-güç üretimi ve diğer biyoenerji çeşitlerinin üretiminde kullanıldığı görülmektedir.

Biyokütle enerjisi, yetiştiriciliğe dayalı olduğu için yenilenebilir, çevre dostu, yerli ve yerel bir kaynak olarak önem kazanmaktadır. Biyokütle enerjisi kullanımı klasik ve modern olmak üzere iki grupta incelenir (Şekil 1.17). Klasik biyokütle enerjisi, geleneksel ormanlardan elde edilen yakacak odun ve yakacak olarak kullanılan bitki ve hayvan atıklarından (özellikle tezekten) oluşur (Ültanır, 1998).



Şekil 1.17. Biyokütle enerjisi kaynaklarının sınıflandırılması (Ültanır, 1998)

Klasik biyokütle enerji kullanımının temel özelliği, ilkelden gelişmişine kadar çeşitli yakma araçları ile biyokütle materyalden enerjinin direkt yanma tekniği ile elde olunmasıdır. Sanayileşmemiş kırsal toplumlarda kullanımı yaygındır. Modern biyokütle kaynakları, enerji ormancılığı ürünleri ile orman ve ağaç endüstrisi atıkları, enerji tarımı ürünleri, tarım kesiminin bitkisel artıkları ve hayvansal atıkları, kentsel atıklar, tarımsal endüstri atıkları biçiminde sıralanır (Şekil 1.18).



a) Mısır atıkları



b) Şeker kamışı küspesi



c) Orman endüstrisi atıkları



d) Prina



e) Prina çekirdek kısmı



f) Pamuk küspesi

Şekil 1.18. Modern biyokütle kaynakları

Söz konusu biyokütle materyal, alçak ve yüksek biyokütle yakıt teknikleri ile işlenerek katı, sıvı ve gaz yakıtlara dönüştürülür. Biyokütle yakıtlar (Şekil 1.19), *biyokütle briketi* ve *alkolden sentetik ham petrole* kadar uzanır (Ültanır, 1998).



a) Briket



b) Biyodizel



c) Biyoetanol



d) Biyogaz

Şekil 1.19. Biyokütleden elde edilen yakıtlar

Ayrıca, biyokütle içinde, fosil yakıtlarda bulunan kansorejen maddeler ve kükürt çok az olduğu için, çevreye son derece az zarar verilir. Bütün bunların ötesinde, bitki yetiştirme, güneş var olduğu sürece devam edeceği için, biyokütle tükenmez bir enerji kaynağıdır. Modern biyokütle kaynakları ve teknolojilerinin çevresel üstünlükleri şunlardır:

- ü Toprak ve su kirliliği daha azdır.
- ü Mikro-iklim denetimine yardımcı olur.
- ü Toz soğurma özelliği vardır.
- ü Erozyon ve orman yangını denetimi sağlar.

## 1.5. Tatlı Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Bitkisi

### 1.5.1. Bitkinin Tanımı ve Üretim Amaçları

Tatlı Sorgum bitkisi, bilimsel adı *Sorghum bicolor* L. Moench olan (İngilizcesi Sweet Sorghum, Almancası Zuckerhirse, Afrikacası Durra, Hintçesi Jowar, Etiyopyacası Bachanta), Gramineae familyasından C4 fotosentezine sahip tek yıllık bir enerji bitkisidir. Orijini Kuzey ve Doğu Afrikadır (Şekil 1.20). Yüksek büyüme hızına sahiptir. Aynı zamanda çok etkili bir kök sistemine sahiptir. Bu kök sistemi sayesinde kuraklığa dayanıklıdır ve su gereksinimi düşüktür (Köppen ve ark, 2009).



Şekil 1.20. Tatlı sorgum bitkisi ve bitkinin orijini

Enerji bitkisi olmasının dışında, konsantre şurup olarak iyi bir şeker kaynağıdır. Bunların dışında insan beslenmesinde ve hayvan yemi olarak da kullanılabilir. Tatlı sorgum bitkisinden elde edilen ürünler ve bu ürünlerin kullanım şekilleri Çizelge 1.19’da verilmiştir (Köppen ve ark, 2009).

Çizelge 1.19. Tatlı Sorgumdan Elde Edilen Ürünler ve Kullanım Şekilleri (Köppen ve ark, 2009)

| Kısımları | Kullanım Şekilleri                                                    |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------|
| Taneler   | Gıda, beslenme ve birinci nesil biyoetanol                            |
| Özsu      | Şeker ve birinci nesil biyoetanol                                     |
| Küspesi   | Beslenme, pulp, biyoenerji, ikinci nesil biyoetanol, kompost ve gübre |
| Yapraklar | Beslenme, gübre, biyoenerji ve ikinci nesil biyoetanol                |

Tatlı sorgum sapında, içerdiği şeker nedeniyle, 150 yılı aşkın süredir bilimsel araştırmaların konusu olmuştur (Schaffert, 1992). Tatlı sorgum, dünyada özellikle diğer şeker kaynaklarının üretiminin zor ve imkansız olduğu alanlarda önem kazanmıştır. Yüz yılı aşkın süredir de konsantre şurup üretiminde kullanılmaktadır (Şekil 1.21).



Şekil 1.21. Tatlı sorgum konsantre şurubu

Genetik ıslahı ile ilgili ilk çalışmalar, 1850’li yıllardan itibaren ABD’de başlamıştır. Melezleme çalışmaları ise yirminci yüzyılın başlarında gerçekleşmiştir. 1920’li ve 50’li yıllar arasında birkaç çeşit geliştirilmiştir (Cocchi, 2008). ABD’nin Texas eyaletinde kristalize edilmiş şeker üretiminde; şeker kamışı fabrikalarının işleme periyodunu uzatma fikriyle, yüksek şeker içeren tatlı sorgum çeşitleri geliştirilmiştir. Rio, Roma, Ramada tatlı sorgum çeşitlerinin geliştirilip tescil edilmesi ve tatlı sorgum öz suyundan şeker kristalizasyonu için bir metodun 1970’lerde geliştirilmesiyle, tatlı sorgumdan kristalize edilmiş şeker üretimi mümkün olmuştur. Fakat bu yılı takiben dünya şeker fiyatları düşmüş ve tatlı sorgumdan şeker üretimi kârsız bir hale gelmiştir. (Schaffert, 1992).

Dünyada 1973 ve 1976 yılları arasında yaşanan petrol krizleri, enerji ve taşımacılık gibi stratejik sektörleri, petrol bağımlılıklarını azaltmak için alternatif yakıt arayışı içine sokmuştur (Grassi, 2000). Yakıt ve yakıt katkıları olarak kullanmak için etil alkol (etanol) elde edilebilen tatlı sorgumun, ticari olarak üretilmesi yeniden gündeme gelmiştir (Schaffert ve Gourley, 1982). Brezilya 1975’de, öncelikle tatlı sorgumdan alkol üretimi amacıyla ulusal bir alkol programı

ortaya koymuştur. Program gereği olarak, 1987’de 3 milyona yakın alkolle çalışan otomobil için, tatlı sorgumdan yaklaşık 14 milyon m<sup>3</sup> alkol üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, tatlı sorgum preslerinde teşvik dönemini uzatmak için tamamlayıcı bitki olarak tatlı sorgum yetiştiriciliği yaygınlaştırılmış ve bunun sonucunda teşvik dönemi 3-4 aydan 9-10 aya çıkarılmıştır (Schaffert, 1992).

Almanya’da da 1990’lı yılların başlarından itibaren tatlı sorgum bitkisinin genetiği ile ilgili ıslah çalışmaları ve denemeleri gerçekleştirilmiş ve yüksek enlemde (52° 17’ 35’’ N) yer alan Braunschweig’da iyi sonuçlar elde etmişlerdir. İtalya’da ECHI-T projesi kapsamında 2000 ve 2001 yıllarında birkaç çeşit denenmiştir. Bu proje sonunda, 9 çeşit genotip verimli ve gelecek vaat eden çeşit olarak belirlenmiştir. Bunlar; Keller, Mn, Dale, Wray, Theis, M81-E, AT623XRoma ve Chinese1’dir. Günümüzde ABD, Hindistan, Brezilya ve Çin’deki araştırmacılar tatlı sorgum tarımı konusunda yoğun araştırmalar yürütmektedirler (Cocchi, 2008).

Tatlı sorgum; şeker (tatlı sorgum şurubu) (Schaffert 1992); yakıt ve yakıt katkı maddesi olarak kullanmak üzere etil alkol (etanol) üretimi (Lueschen ve ark., 1993) için yaygın şekilde yetiştirilmektedir. Yapılan çalışmalara göre, 1 dekar alanda yetiştirilen tatlı sorgumdan, yaklaşık olarak 700-1200 kg şeker üretilmektedir (Grassi, 2000). Elde edilen şeker, fermentasyon yoluyla, etil alkole dönüştürülerek, enerji elde etmek için de kullanılabilir. Tatlı sorgumdan yılda, dekar başına 200-300 kg petrol eşdeğeri etil alkol ve şekeri alınmış posa kısmından ise, 600-900 kg petrol eşdeğeri yakıt elde edilebilmektedir. Posasının enerji değeri yaklaşık olarak 15 900–18 000 kJ/kg (3 795–4 295 kcal/kg)’dır (Özer, 1996).

Çeşitli çevre koşullarına iyi adapte olabilmesi (Smith ve ark., 1987), maksimum verim için az veya orta miktarlarda azota gereksinim duyması (Geng ve ark., 1989), farklı koşullarda, azotlu gübre uygulamaksızın yetiştirilebilmesi ve marjinal alanlarda bile güvenilir derecede nispeten yüksek şeker/etanol verimi elde edilebilmesi (Smith ve Buxton, 1993), tatlı sorgumun çok geniş alanlarda yetiştirilmesine neden olmaktadır.

Mısır, şeker kamışı ve şeker pancarına (Şekil 1.22) göre 1/2-1/3 oranında daha az gübre ve sulama gibi girdilere ihtiyaç duyması (Grassi, 2000); tatlı sorgumun

bu bitkiler ile olan rekabet şansını artırmaktadır. Ayrıca, bir m<sup>3</sup> etanol üretmek için maliyetler; tatlı sorgumda 200-300 \$ civarında iken; bu rakam şeker kamışında 260 \$, mısırdaki 300-420 \$, patateste 990 \$, buğdayda 770 \$ ve manyokda 790 \$'dır (Grassi, 2000). Bu ucuz maliyet yenilenebilir enerji kaynağı olarak tatlı sorgumun önemini daha da artırmaktadır.



Şekil 1.22. Mısır, şeker kamışı ve şekerpancarı

Erozyon potansiyeli olan eğimli topraklarda rüzgar ve su erozyonunu önlemek için yazın boş kalan alanlarda, yem bitkisi veya enerji bitkisi olarak tatlı sorgumun yetiştirilebileceği (Buxton ve ark., 1999); şeker pancarı alanlarında artan hastalık ve zararlıları azaltmada, şeker veya şekerden etanol üretmek için şeker pancarıyla ekim nöbetine girebileceği (Frese, 1994) bildirilmektedir.

Tatlı sorgumdan türetilen yakıtların, uygun şartlarda yakılması ile havaya atılan duman içerisinde çok az miktarda kükürt bulunmakta olup, CO<sub>2</sub> dengesi ise sıfıra yakındır (Dalianis ve ark., 1992). Tatlı sorgumun CO<sub>2</sub> soğurumu yetişme dönemi boyunca 45 t/ha'dır. Soğurduğu CO<sub>2</sub>'in % 4'ünü (1.5 ton/ha CO<sub>2</sub>) solunum yolu ile atmosfere geri vermektedir. Yakma sırasında çevreye bırakılan CO<sub>2</sub> emisyonları da hesaba katılırsa, tatlı sorgum bitkisinin toplam CO<sub>2</sub> dengesi sıfır olur (Çizelge 1.20) (Reddy ve ark., 2008). Dünyanın giderek artan çevre kirliliği ve enerji ihtiyacı göz önüne alındığında, tatlı sorgum bitkisinin bu probleme büyük ölçüde çare olabilecek güçte olduğu buradan kolayca görülebilmektedir.

Çizelge 1.20. Tatlı Sorgum Bitkisinin Toplam CO<sub>2</sub> Dengesi (Reddy ve ark., 2008)

| CO <sub>2</sub> Soğurma                               | CO <sub>2</sub> Emisyonu                                 |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Yetiştirme dönemi boyunca<br>45 t CO <sub>2</sub> /ha | Yetiştirme döneminde solunumla 1.5 t CO <sub>2</sub> /ha |
|                                                       | Dönüşüm için 8.5 t CO <sub>2</sub> /ha                   |
|                                                       | Kullanımı (yakma) için 35.0 t CO <sub>2</sub> /ha        |
| Toplam 45 t CO <sub>2</sub> /ha                       | Toplam 45 t CO <sub>2</sub> /ha                          |
| Toplam CO <sub>2</sub> Dengesi = 0                    |                                                          |

### 1.5.2. Bitkinin Botanik Özellikleri

Tatlı sorgum, tek saplı ve yüksekliği 1-5 m'ye ulaşan bir hububat bitkisidir. Tatlı sorgum genellikle tane sorgumdan daha uzundur (Guiying ve ark., 2003).

**Kök Sistemi:** Tatlı sorgum çok kuvvetli bir kök sistemine sahiptir (Şekil 1.23) ve kökün epidermisi ağır disilikat kaplı bir katmandan oluşur. Kök, tam bir silikon sütun formunda olgunlaşarak gelişir ki, bu form kurak bir periyot boyunca kök sistemini çökmeden engelleyen yeterli mekanik yoğunluğu sağlar (Guiying ve ark., 2003).



Şekil 1.23. Tatlı sorgum bitkisinin kök sistemi

Kök sistemi lifli, dal köklere sahiptir ve embriyonal, adventif ve destek köklerden oluşur. Embriyonal kök, tohum embriyosundan gelişir. Çimlenme boyunca sadece tohum embriyosu tarafından üretilen embriyo köküdür. Adventif köklerin gelişiminden önce embriyonal kök ana organdır. Bitki embriyonal kök sayesinde topraktan suyu ve besinleri soğurur. Destek kökler sap boğumlarından gelişir.

Kök sisteminin etkinliğini belirlemede en önemli faktörlerden biri su alım etkisidir, bir diğeri de kuraklığa dayanıklılıktır. Mısır ve sorgumun embriyonal kökleri eşit miktarda uzarken, sorgumun adventif kökleri mısıra göre iki kat uzar.

Bitki 3-4 yaprak ürettikten sonra adventif kökler toprak yüzeyine yakın sap boğumlarının kökünden büyür. Çimlenmeden itibaren hasat zamanına kadar adventif kökler, bitkiye su ve besin sağlanmasında daimi olarak önemli bir rol oynar ve kalıcı kök olurlar. Kök sisteminin gelişmesi, toprak ve su içeriklerinden etkilenir. Gözenekli topraklarda kök sistemi çok iyi gelişir. Kuru iklimlerde adventif köklerin sayısı azdır fakat toprak derinliklerinde iyi gelişir. Böylece, toprağın alt katmanlarındaki suyu soğurabilir ve kuvvetli kuraklığa dayanım yetisi kazanır. Destek kökler aynı zamanda hava kökleri olarak da adlandırılır. Hava kökleri ilk olarak bitkinin kökünden itibaren 4. boğumda gelişir. Toprak altı köklerinden daha kalın, kuvvetli ve daha çok gergindirler. Toprağa ulaştıktan sonra kuvvetli destek kökleri oluştururlar. Bitkilerin destek köklerini daha çok ya da daha az oluşturması çevre koşullarına ve çeşitlerine bağlıdır. Bunun yanında destek kökleri bitkilerin topraktan besin ve su soğurmasını da desteklerler (Guiying ve ark., 2003).

**Sap (Gövde):** Boğum ve boğum aralarından oluşur (Şekil 1.24).



Şekil 1.24. Tatlı sorgum bitkisinin sapı

Ana sap, 1.5-3 cm çapındadır ve % 5-15 şeker içerebilir. Saplar (sünger dokunun aralıkları), 0.6-5 m uzunluğundadır. Bu uzunluk, yetiştirme koşullarına, gün

uzunluğuna, sıcaklığa, toprak gübrelemesine ve özellikle çeşide bağlıdır. Erken olgunlaşan çeşitlerin sapları geç olgunlaşan çeşitlerden daha kısadır. Yüksek enlemlerde gün uzunluğu daha uzundur ve yetiştirme safhası buna bağlı olarak uzar. Böylece, bitki sapı daha uzun olur. Bu nedenle, tatlı sorgum ekvatora yakın olan düşük enlemlerde yetiştirildiği zaman bitki sapı daha da kısa olacaktır.

Sap, yaklaşık 10-20 adet boğumdan oluşur. Genelde boğum arası uzunluk, aşağıdan yukarı çıkıldıkça artar. Toprak yüzeyinde boğumlar arası uzunluk oldukça kısadır, fakat en üst boğum arası (sapın en ucundaki yaprağın altında kalan boğumlar arası) uzundur. Toprak yüzeyine yakın olan kısım en üstteki kısımdan daha kalındır. Her iki kısmında da kalınlık tekdüze değildir. Bundan dolayı, sapın orta kısmında iki nokta arasındaki çap ölçülür (Guiying ve ark., 2003).

Her boğumdan bir yaprak çıkar. Kardeşlenme dönemi boyunca kök kısmında genellikle 1-5 kardeş sap üretilir.

Salkımlarda tohumlar olgunlaştığında hasat, sap kesilerek yapılır. Aynı zamanda da anız sapındaki durgun tomurcuğu, kardeşlenme dönemindeki halini alır. Bu kardeşler iyi bir şekilde gelişerek yeni salkımlar oluşturabilir. Kök sistemi daha önce ki kök sistemi olduğundan yeni bitkilerin gelişme dönemi daha kısa olacaktır. Sap ve tohumun verimi oldukça büyük olabilir. Gelişme dönemi uzun olan bazı bölgelerde bitki iki kez hasat edilebilir (Guiying ve ark., 2003).

Sapın dışında çok sıkı kalın zarımsı doku vardır. İçi sünger doku (öz) ile doldurulmuştur. Şekerin çoğu sünger dokuda depolanır. Sapın epidermisi, beyaz balmumu tozu ile kaplıdır. İklim kuru olduğu zaman, balmumu katmanı bitkiden suyun buharlaşmasını engeller. Sap su ile dolduğu zaman da beyaz balmumu tozu, sapın içine su emilmesini engeller. Bundan dolayı, tatlı sorgum sadece kuraklığa dayanıklı bir bitki değildir, bundan başka su emmeyede dirençlidir. Sap ağırlığı; çeşitlerle, bitki yoğunluğu, çevre ve yetiştirme koşullarıyla ilişkili olarak değişir. Yapraklar soyulduktan sonra kalan sapın miktarı, genellikle toprak yüzeyinin üzerindeki ağırlığının % 60-80'i kadardır. Bu miktar; çeşide, kültürel uygulamalara ve özellikle bitkinin yoğunluğuna bağlıdır. Sapta özsuyun Brix'i (suda eriyebilir toplam kuru madde miktarı), çeşide bağlıdır. Aynı zamanda çevre ve hasat zamanı da etkileyici bir faktördür (Guiying ve ark., 2003).

Asıl kullanımı saptaki seker içeriğinde yer alır. Bundan dolayı, çeşitlerin seçiminde şeker içeriği temel ekonomik karakterdir. Eğer asıl niyet şekeri için bitki yetiştirilmesi ise, yüksek şeker içeriğine sahip çeşit seçilmelidir. Nişasta ve akonitik asit azsa, sap içeriği daha iyidir. Eğer asıl amaç alkol veya şarap yapmak ise indirgen şeker ve nişastanın miktarı önemli değildir. Çünkü, nişastanın tümü alkol üretiminde fermentasyon için materyal olarak kullanılabilir (Guiying ve ark., 2003).

**Yaprak:** Yapraklar, paralel damarlıdır. Yaprak kını, yaprak ayası ve yakacıktan oluşur (Şekil 1.25). Yaprak kını çok uzundur ve boğumlar arasının ana kısmını sarmalamıştır. Yaprak ayası; enli, uzun ve dişlidir, yüzeyi ise pürüzsüz ve indirgenmiş buharlaşmada bir rol alan balmumu tozuyla kaplıdır. Kuru koşullarda, yaprak ayası ince boru rolünü üstlenecektir. Kuru koşullara maruz kalan alan azalacak dolayısıyla su kaybı önlenmiş olacaktır (Guiying ve ark., 2003).



Şekil 1.25. Tatlı sorgum bitkisinin yaprağı

Yapraklar, 30-135 cm uzunluğunda ve 6-13 cm genişliğindedir. Her bir boğumdan bir yaprak üretilir. Bir bitkideki yaprak sayısı saptaki boğum sayısına eşittir. Yaprak sayısı, çeşide ve bitkinin yetiştirildiği enleme bağlı olarak değişkenlik gösterir. Yüksek enlemlerde yetiştirilen tatlı sorgum da yaprak sayıları, gün uzunluğu uzun olduğu ve vejetatif gelişme uzadığı için artacaktır. Diğer taraftan, ekvatora yakın olan düşük enlemlerde ise yaprak sayıları azalacaktır.

Genç filizlerin ilk yaprağı çok küçüktür ve yaprak genişliği bitkinin orta kısmında yavaş yavaş büyüyerek maksimuma ulaşır. En geniş yaprağın bulunduğu yer, yaprak koltuğu olarak adlandırılır. En geniş yaprağın yaprak koltuğu genellikle 5-13 yaprak arasındadır (üstten aşağıya doğru). Yaprak koltuğu, farklı çeşitlerin yetiştirme dönemi ve verimi ile çok yakından ilişkilidir. Azalan yaprak koltuğunun gelişme dönemi uzun ve verimi yüksektir (Guiying ve ark., 2003).

İyi yönetilmiş bir üretimde yaprak alan indeksi 4-6 arasındadır. Çimlenmeden sonra 1-2 ay içinde yapraklar oluşacaktır ve yaklaşık olarak toplam 22 yaprak üretilenektir. Tek bir bitkinin taze yapraklarının ortalama kütlesi 150-250 g aralığındadır. Yaprak yüksek protein içeriğine sahiptir ve bunun için yem değeri yüksektir (Guiying ve ark., 2003).

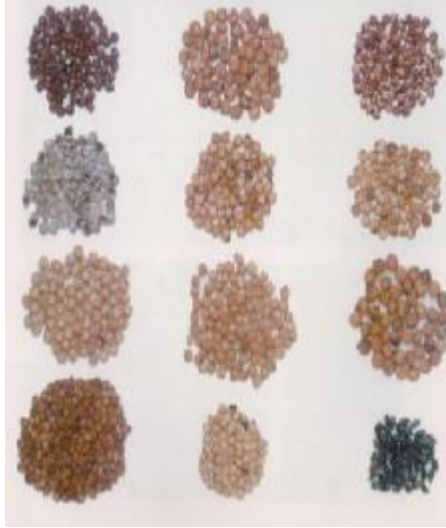
**Salkım:** Çiçekler, birçok kırmızımsı çiçekten oluşmuş karışık salkım topluluğundadır (Şekil 1.26). Karışık salkım, bayrak yaprak kınından geliştikten sonra hemen çiçeklenme başlar. En tepedeki küçük başaklar ilk çiçeklenir. Onu sırasıyla salkımın ortasındaki çiçekler ardından da en alttaki kısım takip eder (Guiying ve ark., 2003).



Şekil 1.26. Tatlı sorgum bitkisinin karışık salkımı

**Tohum:** Meyve kabuğu, tohum kabuğu, endosperm ve embriyo kısımlarından oluşan karyopsis durumunda ve oblong yapıdadır. Kabuk ve tohumun renkleri çok farklı olabilmekte olup tohumlar kavuzla kaplıdır (Guiying ve ark., 2003).

Tohumlar; yuvarlak, yassı, oval, elips vb. şekillerde ve beyaz, açık yeşil, pembe, kahverengi, kırmızı kahve, koyu kahverengi vb. renklerde olabilir (Şekil 1.27).



Şekil 1.27. Tatlı sorgum bitkisinin çeşitli renk ve şekillerdeki tohumları

Tohum kabuğu, tanen içerir ve biraz asit tadındır. Eğer, tohum alkali topraklarda ekilirse, tanenin baziklikliği etkisizleştirebilme özelliğinden dolayı tohumun çimlenmesinde baziklikliğin olumsuz etkisi lokal olarak azaltılabilir.

Genelde tatlı sorgumun tohumları tane sorgumun tohumlarına göre oldukça küçüktür. Tohumun bin dane kütlesi yaklaşık 21 g'dır. Çeşitlerine bağlı olarak, tohumun bin dane kütlesi 16-28 g arasında olabilir (Guiying ve ark., 2003).

### 1.5.3. Biyolojik Karakteristikleri

Tatlı sorgum bitkisinin büyüme ve gelişme dönemi genel olarak 4'e ayrılır (Guiying ve ark., 2003). Bunlar:

- Fide dönemi,
- Sapa kalkma dönemi
- Çiçeklenme dönemi ve
- Meyve tutumu dönemidir.

**Fide Dönemi:** Çimlenmeden boğumun oluşumuna kadar geçen zaman fide dönemidir.

Fide dönemi boyunca; nem, oksijen ve sıcaklık yeterli olmalıdır. Tatlı sorgum, baharda düşük sıcaklıklarda ekildiği zaman, 7-10 günde çimlenir. Yazın yüksek sıcaklıklarda ekildiği zaman ekimden 2-3 gün sonra çimlenir.

3-5 yaprak üretildikten sonra sürgün yaprak koltuğundan gelişir. Fidenin yüzeye çıkmasından itibaren kardeşlenme oluşumu yaklaşık 30 gün sürer. Tatlı sorgumun bir çok çeşidinin kardeşlenme yeteneği tane sorgumla kıyaslandığında oldukça yüksektir. Yüksek kardeşlenme yeteneğine sahip çeşitler hayvan yemi olarak kullanılabilir (Guiying ve ark., 2003).

Eğer tatlı sorgum şeker ve şarap yapımında hammadde olarak kullanılacaksa bitki başına soldaki 1-2 sürgünün çıkmasına izin verilir ve diğer sürgünler kırılır. İzin verilen saplar kalın ve uzun gelişir. Sap genişliği eşittir. Bitkiler hep birlikte meyve tutar ve yıkılmaya dirençlidirler.

Tatlı sorgum fide dönemin de oldukça yavaş gelişir. Az miktarda suya ve gübreye ihtiyaç duyar. Ekimden önce taban gübresi uygulandığı zaman bitkinin bu döneminde besinlere ihtiyacı olmayacaktır. Ancak, bu dönemde yabancı otlar ciddi bir tehlikedir ve kontrol edilmelidir (Guiying ve ark., 2003).

**Sapa Kalkma Dönemi:** Fidelerin ortaya çıkmasından sonra yaklaşık 47-55 günde bitkiler sapa kalkma dönemine girerler ve yaprak yüzey alanı oldukça hızlı bir şekilde genişler. Bitki çok hızlı uzar. Sapa kalkma dönemi önceki dönemden daha uzundur. Uzun boylu bitkiler gelişerek sapın verimi yüksek olur. Sapa kalkma dönemi boyunca genç fidelerin farklılaşması artar. Erkencil meyve tutan çeşitlerin başakları, geç meyve tutan çeşitlerin başaklarından daha erken farklılaşmaya başlar (Guiying ve ark., 2003).

Bu aşama tatlı sorgum için önemli bir bitki büyüme dönemidir. Bu dönemde yapılan kültürel uygulamalar doğrudan bitki sap ve tohum verimini etkiler.

**Salkım Çıkışı ve Çiçeklenme Dönemi:** Sapa kalkma döneminden sonra son yaprak veya bayrak yaprak gelişir. 1 hafta sonra başaklanma başlar, başaklanmadan da 2-5 gün sonra da çiçeklenir. Çiçekler, yüksek kısımdan alçak kısımlara doğru ve başağın dışından içeriye doğru hızla açarlar. Her bir çiçeğin, açılıp kapanması

yaklaşık bir saat sürer. Tatlı sorgum türler arası eşleştirilmiş bir bitkidir. Bundan dolayı ıslah edilmiş çeşitlerin üretilmesi sırasında dejenere olmuş çeşitlerin karışmasını engellemek amacıyla izole edilmelidir (Guiying ve ark., 2003).

Çiçeklenme en yüksek su ihtiyacının olduğu zamandır. Bu nedenle, özellikle sıcak yaz günleri süresince yeterli su verilmelidir.

**Dane Büyümesi Dönemi:** Süreci üç safhaya ayrılır (Guiying ve ark., 2003). Bunlar:

- Süt olumu,
- Hamur olumu ve
- Tam olgunlaşma safhasıdır.

Süt olum safhası: Tozlanma tamamlandıktan sonra besinlerin bir kısmı tatlı sorgumun saplarında depolanır ve diğer kısmı da tohumla iletilir. Bu nedenle, kuru madde içeriği tohumda sürekli birikir ve tohumun dane kütlesi hızlıca artar. Süt olum safhasında tohumda ki endosperm süt kıvamındadır. Tohum bir tırnakla bastırıldığı/kırıldığı zaman biraz sütümsü beyaz yoğun sıvı ortaya çıkar.

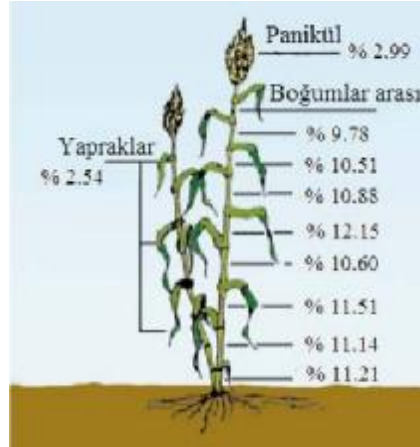
Hamur olum safhası: Tohumda nem azalırken kuru madde miktarı kütleye artar, ayrıca tohum sertleşir. Tohumla bastırıldığı zaman yoğun bir sıvı çıkmaz ama hamurumsu bir yapışkan çıkar.

Tam olgunlaşma safhası: Tohum kurur ve sertleşir. Kuru maddenin birikimi sona erer ve tohum gerçek rengini alır.

#### 1.5.4. Bitkinin Bileşimi, Besin Değeri ve Kullanımı

Tatlı sorgum bitkisinin toplam kütlesinin, % 70-75'i saptan, % 10-15'i yapraktan, % 7'si taneden ve % 10'u kökten oluşur (Grassi, 2001).

Şeker miktarı ve içeriği; tatlı sorgumun bitkisinin şeker içeriği oldukça yüksektir. En fazla şeker saptarda (% 78.7) bulunur. Bunu sırasıyla, salkım (% 2.99) ve yapraklar (% 2.54) takip eder. Sap kısmında 14'ten fazla şeker çeşidi vardır ve hepsi homojen olarak dağılmıştır. Bunlardan en fazla bilineni; sakaroz, fruktoz ve glikozdur. Şeker dağılımı Şekil 1.28'de ve bir sap kesitindeki şeker konsantrasyonu ise Şekil 1.29'da gösterilmiştir (Grassi, 2001).



Şekil 1.28. Tatlı sorgum bitkisinin şeker dağılımı (Grassi, 2001)



Şekil 1.29. Tatlı sorgumun sap kesitindeki şeker konsantrasyonu (Grassi, 2001)

Tohumun enerji ve besin değeri; 100 adet tohumda 342 kalori, 12.0 g su ( $H_2O$ ), 10.0 g protein, 3.7 g yağ, 72.7 g toplam karbonhidrat, 2.2 g lif, 1.5 g kül, 22 mg kalsiyum (Ca), 242 mg fosfor (P), 3.8 mg demir (Fe), 8 mg sodyum (Na), 44 mg potasyum (K) içerir. İçerdiği protein glutensizdir. Bundan dolayı tohumdan elde edilen undan yapılan ekmek iyi olmaz, tatlandırılması gerekir (Grassi, 2001).

Kimyasal bileşimi; tatlı sorgum bitkisi % 52 karbon (C), % 6.7 hidrojen (H), % 0.98 azot (N), % 0.11 kükürt (S), 5400 ppm klorin ve % 65.5 uçucu madde içerir (Grassi, 2001).

Küspesinin bileşimi ve karakteristikleri; % 15-25 selüloz ( $C_6H_{10}O_5$ ), % 35-50 hemiselüloz ( $C_5H_{10}O_5$ ), % 20-30 lignindir. Net ısı değeri 17.259 MJ/kg (külsüz); özgül kütle  $150 \text{ kg/m}^3$  (% 20 nemde)'dür (Grassi, 2001).

Tatlı sorgum, aşağıdaki kullanım amaçları doğrultusunda yetiştirilebilmektedir (Chiaramonti ve Agterberg, 2002).

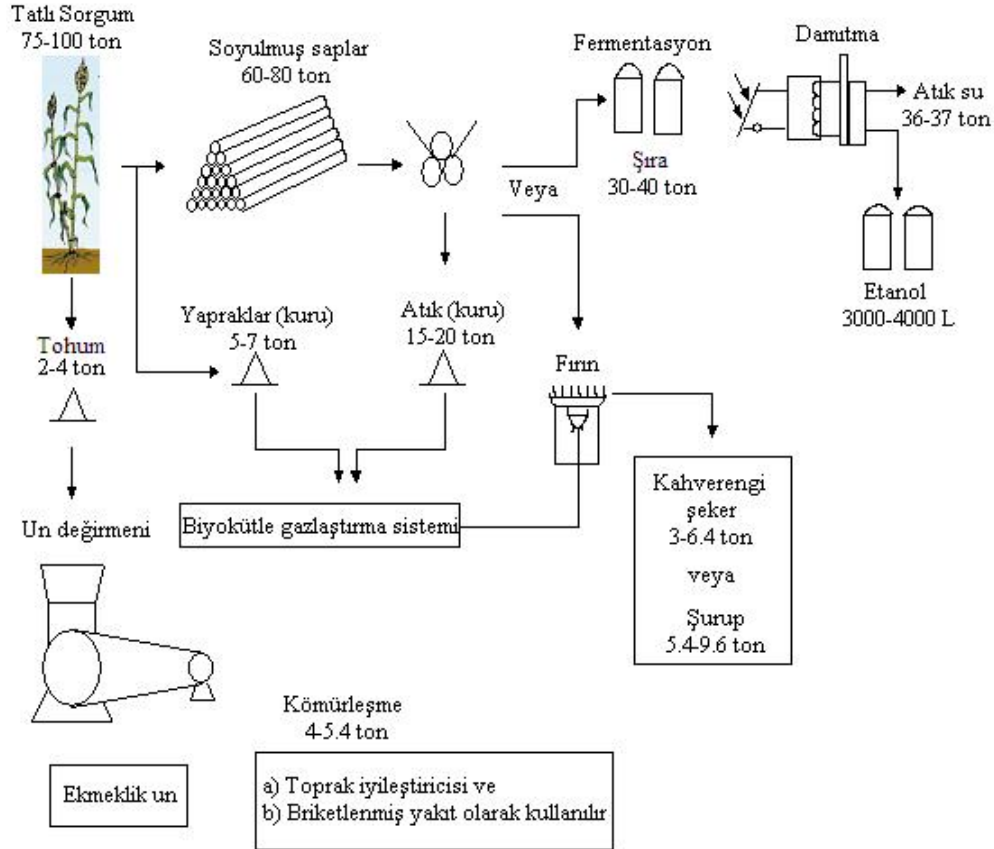
- Taşıma yakıtı (biyoetanol, hidrojen ve metanol kaynağı olarak),
- Enerji (elektrik ve ısı),
- Hayvan besini,
- Kağıt için hamur,
- Mangal kömürü,
- Aktif kömür,
- Bitki besin proteini (DDG) ve
- Şurup.

Tatlı sorgumun kullanım amaçları doğrultusunda avantajları Çizelge 1.21’de verilmiştir.

Çizelge 1.21. Tatlı Sorgumun Kullanım Amacına Göre Avantajları (Reddy ve ark., 2008)

| Bitki Olarak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Etanol Olarak                                                                                                                                                                                      | Küspe Olarak                                                                                                                                                                                                         | Endüstriyel üretimde hammadde olarak                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Ø Yetiştirme dönemi kısadır (3-4 ay),</li> <li>Ø C4 Kurak bölge bitkisi,dir,</li> <li>Ø Dayanımı oldukça yüksektir,</li> <li>Ø Çiftçi dostudur,</li> <li>Ø Hem insan gıdası hem de hayvan yemidir,</li> <li>Ø İstilacı bir tür değildir,</li> <li>Ø Toprak N<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> emisyonu düşüktür,</li> <li>Ø Tohumla çoğalır,</li> <li>Ø Fermentasyon etkinliği yüksektir (% 90-92).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ü Çevre dostu bir süreçtir,</li> <li>Ü Üstün kalitelidir,</li> <li>Ü Düşük sülfürlüdür,</li> <li>Ü Yüksek oktanlıdır,</li> <li>Ü Motor dostudur.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüksek biyolojik değerlidir,</li> <li>• Mikroblesinlerce zengindir,</li> <li>• Hem gıda hem de güç kojenrasyonunda kullanılabilir,</li> <li>• Silaj için iyidir.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Pulp ve kağıt yapımı için uygun maliyetli kaynaktır.</li> <li>* Fermentasyon yan ürünleri olarak donmuş CO<sub>2</sub>, asetik asit, fuzel yağı ve metan üretilebilir.</li> <li>* Bütanol ve alkollü içkiler üretilebilir.</li> </ul> |

Rajvanshi ve Nimbkar (2008) yaptıkları bir çalışmada, 1 ha'lık bir alanda üretimi yapılan tatlı sorgum bitkisi kısımlarından ne kadar ürün elde edilebileceğini belirlemişlerdir (Şekil 1.30).



Şekil 1.30. Birim alandan (1 ha) elde edilen tatlı sorgum bitkisinden üretilecek farklı ürünler (Rajvanshi ve Nimbkar, 2008)

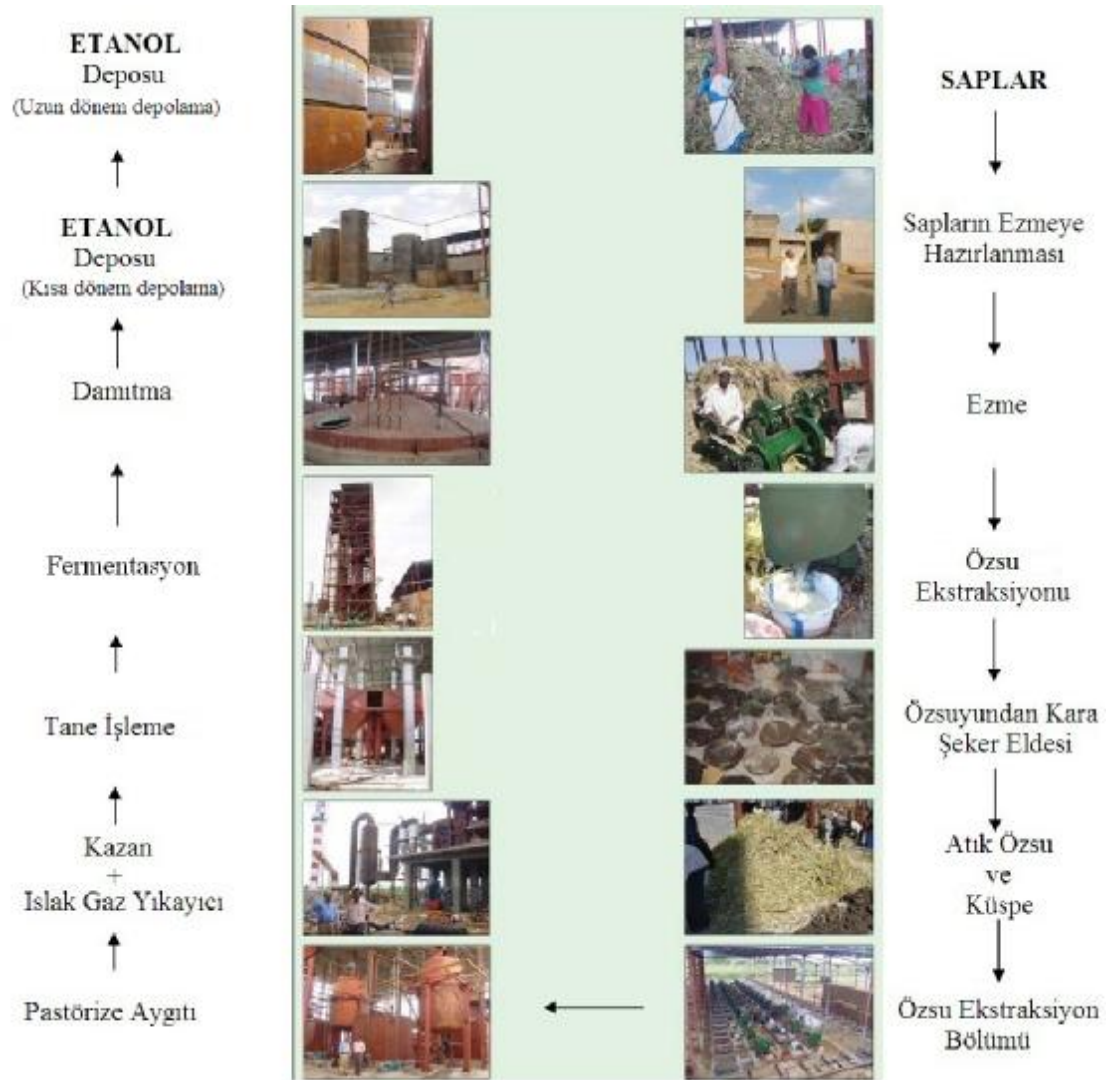
1 ha'lık bir alanda tatlı sorgum üretimi yapıldığı zaman, 75-100 t/ha yeşil aksam elde edilir. Elde edilen ürünün;

Ø 2-4 tonu tohumdur. Tohumdan ekmeklik un, toprak için besin maddesi veya briketlenmiş yakıt elde edilebilir.

Ø 5-7 tonu kuru yapraktır.

Ø 60-80 tonu soyulmuş saplardan oluşur. Soyulmuş saplardan 15-20 ton kuru madde elde edilir. Bu kuru maddeden 30-40 ton şıra elde edilir. Bu şıradan 3.0-6.4 ton kahverengi şeker veya 5.4-9.6 ton şurup elde edilir. Yada kuru madde fermentasyona uğratılarak 3 000-4 000 L etanol ve 36-37 ton atık suyu ortaya çıkar.

Şekil 1.31’de, Hindistan’da ICRISAT araştırma tesislerinde yer alan tatlı sorgumdan etanol üretim tesisi gösterilmiştir. Tatlı sorgumdan etanol üretimi sırasında, önce saplar hazırlanıp ezilmeye götürülür. Saplar ezilerek küspe ve özsü birbirinden ayrılır. Daha sonra, özsuyun ekstraksiyonu yapılarak kara şeker elde edilir. Geriye kalan atık özsü (stillage), tekrar özsü ekstraksiyonundan geçirilerek pastörize edilir. Daha sonra, fermente edilerek şeker alkole dönüştürülür. En son damıtma işlemine sokularak atık özsü ile alkol birbirinden ayrılır. Bu işlemin sonunda sulu etanol elde edilir.

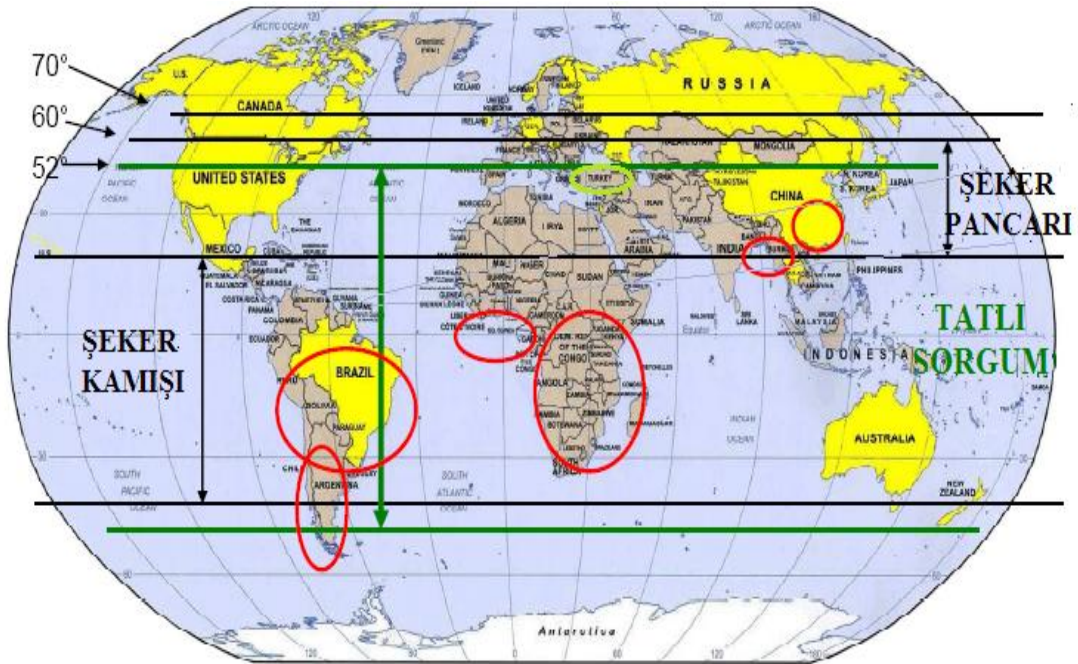


Şekil 1.31. Tatlı sorgumdan etanol üretim tesisi (Reddy ve ark., 2008)

### 1.5.5. Dünyada ve Türkiye’de Tatlı Sorgum Üretimi

Dünyadaki tatlı sorguma ait toplam ekiliş, üretim ve verim bakımından net bir veri olmasa da; ABD, Brezilya, Hindistan, Rusya, İtalya ve Fransa önemli yetiştirici ülkeler arasında bulunmaktadır. Ancak, ülkemizde biyokütleden enerji üretme amaçlı tatlı sorgum üretimi ve kullanımı yaygınlaşmamıştır.

Dünya coğrafyasında tatlı sorgum tarımının yapıldığı alanlara bakıldığında, Almanya’da 52° kuzey paralelinde tatlı sorgum çeşitlerinde yapılan bir çalışmada 500 MJ/m<sup>2</sup> enerji kullanarak 20 ton/ha kuru biyokütle elde edilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri’nde 21° ile 47° kuzey paralelleri arasında tarımı yapılmakta olup, 50-90 ton/ha yeşil ot verimi ve 4-17 ton/ha şeker verimi sağlanmaktadır (Grassi, 2001). Yeterli miktarda güneş enerjisi almayan Avrupa iklim şartları, tatlı sorgumu ve şeker kamışı gibi genetik olarak güneş enerjisine daha fazla gereksinim duyan C4 tipi bitkilerin yetiştirilmesine çok elverişli değildir (Wodds, 2000). Bu nedenle, 36°-42° kuzey paralellerinde yer alan Türkiye’nin tatlı sorgum yetiştirmek için çok uygun iklim koşullarına sahip olduğu görülmektedir (Şekil 1.32).



Şekil 1.32. Dünyada tatlı sorgum üretiminin yapıldığı yerler (Grassi, 2007)

Ülkemizde yetiştiriciliği yapılırsa, tatlı sorgum sapında bulunan yüksek orandaki şekerin, öncelikle taşımacılıkta sıvı yakıt olarak kullanılabilen biyoetanole dönüştürülmesi kırsal kesimde ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılayabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, biyoetanol üretiminde elde edilen yan ürünler elektrik ve ısı enerjisi üretiminde kullanılarak, işletmelere ekonomik katkı sağlayacak ve aynı zamanda kırsal kesime yukarıda belirtilen faydaları getirecektir. Tatlı sorgumdan etanol üretiminde yan ürün olarak elde edilen CO<sub>2</sub>, tıpta, yangın söndürmede, karbonatlı içeceklerde ve kuru buz imalatında kullanılmaktadır. Tatlı sorgum kullanılarak üretimi yapılabilen diğer bir ürün de yakıt pili teknolojisinde kullanılan hidrojenidir.

Claassen ve ark. (2004)'nın yaptıkları bir çalışmada, elde edilen 126 ton/ha tatlı sorgum sapından 14.5 ton/ha şeker elde edilmiş ve bu şeker termofilik bakteri yoluyla (*Caldicellulosiruptor saccharolyticus*) fermente edildikten sonra, 1.3 ton/ha hidrojen elde edilmiştir. Şekeri alınan sorgumdan arta kalan kuru madde 15 ton/ha kadardır. Bu miktar kimyasal ve enzimatik yollarla hidrolize ve fermente edilerek 2.1 ton/ha hidrojen üretilir. Petrolün hidrojene dönüşmesi esnasında oluşan CO<sub>2</sub> emisyonu, bitkisel kaynaklardan hidrojen elde edilmesi esnasında ortaya çıkan CO<sub>2</sub> emisyonundan çok daha fazladır. Biyokimyasal yolla tatlı sorgumdan hidrojen ve biyoetanol üretilbildiği için Avrupa Birliği ülkeleri tatlı sorgumu, potansiyel enerji bitkisi olarak dikkate almaktadırlar.

Bu doğrultuda tatlı sorgum üretiminin, AB'nin ihtiyaçlarına ve amaçlarına katkısı aşağıdaki gibi özetlenebilir (Chiaramonti ve Agterberg, 2002):

- 1) Rekabete dayalı maliyette yenilenebilir enerji üretimi: Biyoetanol, vb.
- 2) Enerji temininin çeşitliliği: Rekabete dayalı maliyet doğrultusunda tatlı sorgum yenilenebilir (fosil olmayan) kaynak olarak üretilir. Böylece AB'nin yenilemeyen (fosil olan) enerji kaynaklarına bağımlılığı azalır.
- 3) Bitkisel protein (DDG) üretimi: Bitkisel proteinlerin yeniden üretimi (yaklaşık olarak 1.5 t/ha) olanaklıdır.
- 4) Yeni ve kalıcı iş yaratma: Tarımda ve bunun yanında endüstri sektöründe yeni iş alanları oluşturur.
- 5) Yeni teknolojilerin geliştirilmesini teşvik eder.

TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezinde, yapılan çalışmalar sonucunda da, 5 milyon hektar alana tatlı sorgumun ekilmesiyle elde edilecek enerji miktarı yaklaşık 80 milyon TEP olarak hesaplanmıştır (Çubuk ve ark., 1995). Bu miktar; Türkiye'nin şu andaki mevcut enerji tüketiminin (104 milyon TEP) yaklaşık olarak % 77'sine eşdeğerdedir. Türkiye'de halen 19 milyon hektar ekilebilir alan var olduğu düşünüldüğünde, bu alanın sadece 1/4'ünde tatlı sorgum üretilmesi durumunda, şu andaki yıllık birincil enerji ihtiyacının % 77'si karşılanabilecektir.

#### 1.5.6. Tatlı Sorgum Tarımı

##### 1.5.6.1. Toprak ve İklim İstekleri

**Toprak:** Tatlı sorgum farklı toprak tiplerine tamamen adapte olabilir, kumlu ve killi toprakların her ikisinde de yetiştirilebilir. Ancak, çoğu ürün, verimli topraklarda yetiştirildiği zaman en iyi mahsülü verir. FAO projelerinde kullanılan yeni çeşitlerin önemli bir özelliği tuzlu-alkalik topraklara dayanmalarıdır. İdeal pH değeri, 5.0-8.5'dir (Guiying ve ark., 2003).

**Nem:** Kök sistemi, çok iyi gelişir ve toprakta derinlere kadar nüfuz eder. Sapların yüzeyinde ki beyaz balmumu tozu ve yapraklar terlemeyi azaltır. Kuru koşullarda tatlı sorgum bitkisinin yeşil kalma süresi mısırdan daha iyi olabilir. Aynı zamanda, özellikle geç gelişme döneminde kuraklığa karşı kuvvetli bir dirence sahiptir (Guiying ve ark., 2003).

Büyüme ve gelişme dönemi süresince su gereksinimi 500-600 mm'dir.

**Sıcaklık:** Tatlı sorgum, yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyduğu için, ilk başlarda tüm mevsim boyunca yetiştirilebileceği tropikal bölgelerde üretilmiştir. Tatlı sorgumun farklı çeşitleri değişik sıcaklıklara ihtiyaç duyarlar. Sıcaklık istekleri 20-35°C arasındadır. Çimlenme için en düşük sıcaklık isteği 8-10°C'dır. Çiçeklenmeden sonra, tohumda besinlerin ve saptaki şekerin birikmesi için gündüz ve gece arasında geniş bir sıcaklık farkına ihtiyaç duyar (Guiying ve ark., 2003).

Tohumun ekiminden olgunlaşmasına kadar 2 500-4 500°C arasında sıcaklık toplamına gereksinim duyar.

**Gün uzunluğu:** Tatlı sorgum, bir kısa gün bitkisidir. Farklı çeşitlerinin çok farklı gün uzunluklarına gereksinimi vardır. Uzun günler vejetatif gelişmeyi teşvik eder. Kısa günler ise çiçeklenmeyi teşvik eder. Bundan dolayı, kısa günlü düşük enlemlilerde tatlı sorgumun birçok çeşidinin biyokütle verimi düşüktür. Başarılı bir hasadın yapılabilmesi için yerel gün uzunluğu koşullarına uygun genotipin seçilmesi gereklidir (Guiying ve ark., 2003).

Bitkinin gelişme döneminin kısa olduğu bölgelerde, erkenci çeşitler seçilebilir. Ekim zamanının ayarlanması, hasat zamanını uzun zamana yayabilir. Bu yöntem, şeker ve alkol üretiminde ekonomik faydayı yükseltmek için ekipman ve tesislerden ekonomik işletimine önemli katkı sağlayabilir.

**Işık:** Normal iklim koşullarında bitkiye ulaşan ışık yoğunluğu fotosentez hızını doyuma ulaştıracak kadar yüksek olamamaktadır. Bu nedenle ışık yoğunluğu ve ortalama sıcaklığı yüksek olan yerlerde biyokütle verimi de yüksek olmaktadır (Guiying ve ark., 2003).

#### 1.5.6.2. Kültürel Uygulamalar

Tatlı sorgum, iyi bir adaptasyon yeteneğine sahip ve yüksek verimli bir bitkidir. Ancak, yetiştirilmesinde başarılı olmak için yerel koşullara uygun kültürel yöntemleri geliştirmek gereklidir.

**Toprak hazırlama:** Tatlı sorgum her toprağa kolayca adapte edilebilir. Ancak, organik maddece zengin, koyu, iyi yapılı, drenajı ve su tutma kapasitesi iyi olan toprak da daha iyi yetişir (Guiying ve ark., 2003).

I. Ürün için toprak hazırlığı: İlkbahar ekiminden önce kışın ekilmemiş topraklarda toprağı hazırlamak yeterlidir. Genelde kışın ya da ilkbaharda ekimden önce pulluk ve diskaro bir kere kullanılarak toprak hazırlanır.

II. Ürün için toprak hazırlığı: İlkbahar/kış bitkilerinin (buğday, arpa, kolza) hasadından sonra toprak hazırlığı yapılır. Bu mevsimde, ekimden önce toprak hazırlığı için oldukça kısıtlı bir zaman aralığı vardır. Bu mevsimde, sıcaklık ve buharlaşma hızı yüksek, yağış miktarı düşüktür. Eğer, toprak su içeriği yetersizse, bir

önceki bitkilerin hasadından sonra ve ekim için diskaro ile son toprak işleme yapmadan önce, bir kere sulama yapmak gerekebilir.

**Gübre uygulaması:** Tatlı sorgumun verimliliğini arttırmada en önemli faktörlerden biri de taban gübresinin gerektiği düzeyde uygulanmasıdır. Organik taban gübreler: insan dışkısı ve idrarı, ahır gübresi, karışık yerli ahır gübresi, saplardan oluşmuş kompost ve yeşil gübredir. Taban gübresi verilerek yetiştirilen tatlı sorgum bitkisinin gelişmesi kuvvetli, yaprakları koyu yeşil, salkımdaki tohum sayısı ve tohumun dane kütlesi yüksektir. Genelde organik taban gübresi uygulaması hektara 60 tondur.

Organik gübrenin kimyasal gübrelerle desteklenmesi gerekebilir. Verimi arttırmak için tabana fosfat uygulaması etkili bir yöntemdir. Aşırı azot uygulaması tavsiye edilmez. Bu uygulama sap verimini arttırabilir ama şeker içeriğini düşürür. Birim alan (ha) başına 375-450 kg'dan daha fazla azot gübresi uygulanmamalıdır. Topraktaki fosfor içeriğine bağlı olarak fosfat gübresi uygulama miktarı belirlenir. Eğer, fosfor içeriği 5-10 ppm ise, birim alan (ha) başına 300-375 kg kalsiyum süper fosfat uygulanmalıdır. Eğer fosfor içeriği 5 ppm'den az ise 450-525 kg/ha uygulanmalıdır (Guiying ve ark., 2003).

Tatlı sorgumun gübre gereksinimi duyduğu makro element miktarı mısıra göre daha düşüktür. Tatlı sorgum, 65 ton/ha yeşil ot verimine karşılık topraktan 119 kg/ha N, 24 kg/ha  $P_2O_5$ , ve 10.8 kg/ha  $K_2O$  kaldırmaktadır. Bu miktarlar göz önüne alındığında tatlı sorgumun mısıra göre % 30 ile 40 civarında daha az azot ihtiyacının olduğu ortaya çıkmaktadır (Grassi, 2001).

Büyüme ve gelişme dönemi süresince, tatlı sorgum bitkisinin 120-150 kg/ha saf azota, 60-70 kg/ha saf fosfora ve 60-120 kg/ha saf potasyuma ihtiyacı vardır (Guiying ve ark., 2003).

### **Ekim:**

Ekim zamanı: Tatlı sorgumun ekim zamanı toprağın sıcaklığına bağlıdır. Tatlı sorgumun çimlenmesi için en düşük sıcaklık 8-10°C'dir. Daha düşük sıcaklıklarda çimlenme ve tohum çıkış oranı hızla düşer. Genelde ilkbahar ekimi için 5 cm derinlikte sıcaklık 12°C olmalıdır (Guiying ve ark., 2003).

Ekim normu: Ekim normu, tohumluğun çimlenme oranına, toprak niteliğine, toprak nem içeriğine, iklime ve çeşide bağlıdır. Tatlı sorgumun ekim normu, tane sorgumun ekim normundan yüksektir. İri tohumluların ekim normu da küçük tohumlarkinden yüksektir. Geç ekimlerde ekim normu, ideal zamanda yapılan ekim normundan yüksektir. İlkbaharda ekim yapılacaksa, toprağın sıcaklığı düşükse ve toprakta zararlı böcekler varsa, ekim normu artar. Buna ilaveten ekim normu, tatlı sorgumun üretim amacına da bağlıdır. Üretim amacı silajlık tatlı sorgum yetiştirmek ise ekim normu 12-15 kg/ha olmalıdır (Guiying ve ark., 2003).

Ekim yöntemleri: Genelde sıraya ekim, serpme ekim ve fide dikimine uygundur. Bazı bölgelerde doğrudan ekim uygulanamaz, serpme ekim yapılır. Hem doğrudan ekimde hem de serpme ekimde tohumların üzeri toprakla kapatılıp bastırılarak sıkıştırılır. Toprak nem içeriği yüksekse kapatılmış toprak sıkıştırılmamalıdır. Toprak nem içeriği düşükse ekimden sonra hemen kapatılmış toprak bastırılmalıdır (Guiying ve ark., 2003).

II. Ürün ekiminde gelişme dönemi kısadır. Buğday hasadından hemen sonra ekim yapmak çok önemlidir. Çünkü sıcaklık genellikle yüksek ve toprak kısa sürede kurur. Bu da toprak işlemeyi ve ekim işlemlerini güçleştirir. II. Ürün ekiminde aşağıdaki yöntemler kullanılabilir (Guiying ve ark., 2003):

1) Birlikte ekim (intercropping); buğdayın hasadından yaklaşık olarak 15 gün önce tatlı sorgum tohumu, buğday sırtlarına yakın sıralara doğrudan ekilir. Her bir delikte 4-5 tohum vardır. Derinlik 3-4 cm, sıra üzeri aralığı 20 cm olur.

2) Toprak nem içeriği aşırı yüksek olan toprakta fide dikimi; birim (ha) alana düşen bitki sayısı 60 000-75 000 adettir.

3) Fideleri başka bir yerde yetiştirip nakletme; erken ekim ve fidelerin nakledilmesi gelişme dönemini uzatarak yüksek verim sağlar. Fidelerin nakledilmesi doğrudan ekime nazaran tamamen sağlamdır ve bitkiler 10-15 gün daha erken olgunlaşır. Fideler nakledildiği zaman 20-30 günlüktürler ve 5-6 yaprağa sahiptirler. Fideler nakledilmeden 1-2 gün önce sulanmalıdır. Böylece bitkiler yeni yaşam alanına kolayca alışır. Beyaz taneli tatlı sorgumun koleoptili kısadır. Bu yüzden çıkış yeteneği zayıf olur. Toprak killi ise en iyi derinlik 3 cm, toprak kumlu ise derinlik 5 cm'yi geçmemelidir.

**Bakım:** Bakım, ekimden hasada kadar olan işlemleri içerir. Bakımın önemli aktiviteleri; fide seyreltme, yabancı otlarla mücadele, gübreleme, sulama, ilaçlama vb.'dir. Bitkilerin sağlıklı olarak büyümesi ve gelişmesi amacıyla bakım işleri yapılır. Aynı zamanda bitki zararlılarını zamanında önlemek ve kontrol etmek yüksek verim ve kaliteli ürün açısından önemlidir (Guiying ve ark., 2003).

Kaymak tabakasının kırılması: Fide çıkışından önce oluşan yağışlar sonrası toprak yüzeyinde toprağın killi olmasına bağlı olarak sert kaymak tabakası oluşabilir. Bu tabaka fide çıkışını engelleyici olduğundan toprak yüzeyi tırmık gibi yüzeysel işleme aletleriyle gevşetilmelidir.

Fidelerin seyreltilmesi: Son seyreltme sırasında boşluklardan kaçmak ve en iyi fidelerin seçilmesi amacıyla bitki sıklıkla aşırı ekilir. Bitkilerin sayısı, ekimde istenen sayıdan birkaç kat olabilir. Sıkışık bitkiler fidelerin büyümesini ve gelişmesini engeller. Bundan dolayı doğru zamanda fidelerin seyreltilmesi önemlidir.

1) Erkenci seyreltme; erkenci seyreltme besin ve nem için istenmeyen rekabeti azaltır. Seyreltme, bitkiler 2-3 adet yapraklandığı zaman uygulanmalıdır.

2) Son seyreltme 4-5 yaprak döneminde yapılır; son seyreltme esnasında tekdüze bir birlikte dikim aralığı sağlanmalıdır. Aynı genişlikteki kuvvetli fideler mümkün olabildiğince tercih edilmelidir.

3) Fidelerin büyümesinin hızlandırılması ve sınırlandırılması; son seyreltmeden sonra fidelerin büyümesi hızlanabilir. Daha çok sulama ve gübrenin uygulanması, küçük ve zayıf bitkiler üretebilir. Bu ikinci ve üçüncü sınıf bitkilerin büyümesini hızlandırmak kuvvetli fidelerin az zamanda üretilmesini mümkün kılabilir. Fidelerin büyümesini engellemenin asıl yolu, anten kısımlarının büyümesini doğru bir şekilde kontrol etmektir. Köklerinin gelişmesi hızlanır ve sağlıklı ve kuvvetli genç bitkiler meydana gelir. Fidelerin büyümesini engellemek ilkbahar ekimlerinde çoğu kez uygulanır. Daha çok destek köklerin üretilmesi verimliliğin artmasına sebep olacaktır.

II. Ürün ekiminde yüksek sıcaklıkların olmasından dolayı, tatlı sorgum çok hızlı büyür. Fide dönemi yaklaşık olarak 30 gündür. Bu dönemdeki ekimlerde büyüme ve gelişme süresi kısadır. Bu yüzden, bakım işleri kuvvetli büyümeyi desteklemeyi amaçlamalıdır (Guiying ve ark., 2003).

Çapalama ve boğaz doldurma: Çapalama, topraktaki nemin ve ısının düzenlenmesi ve toprağın gevşetilmesi için çok önemlidir ve bitkinin gelişmesine yardım eder. Genç fide dönemi süresince büyüme yavaştır ve yabancı ot tehlikesi vardır. Çapalamayla yabancı otlar yok edilir, toprağı havalandırır ve bitkilere ulaşan güneş ışığı miktarını artırır. Ayrıca, kök saçakları kesilebilir, sap ve yaprakların aşırı büyümesi kontrol edilir, pek çok adventif köklerin meydana gelmesi uyarılır, köklerin soğurma kapasitesi yükselir, kalın ve koyu yeşil yapraklı kuvvetli bitkiler gelişir. Gecikmiş büyüme dönemi süresince sadece çapalama rol almaz. Bitkinin kök boğazı kısımlarına toprak yığarak da bitki desteklenir. Toprak yığmanın bitkiyi desteklemesi dışında topraktaki su doygunluğunu azaltır, yabancı otları kontrol ederek çevre oluşturur. Genelde çapalama, büyüme ve gelişme dönemi boyunca 2-5 kez uygulanır (Guiying ve ark., 2003).

Gübre uygulaması: Sapa ve şekerin yüksek verimli olması için doğru zamanda serpmeye gübre uygulanmalıdır. Genelde taban gübresi, suda yavaş çözünen organik bir gübredir. Bitki taban gübresini çok yavaş soğurur. Tatlı sorgum, çiçeklenme dönemi süresince çok fazla gübreye ihtiyaç duyar. Gübre uygulaması için kullanılacak gübre türü, bitkinin yeniden besinlere doyması amacıyla (özellikle salkımlanma döneminde) oldukça çabuk etkili olmalıdır.

Gübre uygulaması üç dönemde uygulanabilir (Guiying ve ark., 2003). Bunlar;

1) Son seyreltmeden sonra; zayıf fideler için uygulanan gübreleme diğer kuvvetli fideler için uygulanan gübrelemeden daha fazladır. Gübre olarak, birim alan (ha) başına 38-75 kg üre verilir.

2) Sapa kalkmadan önce ve sonra; genç fidelerin gelişmesini sağlamak amacıyla birim alan (ha) başına 150-225 kg üre verilir.

3) Salkımlanma döneminde; bu dönemde de birim alan (ha) başına 38-75 kg üre verilir.

Gübre uygulaması, sadece sapa kalkma öncesi ya da sonrası birim alana (ha) 150-225 kg üre olarak da uygulanabilir.

Sulama ve drenaj: Büyüme ve gelişme dönemi süresince, bitkinin, toprakta uygun nem olmasına ihtiyacı vardır. Bitki toprakta su göllenmesine dirençli olmasına rağmen, eğer aşırı miktarda nem olur ve yağmur yaysa, bu su, köklerin solunum

yapmasını engelleyebilir. Ayrıca, soğurma kapasitesini azaltacak ve özellikle fide dönemi süresince hastalıklara sebep olacaktır. Büyüme ve gelişme dönemi süresince, aşırı yağın yağmur verimin azalmasına neden olabilir .

Fide dönemi süresince bitki kuraklığa biraz dayanıklıdır. Kökün gelişmesi amacıyla fidelerin büyümesini sınırlamak için, bu safhada sulama uygulanmaz. Ancak toprak nem içeriği yetersizse sulama mecburen yapılır. Sapa kalkma dönemi süresince, tatlı sorgum daha çok suya ihtiyaç duyar. Su yetersizse sürgün ucu farklılaşmasını ve oluşacak çiçek sayısını olumsuz etkileyecektir. Bu durumda boğumlar arası kısa kalacak, bitki bodur olacak ve sap verimi azalacaktır. Bu nedenle bu dönemdeki gübre ve sulama kritik öneme sahiptir. Salkım çıkışı ve çiçeklenme dönemi, tatlı sorgumun su ihtiyacının zirveye ulaştığı dönemdir. Bu dönem süresince, iklim kuru ve su yetersize, genç çiçeklerin gelişmesi etkilenir ve küçük salkımların steril kalmasına neden olur. Dolayısıyla çiçek oluşumu sekteye uğrar. Karınlanma ve süt olum dönemi, su için kritik bir dönemdir. Bu dönemde sulama yapılmazsa salkım verimi ve dane kütlesi düşecektir. Bu süreçte, saptaki şekere dönüşüm hızlanır ve şeker birikimi artar (Guiying ve ark., 2003).

**Hasat:** Hasat dane sorguma kıyasla oldukça farklıdır. Tatlı sorgum hem tanesi hem de sapı için hasat edilir. En iyi hasat zamanı, olgunlaşma dönemi ve ana kullanım amacına bağlı olarak seçilir (Guiying ve ark., 2003).

Yem için hasat: Yem üretim amacıyla yapılan uygun hasat dönemine, farklı dönemlerdeki büyüme oranı ve besin değerine göre karar verilir. Erken hasat yapıldığında, saplar yüksek oranda suya ve asitliğe sahiptir. Buda muhafazayı güçleştirir. Bu durumda, yüksek biyokütle verimine karşın saptaki besinlerin yararlılığı düşük olmaktadır.

Sapta ve yapraklarda hidrojen siyanür (HCN) bulunur. Bundan dolayı, çiftlik hayvanlarının zehirlenmesini önlemek için dikkat edilmelidir. HCN içeriği çeşit ve büyüme dönemi ile ilgilidir. Fide döneminde yüksek ve tohum oluşum döneminde düşüktür.

Yem üretimi için en iyi hasat zamanı, danelerin hamur olum dönemidir. Bazı bölgelerde tohumun rengine göre hasat zamanına (son renginin almış tohumların oranı 1/3'ü olduğu zaman) karar verilir.

Şeker ve etanol dönüşümü için hasat: Bitki, şeker ve alkol üretimi amacıyla ekildiği zaman saplarda maksimum şeker üretimi elde edildiğinde hasat edilir. Bundan dolayı en iyi hasat zamanına şeker verimine göre karar verilecektir.

Sap olgunlaştığında çok şeker içerir ve bu dönem, şeker veya alkol üretimi için hasat yapma dönemi olur. Pek çok bölgede yapılan denemelere göre şeker içeriğinin zirveye ulaştığı dönem çok farklıdır. Saptaki şeker içeriği, doğru hasat zamanına karar vermek amacıyla el tipi refraktometre kullanılır (Guiying ve ark., 2003).

Tatlı sorgum hasadı değişik şekillerde yapılabilir. Bunlardan biri de İran'da geliştirilmiş sap keser tip hasat makinasıdır (Şekil 1.33).



Şekil 1.33. İran'da geliştirilmiş tatlı sorgum hasat makinası (Ghahraei ve ark., 2008)

**Bitki hastalıkları ve zararlıları:** Tatlı sorgum diğer bitkilere kıyasla, hastalık ve zararlılardan daha az etkilenir. Günümüzde ıslah çalışmaları ile değişik hastalık ve zararlılara dirençli çeşitler geliştirilmiştir. Tatlı sorgumun belli başlı hastalıkları aşağıda verilmiştir (Guiying ve ark., 2003).

1) Darı rastığı (*Sphacelotheca sorghi*); tohumları mantar sporları ile doldurup körleştiren bazitli mantardır (Şekil 1.34). Bitki kısa kalır ve nihayetinde salkımlar kararır. Bu hastalık tohumla ve toprakla yayılır.



Şekil 1.34. Darı rastığı

Bu hastalığın kontrolü için genel olarak en azından 3 yıllık ekim nöbeti önerilir. Diğer bir uygulamada, rastığın yayılmasının ana yollarından birinin tohum olmasından dolayı tohumlara az miktarda fungusit uygulamasıdır. Tarlada hastalıklı bitkiler yok edilmeli ve yakılmalıdır.

2) Pas (*Puccinia purpurea*); pas, en önemli yaprak hastalıklarından biridir (Şekil 1.35). Başlangıçta yaprağın her iki yüzeyinde leylak rengi noktalar şeklinde oluşur. Bunu yüzeyde ki kabarcıklar takip eder. Sonunda sağlıklı bitkilere de sporla yayılacaktır. Pas gelişmesine yüksek bitki sıklığı, aşırı azot uygulaması ve kötü drenaj sebep olur. Uygun bitki sıklığı ve pasa toleranslı çeşitler önerilir.



Şekil 1.35. Lezyon ve kabarcık şeklinde oluşan pas

3) Antraknoz (*Colletotrichum graminicola*); Tatlı sorgum, fide döneminden salkımlanıncaya kadar yaprak antraknozuna karşı çok hassastır (Şekil 1.36). Antraknoz, sıklıkla yüksek sıcaklıklarda ve yağmurlu mevsimlerde oluşur. Ortaya çıktığında yaprağın ve kının yapısını bozar. Çoğunlukla tohumla bulaşır. Mücadele için ekim nöbeti önerilir.



Şekil 1.36. Antraknoz

Tatlı sorgumun belli başlı zararlıları aşağıda verilmiştir (Guiying ve ark., 2003);

1) Yaprak bitleri (*Melanaphis sacchari*); yaprak bitleri tatlı sorgumun en önemli zararlısıdır. Yaprak bitleri, yapraklardaki özsuğu emerler ve ürettikleri atıkları yaprak yüzeyine atarlar. Daha sonra bu atıklar yaprak yüzeyinde mantar oluşumuna neden olarak kararmaya sebep olurlar. Yaprak yüzeyinde oluşan siyah kaplama fotosentezi engellemektedir. Salkım çıkışı öncesi yada sonrası yaprak biti salgını salkım gelişimini aksatır, bazı durumlarda verim kaybına sebep olabilir (Şekil 1.37).

Bu zararlı ile mücadelede organik fosforlu preparatlar ile diğer kimyasallarda kullanılabilir.



Yaprak



Salkım



Sap ve yapraklar

Şekil 1.37. Tatlı sorgum bitkisinde yaprak bitlerinin etkisi

2) Sorgum sap kurdu (*Sesamia cretica*); bu zararlı sapın zarar görmesine sebep olur (Şekil 1.38). Tohum ve sıra verimini, bitkide yaşlanmayı hızlandırarak düşürür.



Şekil 1.38. Sorgum sap kurdunun etkileri

3) Kın kurtları (Snouth moth); larvası yaprağın kınına zarar verir. Kontrolü için bromicythrin kullanılabilir. Salkımlanmadan sonra larvalar sapa tırmanır ve sapa zarar verirler. Başaklanmadan sonra da bromicythrin kullanılabilir.

Güve larvaları, danaburnu vb. zararlılarda bazen tatlı sorguma zarar verebilirler ancak zarar genelde ekonomik olmaz.

Yeni alanlara tatlı sorgum ekildiğinde kuş zararı oluşacaktır. Bu konuda da dikkatli olunmalıdır.

## 1.6. Yaşam Döngüsü Değerlendirme

### 1.6.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Tanımı

Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD), bir ürünün çevresel etkilerini değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Buradaki yaşam döngüsü kavramı, bir ürünün beşikten mezara kadar izlenmesini tarif eder. Bu tanımlamadaki beşik terimi, ürünün üretiminde kullanılan hammaddenin çıkarılması ve gerekli olan enerji kullanımını kapsayan sürece yöneliktir. Mezar terimi ise, kullanılan kaynakların geri döndüğü yer ve zaman olarak tanımlanan sürece ilişkindir (Paulsen, 2001).

YDD, bir eylemin tüm çevresel boyutlarını; hammaddenin doğadan eldesinden, tüm atıklar tekrar doğaya dönene kadar değerlendiren bir sistemdir (Şekil 1.39).



Şekil 1.39. Yaşam döngüsü değerlendirme (Anonim, 2011)

Bu değerlendirme, ürünün işlenmesinde olduğu kadar, enerji dahil olmak üzere hammaddenin üretilmesi, kullanılması ve son bertarafı sırasında havaya, suya ve toprağa olan tüm etkileri içerir. YDD'ler hem doğrudan (üretim aşamasında oluşan emisyonlar ve kullanılan enerji v.s.) hem de dolaylı (hammadde eldesi, ürünün dağıtılması, tüketici tarafından kullanılması ve bertarafı v.s.) etkileri belirlemek ve ölçmek için kullanılmaktadır. Örneğin, floresan ve akkor lambaların karşılaştırılmasında, sadece enerji kullanım etkisi ele alınırsa, floresan lamba daha az enerji harcadığı için avantajlı konumda olacaktır. Buna rağmen, kontrol faktörü tehlikeli atık üretimi olduğunda, floresan lamba zehirli civa içerdiği için karşılaştırmayı kaybedecektir. Bu durumda YDD sistemi, tüm çevresel etkilerin dikkate alınmasını sağlamakta ve hangi ürünün kullanılacağına dair karar verme işlemine yardımcı olmaktadır (Bishop, 2000).

Bu alandaki çok önemli çalışma gruplardan biri olan Çevresel Toksikoloji ve Kimya Birliği (SETAC)'nin YDD tanımlamasına göre; YDD, bir ürün, işlem veya etkinlik işlemi ile ilgili çevresel yükleri değerlendirmede objektif bir yöntemdir. Bu yöntem süresince kullanılan enerjinin, materyallerin ve çevreye salınan atıkların miktarlarını belirlemede ve tanımlamada; bunların etkilerini değerlendirmede yardımcı olur. Olumsuz çevresel etkileri düzeltmede fırsatlar sağlar. Değerlendirme ürünün, işlemin veya aktivitenin bütün yaşam döngüsünü içerir. Hammaddenin ortaya çıkarılması, işlenmesi, üretimi, taşınması, dağıtımı, kullanımı, bakımı, yeniden kullanımı ve son bertarafını kapsar (Consoli ve ark., 1993).

Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO), 1990'lı yılların sonunda YDD'yi tanımlamış ve standartlaştırmıştır. Ülkemizde de Türk Standartları Enstitüsü (TSE), YDD ile ilgili ISO standartlarını Türkçe'ye çevirmiştir (Çizelge 1.22).

Çizelge 1.22. YDD'ye ilişkin ISO 14040 ve TSE 14040 Standartları

| ISO 14040                                                                                                                                                                   | TSE 14040                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ISO 14040:2006<br>Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework (ISO, 2006a)                                                                  | TS EN ISO 14040:2007<br>Çevre Yönetimi – Hayat Boyu Değerlendirme – İlkeler ve Çerçeve (TSE, 2007a)   |
| ISO 14044:2006<br>Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines (ISO, 2006b)                                                               | TS EN ISO 14044:2007<br>Çevre Yönetimi – Hayat Boyu Değerlendirme – Gereklere ve Kılavuz (TSE, 2007b) |
| ISO/TR 14047:2003<br>Environmental Management – Life Cycle Assessment – Examples of Application of ISO14042 (ISO, 2003)                                                     |                                                                                                       |
| ISO/TR 14048:2002<br>Environmental Management – Life Cycle Assessment – Data Documentation Format (ISO, 2002)                                                               |                                                                                                       |
| ISO/TR 14049:2000<br>Environmental Management – Life Cycle Assessment – Examples of Application of ISO14041 to Goal and Scope Definition and Inventory Analysis (ISO, 2000) |                                                                                                       |

ISO 14040'a göre, YDD aşağıdaki alanlarda kullanılmaktadır (ISO, 2006a):

- Ø Bir ürünün farklı yaşam döngüsü evrelerinde çevreyle ilişkisini tanımlayarak, bu ürünün geliştirilmesi ve iyileştirilmesinde,
- Ø Kamuda ve özel sektörde, stratejik planlama, öncelik belirleme, ürünlerin tasarımı ve mevcut tasarımların yenilenmesi konularına karar verilmesinde,
- Ø Ölçüm tekniklerini de içerecek şekilde çevresel performans göstergeleriyle ilgili kamu politikası oluşturulmasında ve
- Ø Çevresel bildirgeler ve çevre etiketi gibi pazarlama araçlarının geliştirilmesinde.

### 1.6.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Tarihsel Gelişimi

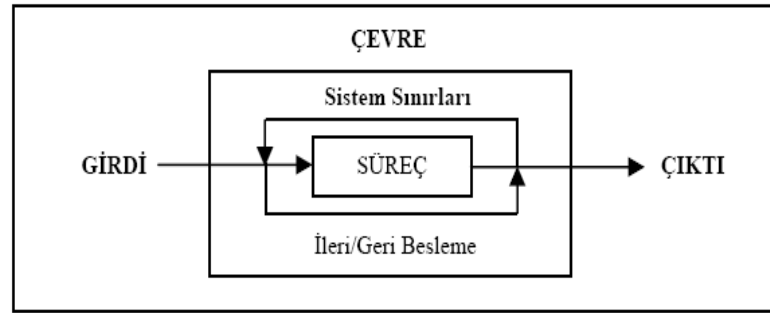
YDD düşüncesi, 1960'lı yılların sonunda ve 1970'li yılların başında enerji ve hammadde kullanımındaki sınırlamaların artmaya başlaması nedeniyle ortaya çıkmıştır. YDD ile ilgili ilk çalışma, 1969 yılında Coca Cola şirketinin destekleriyle ABD'de ki Midwest Araştırma Enstitüsünde Kaynak ve Çevre Profil Analizi (REPAs) isimli projeye gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada farklı içecek kapları karşılaştırılarak, hangisinin çevreye ve doğal kaynaklara daha az zarar verdiğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Aynı yıllarda, Avrupa'da da benzer bir yaklaşımla ekodenge (ecobalance) olarak bilinen kavram geliştirilmiştir. Britanya Krallığı'ndan Ian Boustead, 1972 yılında değişik malzemelerden (cam, plastik, çelik ve alüminyum) tasarımılanan içecek kutularının üretiminde kullanılan toplam enerji miktarlarını hesaplamış ve 1979 yılında da Handbook of Industrial Energy Analysis isimli kitabını yayınlamıştır. Beşikten - mezara terimi de 1980'li yılların sonları ve 1990'lı yılların başlarından itibaren malzemelerin ve ürünlerin değerlendirilmesinde kullanılmaya başlanmıştır. YDD'nin çevresel yönetimde yaygın bir şekilde analiz yöntemi olarak kullanılması gerektiği, 1992 yılındaki Birleşmiş Milletler Dünya Zirve Toplantısında bildirilmiş, 1993 yılında da geniş kapsamlı bir The LCA Sourcebook: A European Guide to Life Cycle Assessment isimli kitap yayınlanmıştır (Jensen ve ark., 1997).

Günümüzde de SETAC, özellikle Avrupa’da, YDD ile ilgili teknik gelişmelerin arttırılmasını sağlamak amacıyla grup çalışmaları ve toplantılar düzenlemektedir. Dünyada YDD ile ilgili yapılan çalışmaları kolaylaştırmaya yönelik veri tabanı oluşturma, mevcut bilgisayar yazılımlarının iyileştirilmesi ve yenilerinin geliştirilmesi gibi çalışmalar devam etmektedir.

YDD, ülkemizde 2000’li yıllardan itibaren üniversitelerde araştırma konusu olarak ele alınmaya başlanmıştır. Günümüzde ülkemizde YDD ile ilgili çalışmalar geniş kapsamlı olarak sanayi-üniversite işbirliğinde gerçekleştirilmektedir.

### 1.6.3. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Uygulanması

YDD yöntemi, sistemler yaklaşımı kapsamında ürünü bir sistem olarak ele almaktadır. Buradaki sistem kavramı ise, organize edilmiş öğelerden oluşan bir ürün olarak tanımlanmaktadır (Churchman, 1979; Gültekin, 2006). Şekil 1.40’da bir sistem modeli verilmiştir (Flood ve Carson, 1993).



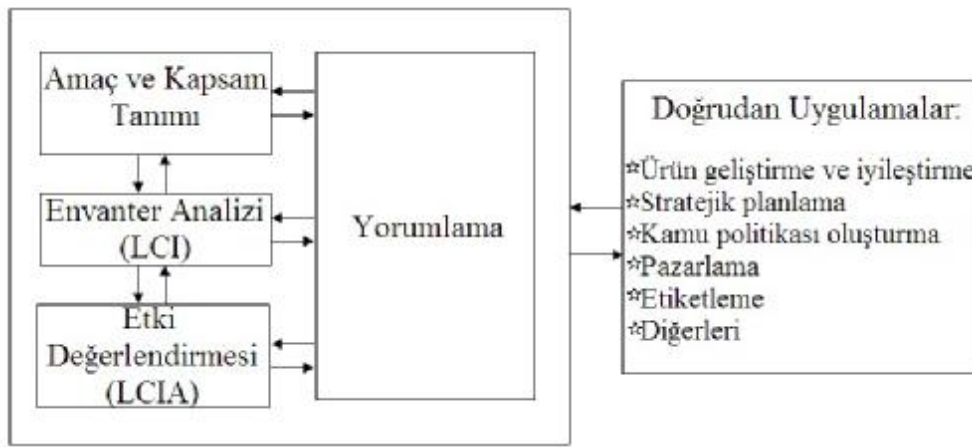
Şekil 1.40. Sistem modeli (Flood ve Carson, 1993)

Şekil 1.40, incelendiğinde bir sistem modeli 5 ana elemandan oluşmaktadır. Bunlar;

- 1) Girdi
- 2) Süreç
- 3) Çıktı
- 4) Çevre
- 5) İleri/geri beslemedir.

YDD yöntemi, ileri/geri beslemeli ve tekrarlanabilir olup, dört temel aşamadan oluşmaktadır (Şekil 1.41) (ISO, 2006a). Bunlar;

- 1) Amaç ve kapsam tanımı
- 2) Yaşam döngüsü envanter analizi
- 3) Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi
- 4) Yaşam döngüsü yorumu



Şekil 1.41. YDD'nin yapısı (ISO, 2006a)

#### 1.6.3.1. Amaç ve Kapsam Tanımı

YDD'nin ilk aşamasıdır. ISO 14040'a göre bu aşamada, çevresel etkileri değerlendirilecek olan ürün sistemi, bu sistemle ilgili kabul edilen varsayımlar, fonksiyonel birim, sistem sınırları, dağıtım yöntemleri ve veri kalite gerekleri tanımlanır. Eleştirel gözden geçirme ve rapor hazırlamayla ilgili kararlar verilir (ISO, 2006a).

YDD'nin ilk bileşeni olan bu aşamada, çalışmanın yapılma nedeninin, sonuçların kullanılacağı alanların ve ilgili tarafların açıkça ortaya konulması gerekmektedir. Örneğin, bir üretici, ürününün küresel ısınma üzerine olan etkisini saptamak üzere, firmanın tasarım aşamasında olan yeni ürünlerinin çevresel performanslarını kıyaslayıcı nitelikte bir YDD çalışması yürütebilir. Bu durumda hedeflenen düşünce, veri gereksinimi ve veri seviyesi (YDD'nin basit veya detaylı olmasına göre değişmektedir) ortaya konulmalıdır. Ayrıca, çalışma sonuçlarının

kurum içi ve dışı uygulamaları arasında da bir ayırım yapılmalı ve bu ayırım hedef aşamasında belirtilmelidir. Çünkü, ISO 14042'ye göre kamuoyuna açıklanacak olan çalışmalarda dikkat edilmesi gereken önemli hususlar bulunmaktadır (Çokaygil ve Banar, 2005).

Kapsam tanımında ise sistem ve sınırları (girdi ve çıktılarıyla birlikte üretim, dağıtım, nakliye, atık bertaraf senaryoları gibi işlem birimleri), veri gereksinimleri ve çalışmada yer alan tahminler belirtilmelidir. Kapsam, çalışmanın hedefini desteklemelidir. Kapsam tanımında bulunurken aynı zamanda sistemin fonksiyonu, fonksiyonel birim, tahsisat yöntemleri, kullanılacak etki değerlendirme yöntemi, veri kalitesi gereksinimleri (tarih, coğrafya, teknoloji vb.) de verilmelidir. Genellikle YDD yönteminin en basit bölümü olarak görülen amaç ve kapsam tanımı, aksine, bir YDD çalışmasının yapısını oluşturan en önemli bölümdür (Çokaygil ve Banar, 2005).

ISO 14049'a göre amaç ve kapsam tanımı içerisinde aşağıdaki tanımlamalarda yapılmaktadır (ISO, 2000);

Fonksiyonel birim: Bir YDD çalışmasında ürünün/sistemin çevresel yüklerinin belirlenmesi, ürünler arasında karşılaştırma yapılabilmesi için öncelikle fonksiyonel birimin tanımlanması gereklidir. Biyoyakıtların karşılaştırması için yapılan bir YDD çalışmasında, sıvı biyoyakıtlar için aynı hacim (örn: 1 l), katı biyoyakıtlar için ise aynı kütle (örn: 1 kg) fonksiyonel birime örnek olarak verilebilir.

Referans akış: Fonksiyonel birim başına, sistemde kullanılan girdiler ve sistemden çıkan çıktılarıdır (örn: fonksiyonel birim biyoyakıt üretimi için 1 ha olursa referans akışlar 5500 g N/1 ha biyoyakıt ve 255 g CO<sub>2</sub>/1 ha biyoyakıttır).

İşlem enerjisi: Üretimde kullanılan enerjinin kökenini kapsamayan, sadece kendi tüketim değeridir. Örneğin, biyoyakıt üretiminde kullanılan elektrik enerjisi, işlem enerjisi tanımına girmekte fakat, enerjinin elde edilmesinde kullanılan sistemin (termik santral, hidroelektrik santral veya kojenerasyon sistemleri) dayandığı kaynak (kömür, su, doğal gaz, vb.) bu tanım dışında bırakılmaktadır.

Birim işlem: Bir ürünün/sistemin yaşam döngüsünde yer alan, kendine ait girdi ve çıktıları olan aşamaların her birini temsil eder. Bir ürün/sistemin sistem

sınırlarını, birim işlemler tanımlar. Biyoyakıt üretiminde hammadde olarak kullanılan tohum, gübre, yakıt ve ilaç üretimde yer alan birim işlemlere, taşıma ve atık senaryosu da yaşam döngüsünde yer alan birim işlemlere örnek olarak verilebilir.

Tahsisat yöntemleri: Çevresel yüklerin dağılımını ifade eder. Örneğin, eğer tek bir ürün üreten bir imalat işlemi ele alınırsa, tüm çevresel etkiler bu üründen kaynaklanacağından, burada herhangi bir ayırma kriteri olmayacaktır. Fakat, çoğu imalat sektöründe olduğu gibi, aynı tesiste birden fazla ürün çıkmakta dolayısıyla, bu farklı ürünlere göre çevresel yüklerin dağıtılması için bir ayırma kriterine ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin, bir cam şişe fabrikasında bir günde, aynı işlemde farklı boyutlarda şişeler (1 L, 500 mL, 250 mL) üretilebilir. Bu durumda ayırma kriteri, şişe sayısı değil, hacim olacak ve şişe türlerinin çevresel yükleri bu hacimlere göre paylaştırılacaktır. Fakat, bu işlem hata getirebileceği için sistem sınırları genişletilerek mümkün olduğunca ayırmadan kaçınılmalıdır. Bu genişletme işlemi ise, işlemde çıkan her bir ayrı ürün için ayrı verilerin toplanması ve bunun da kapsam tanımında belirtilmesiyle yapılabilir.

Veri kalitesi gerekleri: Oldukça önemlidir. Çünkü bir YDD çalışması için veri çok önemli bir kaynaktır ve kullanılan veri, sonuçları doğrudan etkilediği için veri seçimine dikkat edilmesi gerekir. Örneğin; veri toplamaya başlamadan önce verinin geçerliliği açısından kapsadığı yıllar, temsil ettiği coğrafya (coğrafya teknolojiyi de temsil eder), temsil ettiği teknoloji (son teknoloji veya orta ölçekli teknoloji gibi), verinin temsil ettiği üretim grubu (aynı ürünü üreten tesislerin ortak verisi veya tek bir tesise ait spesifik veri gibi) ve ayırma (tahsisat) yöntemleri gibi veri kalitesini belirleyen unsurlar saptanmalıdır.

Çalışmanın envanter analizi bölümünü oluşturabilmek için en kaliteli verinin toplanması gerekir. Fakat veri toplamak oldukça zahmetli ve çalışmada da en çok zaman alan kısımdır. İstenilen veriye her zaman gerçek uygulamalardan ulaşılamayabilir. Bu durumda veri kalitesi gereksinimleri kullanılarak literatürden, daha önce yapılan çalışmalardan, yazılımların veri tabanlarından, ticari olarak bulunan envanter bankalarından yararlanılabilir. Veriler kullanılırken, veri kalitesi

göstergelerine de dikkat edilmelidir (Çokaygil ve Banar, 2005). Veri kalitesi göstergeleri toplanan verinin;

Ø Kesinlik: Aynı ürüne ait fakat, farklı tesislerden toplanan verinin değişkenliğinin ölçülmesi, örn: varyans gibi istatistiksel çalışmalar,

Ø Bütünlük: Bir veriyi rapor etmesi düşünülen yerlerden, veriyi rapor eden yerlerin yüzdesinin istenmesi, örn: aynı ürünü üreten ve veri alınabileceği düşünülen 20 tesis saptanmışsa ve bu 20 tesisin sadece 10 tanesi veriyi sağlamışsa bu verinin bütünlüğü % 50'dir,

Ø Temsil edilebilirlik: Toplanan verilerin, başlangıçta öngörülen veri kalite gereksinimlerine ne derece uyduğunun belirlenmesi, örn: bir YDD yazılımında veri kalitesi gereksinimlerine önem derecelerine göre puan verilmekte, bu puanlar ışığında program veri bankasında bulunan veriler, temsil etmeme durumundan, en iyi temsil etme durumuna kadar kırmızı-yeşil arasında renklendirilmektedir,

Ø Uygunluk/tutarlılık: Yöntemin, çalışmanın tüm aşamalarına ne derece uygulandığının değerlendirilmesi, örn: bazı YDD çalışmaları basit, bazı YDD çalışmaları detaylı olmakta, detay seviyesine göre de standartlarda belirtilen bazı noktalar göz ardı edilebilmektedir. Böyle durumlarda standartlarla uyum/tutarlılık belirtilmelidir ve

Ø Tekrarlanabilirlik: Yöntemde yer alan, bağımsız bir uygulayıcının çalışma sonuçlarını tekrar bulmasına olanak veren bilgi ve verilerin genişliğinin bir ölçütüdür.

İlk iki gösterge nicel, diğerleri ise nitel ifadelerden oluşmaktadır. ISO 14049'da bu veri kalitesi göstergelerine dair *“Bir çalışmanın halka kapalı karşılaştırmalı bir açıklayıcı çalışmayı desteklemek için kullanıldığı durumda, bu maddede belirtilen bütün veri özellikleri çalışmaya dahil edilecektir.”* şeklinde bir ifade yer almaktadır. Fakat ISO 14049 standardını esas alan diğer kaynaklara bakıldığında, bu ifadenin halka kapalı değil halka açık karşılaştırmalar için geçerli olduğu görülmektedir (Çokaygil ve Banar, 2005).

Kritik gözden geçirme: Çalışmanın hedefine göre içsel (kurum içi denetimlerle) veya dışsal olarak (standartları oluşturan kurumlar) konunun uzmanları tarafından yapılmalıdır. Bu işlemin amacı, çalışmanın standartlara göre yapılıp

yapılmadığını tespit edilmesi, bilimsel ve teknik kalitesinin belirlenmesi, hedef, veri toplama ve çalışma sonuçlarının incelenmesidir.

Rapor hazırlama: YDD çalışmasının sonuçlarının çalışmayı yapan kuruluş dışında bir kuruluşa, ilgili taraflara veya kamuoyuna sunulması gerekebilir. ISO 14040'a göre bu durumda, çalışmanın sonuçlarını içeren şeffaf bir rapor hazırlanmalıdır. Bu gerekliliğin, çalışmanın amaç ve kapsamlarda belirtilmesi gerekir.

#### 1.6.3.2. Yaşam Döngüsü Envanter Analizi

Bir ürün sistemindeki girdi ve çıktılarla ilgili veri toplama ve hesaplama yöntemlerinin oluşturulmasını ve sistem sınırlarının kesinleştirilmesini kapsar (ISO, 2006a).

Bu safhada, veri toplamak için hazırlanma (veri toplama formlarının oluşturulması), veri toplama işlemi (kayıtların tutulması, gizlilik ilkelerine uyulması, ayırma (tahsisat) gibi), hesaplama yöntemleri (basit YDD'ler için elle yapılabilir fakat yanlışlıklardan kaçınmak için detaylı YDD'lerde bu amaçla geliştirilmiş yazılımların kullanılmasında yarar vardır), toplanan verilerin fonksiyonel birimle ilişkilendirilerek referans akışların oluşturulması üzerinde durulmaktadır (Çokaygil ve Banar, 2005).

YDD yöntemi ileri/geri beslemeli olduğu için, veri toplamada bir sorun çıktığında veya yeni veri toplama yöntemi geliştirmek gerektiğinde, yaşam döngüsü envanter analizi aşamasına göre, yeniden YDD yönteminin amaç ve kapsam tanımları değiştirilebilir.

ISO 14049'a göre yaşam döngüsü envanter analizi içerisinde aşağıdaki tanımlamada yapılmaktadır (ISO, 2000);

Veri kategorileri/sınıfları: YDD'nin tanımına uygun olarak toplanması gereken, hammadde, enerji, yan ürün, nakliye ve çevresel emisyonlara ait bilgilerdir. Bu bilgileri toplarken bu sınıflara göre veri toplama/değerlendirme formlarının hazırlanması oldukça yararlı olmaktadır.

### 1.6.3.3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi

Yaşam döngüsü envanter analizinden elde edilen sonuçlara göre, ürünlerin çevresel etkilerinin değerlendirildiği aşamadır (Udu de Haes ve Joliet, 1999). ISO 14040 ve ISO 14047'ye göre bu aşamada, zorunlu ve zorunlu olmayan elemanlar tanımlanmalı ve eleman akışları oluşturulmalıdır (ISO, 2003; ISO, 2006a).

Zorunlu elemanlar, etki kategorilerinin seçimini, kategori göstergelerinin saptanmasını ve tanımlama modellerinin oluşturulmasını kapsamaktadır. YDD, bir ürünün üretiminden atık durumuna gelinceye kadar geçen sürede çevresel etkilerini belirlemek için yapılır. Bu bağlamda, çevresel etkileri değerlendirmek için, öncelikle çevresel etkilerin kategorilendirilmesi gerekir. Çevresel etkilere ilişkin küresel ölçekte kabul edilmiş kategoriler henüz oluşturulamamıştır. Dolayısıyla, etki kategorileri çeşitli ülkelerde farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır (Gültekin, 2006).

ISO 14047'ye göre, girdiyle ilişkili 2 adet, çıktıyla ilişkili de 6 adet kategori tanımlanmaktadır. Bunlardan girdi ilişkili kategoriler; abiyotik kaynakların ve biyotik kaynakların azalmasıdır. Çıktılarla ilişkili kategoriler ise; iklim değişikliği, stratosferik ozon azalması, asitleşme, fosfat kirlenmesi, insan zehirlenmesi ve çevreyle ilgili zehirlenmedir (ISO, 2003).

ISO 14040'a göre çevresel etki kategorileri, kategori göstergelerine ve her bir kategori göstergesi de, kategori uç noktalarına dönüştürülebilir. Kategori göstergeleri, etki kategorilerinin sonuçlarını; kategori uç noktaları ise korunmaya alınması gereken alanları belirtir (Çizelge 1.23) (ISO, 2006a).

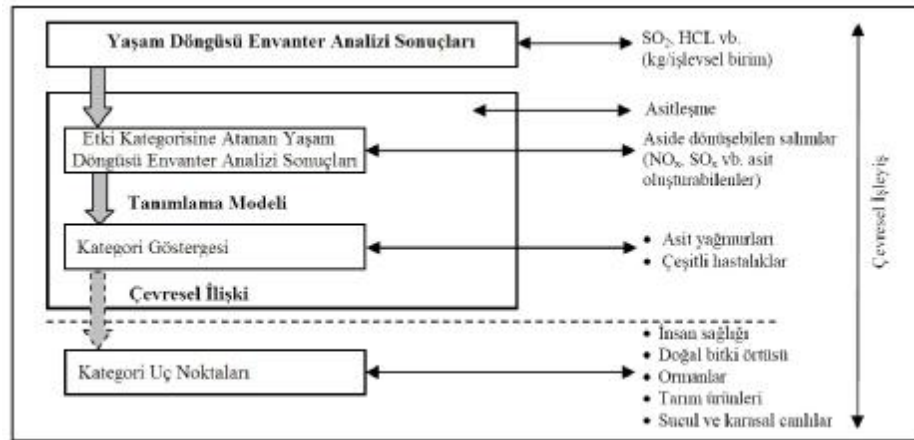
Çizelge 1.23'de belirtilen etki kategorileri, oluşturulacak bir model kapsamında tanımlanabilir. Daha sonraki aşamada, tanımlanan etki kategorisi hesaplanarak, kategori göstergelerine dönüştürülebilir. Bu dönüştürme için yeni hesaplama yöntemleri oluşturulabilir. Bu amaçla, mevcut hesaplama yöntemleri veya yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin zorunlu olmayan elemanları kullanılabilir (Gültekin, 2006).

Çizelge 1.23. Etki kategorilerinin olası kategori göstergeleri ve kategori uç noktaları (Gültekin, 2006)

| ETKİ KATEGORİSİ<br>(ORTA NOKTA) | KATEGORİ GÖSTERGESİ                                                                                               | KATEGORİ UÇ NOKTASI<br>(SON NOKTA)                                                                            |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| İklim Değişikliği               | Küresel ısınma, çölleşme, çeşitli hastalıklar                                                                     | İnsan sağlığı, mercan kayaları, doğal bitki örtüsü, ormanlar, tarım ürünleri, suda ve karada yaşayan canlılar |
| Stratosferdeki Ozon Azalması    | Ozon tabakasının delinmesi, çeşitli hastalıklar                                                                   | İnsan sağlığı, doğal bitki örtüsü, ormanlar, tarım ürünleri, insan cildi, suda ve karada yaşayan canlılar     |
| Asitleşme                       | Asit yağmurları, çeşitli hastalıklar                                                                              | İnsan sağlığı, doğal bitki örtüsü, ormanlar, tarım ürünleri, suda ve karada yaşayan canlılar, yapılar         |
| Ötrofikasyon*                   | Sulardaki oksijenin azalması                                                                                      | İnsan sağlığı, suda yaşayan canlılar                                                                          |
| İnsan Zehirlenmesi              | Zihinsel bozukluklar, kanser, sarılık, siroz, astım, alerji, böbrek yetmezliği, kemik deformasyonu, kemik erimesi | İnsan sağlığı                                                                                                 |
| Çevreyle İlgili Zehirlenme      | Bitki ve hayvan türlerinin tükenmesi                                                                              | İnsan sağlığı, mercan kayaları, doğal bitki örtüsü, ormanlar, tarım ürünleri, suda ve karada yaşayan canlılar |
| Kaynak Azalması                 | Kuraklık, çölleşme, bitki ve hayvan türlerinin tükenmesi                                                          | İnsan sağlığı, mercan kayaları, doğal bitki örtüsü, ormanlar, tarım ürünleri, suda ve karada yaşayan canlılar |
| Fotokimyasal Oksit Oluşumu      | Sis, çeşitli hastalıklar, bitki türlerinin tükenmesi                                                              | İnsan sağlığı, doğal bitki örtüsü, ormanlar, tarım ürünleri                                                   |
| Kirlilik (Hava, Su, Toprak)     | Bitki ve hayvan türlerinin tükenmesi, çölleşme, çeşitli hastalıklar                                               | İnsan sağlığı, doğal bitki örtüsü, ormanlar, tarım ürünleri, suda ve karada yaşayan canlılar                  |
| Biyoçeşitliliğin Zarar Görmesi  | Bitki ve hayvan türlerinin tükenmesi                                                                              | İnsan sağlığı, doğal bitki örtüsü, ormanlar, tarım ürünleri, suda ve karada yaşayan canlılar                  |

\* Göl gibi herhangi bir büyük su ekosisteminde, öncelikle karalardan gelenler olmak üzere, çeşitli nedenlerle besin maddelerinin büyük oranda çoğalması sonucunda bitki varlığının aşırı şekilde artması olayıdır. Bu durum, sudaki çözölmüş oksijen miktarını azaltarak uzun vadede su ekosisteminin ölümüne neden olabilir.

Etki kategorilerinin seçimini, kategori göstergelerinin saptanmasını ve tanımlama modellerinin oluşturulmasını kapsayan zorunlu elemanların akışı ISO 14040'a ve ISO/TR 14047'ye göre Şekil 1.42'de şematik olarak ifade edilmekte ve asitleşme etki kategorisiyle örneklenmektedir (Gültekin, 2006).



Şekil 1.42. Yaşam döngüsü etki değerlendirme aşamasında zorunlu elemanlar ve asitleşme örneği (Gültekin, 2006)

Yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin sonuçlarını ayrıntılı olarak sunmak için zorunlu olmayan elemanlar kullanılabilir. Bu elemanlar, normalleştirme, gruplandırma ve ağırlıklandırmayı kapsamaktadır. Normalleştirme, kategori gösterge sonuçlarının büyüklüklerinin hesaplanmasında; gruplandırma, etki kategorilerinin niteliklerine göre sınıflandırılması veya derecelendirilmesinde; ağırlıklandırma ise değer ölçütlerine dayanan sayısal katsayılar kullanılarak etki kategorilerinin sonuçlarının tek boyutlu bir değere dönüştürülmesinde kullanılır (Gültekin, 2006).

ISO/TR 14047'ye göre halka açık ürün karşılaştırmalarını içeren bir çalışma ağırlıklandırma (önem belirleme) unsurunu içermemelidir. Bu unsur, sadece kurum içinde strateji belirleme açısından kullanılmalıdır (Çokaygil ve Banar, 2005).

ISO/TR 14047'ye göre yaşam döngüsü etki değerlendirme içerisinde aşağıdaki tanımlamada yapılmaktadır (ISO, 2003);

Nitelendirme faktörü: Çevresel yüklerin etki kategorilerine katkılarının hesaplanmasında kullanılır ve maddelere göre nitelendirme faktörlerinin oluşturulduğu tablolar bulunur. Örneğin, metanın ( $\text{CH}_4$ ) küresel ısınma için nitelendirme faktörü 56 g  $\text{CO}_2$ -eş/g metan'dır. Yapılan emisyon ölçümü sonucu, bir üründen 30 g metan çıktığı görülmüşse, bu miktarın nitelendirme faktörüyle çarpımı 1680 g  $\text{CO}_2$ -eş olup, bu değer, bu ürünün üretiminden kaynaklanan metanın küresel ısınmaya olan katkısını göstermektedir (Sonneman ve ark., 2004). Bu şekilde açığa çıkan tüm etkiler hesaplanır ve aynı kategoriyi temsil edenler toplanır. Hesaplamalar ticari olarak bulunan bilgisayar yazılımları ile yapılabilir. Hesaplamalar için de farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden, sonuçların açıklanmasında en uygun olan seçilir. Nitelendirme ve sınıflandırma bir etki analizinde bulunması gereken unsurlardır (Çokaygil ve Banar, 2005).

#### 1.6.3.4. Yaşam Döngüsü Yorumu

YDD'nin amaç ve kapsamına göre yapılır. Yaşam döngüsü yorumunun amacı, çalışmadaki kısıtları açıklamak, yaşam döngüsü envanter analizi ve yaşam döngüsü etki değerlendirme bulgularına dayalı sonuçları çözümlemek, ulaşılan sonuçlar ve önerileri şeffaf bir rapor haline getirerek çalışmanın anlaşılabilirliğini

sağlamaktır. ISO 14040'a göre yaşam döngüsü yorumu, konuların tanıtımını, değerlendirmesini, eleştirel gözden geçirmeyi ve rapor hazırlanmasını kapsar (ISO, 2006a).

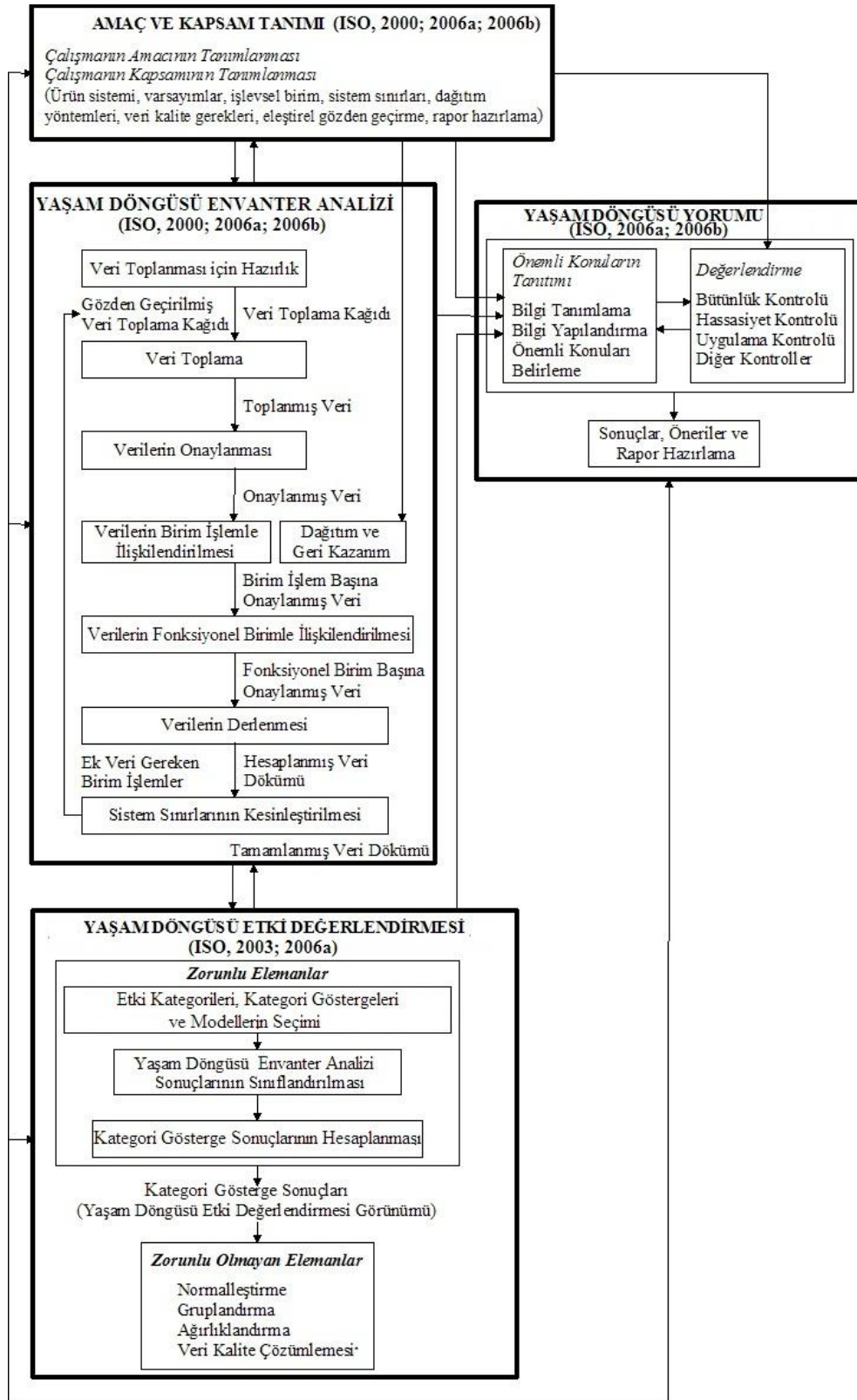
Yaşam döngüsü yorumunun amacı; etki değerlendirmesinde bulunan sonuçların, bütünlük, hassasiyet ve uygunluk açısından kontrolünün yapılmasında, yorumlanmasında, bu sonuçlara dayalı önerilerin sunulmasında ve raporun hazırlanmasında uyulması gerekli hususları açıklamaktır. Bütünlük kontrolünde, gerekli tüm verilerin elde edildiği ve kullanıldığına, hassasiyet analizinde tahminlerdeki, metottaki ve verideki değişkenliğin sonuçları nasıl etkilediğine, uygunluk kontrolünde ise veri eldesinin, modellerin, tahminlerin ve metodun yaşam döngüsü boyunca veya farklı ürünlerin yaşam döngüleri boyunca uygulanıp uygulanmadığına dair kontroller yapılmaktadır (Çokaygil ve Banar, 2005).

YDD yönteminin aşamaları ayrıntılı bir şekilde ISO 14040 Standartları kapsamında Şekil 1.43'te özetlenmiştir (Gültekin, 2006).

#### 1.6.4. Tarımsal Yaşam Döngüsü Değerlendirme

İnsan aktiviteleri içerisinde yer alan tarım, insanın besin ihtiyacı gibi temel ihtiyaçlarının karşılanması ile ilişkilidir. Tarımsal aktiviteler insan ihtiyaçlarının karşılanmasının dışında birkaç çevresel probleme de sebep olurlar. Bu çevresel problemler genel olarak aşağıdaki kategorilerde gruplandırılabilirler (Canals, 2003):

- ü Enerji tüketimi ile ilgili etkiler (küresel ısınma, asit yağmuru, kaynak azaltımı, vb.),
- ü Yüzey ve yer altı sularında kirlilik (nitratlar, pestisitler, vb.),
- ü Zirai kimyasal kullanımı ile ilgili birincil zehirlilik etkileri,
- ü Toprak kalitesinde azalma (çoraklaşma, kirlilik, erozyon, vb.),
- ü Su kaynaklarının tükenmesi ve
- ü İşlenmiş arazide biyolojik çeşitliğin azalmasıdır.



\* Karşılaştırmalı yaşam döngüsü analizi çalışmalarında zorunludur (ISO, 2006a)

Şekil 1.43. YDD yönteminin çerçevesi (Gültekin, 2006)

Endüstriyel ve tarımsal sistemler arasındaki karakteristik farklılıklar, Çizelge 1.24’de özetlenmiştir.

Çizelge 1.24. Endüstriyel ve Tarımsal Sistemlerin Ana Karakteristikleri (Canals, 2003)

| Karakteristik           | Endüstriyel Sistemler                                                                                 | Tarımsal Sistemler                                                                                                |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yerden bağımlılık       | Son derece bağımsızdır. (doğal sınırlar hariç; hammaddelerin ekstraksiyonu ve atıkların yok edilmesi) | Son derece bağımlıdır. (enerjinin ve yapının maliyetinde bağımsızlığının bazı aşamaları ileri gidebilir: seralar) |
| Sistem sınırları        | Açıkça tanımlanır.                                                                                    | Fiziksel ve geçici olarak her ikisinde de bulanıktır.                                                             |
| Etkilerinin ana kaynağı | Enerji ve malzemelerin tüketimi                                                                       | Toprak kullanımı, enerji ve malzeme tüketimi ve toprak emisyonları                                                |
| Bilginin derecesi       | Yüksektir (basit ve önceden tasarımılanan işlemlerdir).                                               | Nispeten düşüktür (karışık, doğal süreçler).                                                                      |
| Fonksiyonelliği         | Bir veya birkaç fonksiyonludur.                                                                       | Çoklu fonksiyonludur.                                                                                             |

Tarımsal YDD’deki başlıca metodolojik problemler, ağırlıklı olarak Çizelge 1.24’de özetlenen endüstriyel ve tarımsal sistemler arasındaki farklılıklar nedeniyle ortaya çıkar. Bu metodolojik problemler (Canals, 2003):

▼ Bir fonksiyonel birimin tanımlanması: Tarımsal sistemler doğal olarak çoklu fonksiyonel yapıdadır ve bir fonksiyonel birimin tanımlanması, basit bir işlem değildir. Üstelik tarımsal ürünler; kütle, enerji, besin içeriği, et porsiyonu, vb. özelliklerle karakterize edilebilirler. Fonksiyonel bir birimin tanımını açıklamak karmaşıktır ve genellikle olaya bağımlı bir süreçtir.

▼ Sistem sınırları (geçici ve fiziksel limitler): Tarımsal sistemlerde sistem sınırları eğreti tanımlanmıştır. YDD, “beşikten mezara analiz” olarak anılmasına rağmen pek çok tarımsal YDD’de bu safha çoğu kez önemsemez (örneğin, gıdaların tüketilmesi) (Cowell ve Clift, 1997; Haas ve ark., 2000). Cowel ve Clift (1997), bu dışlamanın çevresel yenilikler için fırsatları belirlemeye yardımcı olacağını iddia etmişlerdir. Yardımcılar, YDD sonuçlarına anlamlı bir katkıda bulunmazlarsa endüstriyel sistemlerin sınırlarına genellikle dahil olmazlar. Eğer katkıda bulunurlarsa, yardımcılar, endüstriyel sistemler tarafından oldukça etkili bir yol olarak kullanılırlar (örneğin, eskimeye başlamadan önce ürünlerin önemli bir miktarı bir fabrikada üretilir, ürünlerin çoğu bir kamyonla taşınır, vb.). Diğer taraftan, Cowel

ve Clift (1997) tarımda bir yardımcının daha az belirgin olarak hesaba katılabileceğinin üzerinde durmuşlardır. Makine ve çiftlik altyapısı çoğu kez endüstriyel sistemlere göre daha az etkili kullanılır. Bu nedenle ürünün tahsisatı fonksiyonel birim için genellikle önemlidir. Bundan başka, toprağın da bir yardımcı olarak dikkate alınması gerektiğini ifade etmişlerdir. Çünkü, onun niceliği ve niteliği tarımsal uygulamalardan etkilenir ve sistemin gelecek üretkenliğinde hayati bir rol oynar. O halde, toprak kalite indeksi, yaşam döngüsü etki değerlendirmesinde toprak niteliğini kapsaması amacıyla geliştirilmelidir. Cowel (1998), zaman sınırlarını sorgulamıştır ve geçmişte gerçek verimliliği etkileyen analizlerin de dahil olmasını önermiştir. Bu aktivitelere örnekler; gübre kullanımı, çit yapılar, bakım, vb.'dir. Bu nedenle, sistem çalışması bunlarla ilgili tüm aktiviteleri kapsamalıdır.

▼ Tahsisat: YDD'nin envanter safhasında tahsisat problemleri de ortaya çıkmaktadır. Üstelik, tüm ürün rotasyonuna analizde dahil olduğu zaman çevresel yüklerin paylaşılması gerekmektedir. Tahsisat problemlerinin çözümünde kullanılabilecek çeşitli yöntemler vardır. Fakat, bu durum genellikle YDD'nin diğer safhalarını (örn., etki değerlendirme safhası) etkilerler. Mesela, Cowel (1998) uygun bir etki göstergesinin geliştirilmesinin gerekliliğine rağmen bitkilerde tahsisat problemini fazlasıyla azaltmak için yaşam döngüsü etki değerlendirmesine toprak nitelik ve niceliğinin dahil olmasını önermiştir. Bundan başka, karbon çevrimi de tarımsal sistemlerde tahsisat problemini arttırır. Bitkiler vasıtasıyla karbon bağlanması, bazı araştırmacılar tarafından CO<sub>2</sub>'in negatif bir emisyonu olarak dikkate alınmışken, organik madde bozulduğu zaman, genellikle kısa bir dönemde CO<sub>2</sub> uzaklaştığı için diğerleri bu emisyonu önemsememişlerdir.

▼ Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi: Tarımsal YDD literatüründe esas söz konusu olan bir safhadır. Kaynak tüketimi ile ilgili ve kısmen de toprak kullanımı durumunda etki kategorilerinin geliştirilmesi gereklidir. Cowel ve Clift (1997)'e göre tarımsal toprak kullanımını hesaba katmak zorunluluğu ile ilgili 3 durum vardır. Bunlar; toprağın gerçek veya potansiyel verimliliği, biyoçeşitliliğe etkiler ve manzaranın estetik değeridir. Birçok farklı araştırmacı, tarımsal yaşam döngüsü etki değerlendirmesinde ki bu durumların kritik önemini vurgulamışlardır (Matsson ve ark., 1998; Haas ve ark., 2000). Bu sorunlar, kaynaklardan bahseden

yaşam döngüsü etki değerlendirme kategorilerinde SETAC iş grubunun çalışmalarında ayrıntılı bir şekilde çözümlenmiştir (Lindeijer ve ark., 2002). Biyoçeşitliliğin zararı, daha çok toprak kullanımı ile ilgili etkilerdir. Cowell (1998) doktora tezinde bir etki kategorisi olarak biyoçeşitliliğin zararını belirleyen bir yöntemi ve çeşitli toprak kullanım şeklini ele alan birçok yöntemi de önermiştir. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi içinde yer alan biyoçeşitliliğin değerlendirilmesi ile ilgili literatürde pek çok araştırma bulunabilir. Aynı zamanda toprak niteliği ve kapsamlı toprak niteliği göstergeleri, toprağın potansiyel verimliliğinde olan etkilerini değerlendirmek amacıyla araştırılmaktadır. Bu konuyla ilgili literatürde pek çok makale bulunabilir. Son olarak, toplumun subjektif değerleri, manzarının estetik değerini düşürür. Bu nedenle, çevresel YDD'ye dahil olur ve model için sıkı bir sorundur. Yinede, bu durumun uygulanmasının bazı örnekleri literatürde bulunabilir (Matsson ve ark., 1998; Haas ve ark., 2000).

▼ Yer-bağımlılığı: YDD'nin yer-bağımlılığına ihtiyacının olup olmaması tartışılan diğer bir sorundur. Bu sorun, çok taraflıdır ve tartışıldığında farklı araştırmacılar birbirinden farklı öneriler de bulunmuşlardır. İlk başta, YDD, veri elde edilebildiğinden ve değerlendirmenin doğal olmasından dolayı çevre değerlendirmelerde yerden bağımsız olarak tasarılanmıştır. Gerçekten, endüstriyel sistemlerde sadece teknoloji tipinin belirlenmesi için YDD'ye ihtiyaç duyulmaktadır. Endüstriyel sistemlerde, diğerlerine nazaran yerden bağımsızlığın yüksek derecesinden dolayı yer-bağımsızlığı analizi savunulur. Yinede, YDD'nin bazı uygulamaları ve özellikle tarım gibi bazı sektörler için bu doğru değildir. Wenzel (1998), YDD sonuçlarını (uygulamalar) temel alarak oluşturulan belirleyici modelle bağlantılı olarak yer-bağımlılığı sorununu tartışmıştır. Ona göre, yer-bağımlılığını belirlemek için üç ana değişkene ihtiyaç vardır. Bunlar; belirleyicinin çevresel sonuçlarının boyutu ve doğallığı, sosyal-ekonomik sonuçlar ve belirleyicinin içeriğidir. Bu değişkenler, YDD'nin amaç-kapsam, envanter analizi ve etki değerlendirme safhalarını etkiler. Wenzel (1998), özellikle üretim teknolojilerini değerlendirmede satış ve pazar arasında ki alternatifi seçmek için YDD uygulamalarının yer-bağımlılığına gereksinimi olduğu sonucuna ulaşmıştır. Bu önerisine karşı olanlar, YDD'nin toplumsal aktiviteleri planlamada ve kanun

yapmada, ürün geliştirmede ve ekonomik etiketleme ölçütünü ayarlama da yer-bağımlılığına ihtiyaç olmadığını savunmuşlardır. Diğ er araştırıcılar uygulamalarının sonuçlarını dikkate almadan yer-bağımlılığına bazı etki kategorilerinde (özellikle bölgesel veya yerel seviyelerde ki etkiler) ihtiyaç olacağını belirtmişlerdir. Örneğ in, Ross ve Evans (2002), YDD sonuçlarının güvenilirlik ve kullanılış lık seviyelerini azaltıcı politikalar geliştirmede maddi ve uzaysal yer-bağımlılığ ı hariç bilginin karar vermeyi desteklediğ ini iddia etmişlerdir. Thiel ve ark. (1999), yaşam döngüsü etki değ erlendirmede yerel ve bölgesel etkilerden yararlanmak amacı ile çoklu alet yaklaşımını önermişlerdir. Çevresel hata modellerini oluşturmak, çevresel etki değ erlendirmesi yapmak ve yaşam döngüsü envanterini çıkarmak için bulanık mantık sistemlerinden faydalanmışlardır. Krewitt ve ark. (2001), çeşitli yerel ve bölgesel etki kategorilerinde (insan sağılığ ı, asitleşme, ötrofikasyon ve insandan türetilmiş çevre) etkiler için SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, partikül maddeler ve NMVOC'a ait karakterizasyon faktörleri türetmişlerdir. Araştırıcılar, zarar veren faktörlerde önemli bir varyasyon olması durumunda değ erlendirme sonuçlarının yer-bağımlılığ ı verisi içermesi sonucuna varmışlardır. SETAC yaşam döngüsü etki değ erlendirme iş grubu (Udu de Haes ve ark., 2002), etki kategorilerinden yararlanarak genel uygulama bağımlılığ ı modelini geliştirmiştir. Bu modele göre, uygulama gerektirdiğ inde yer-bağımlılığ ı verilerinden yararlanılır, fakat genelde yerden bağımsız bilgilerinden faydalanılır. Tarımsal sektörde ise tarımsal sistemlerle ilgili çevresel sonuçlar hem teknolojiye hem de tarımsal üretimin yapıldığı yere bağımlıdır. Audsley ve ark., (1997), envanter verisinin yerel şartlara çok bağı olduğ unu belirtmişlerdir. Cowell ve Clift (1998), YDD sonuçlarını oldukça etkileyen yer-bağımlılığ ı görüşünü savunmuşlardır. Olsson (1999), LCAnet Food projesinde, öncelikli olarak tarımsal YDD sonuçları üzerinde coğ rafik varyasyonların rolünü tanımlamış tir. Fakat proje süresince bu düş üncesini tatmin edici bir şekilde açıklayamamış tir. Bu etkiler, envanter sonuçlarından (örn., toprak ve iklim gibi yer karakteristiklerinden etkilenen farklı konumlarda madde çıkarmada) veya etki değ erlendirme sonuçlarından (örn., toprak kullanım etkileri, zehirlilik, vb. yerel etkilerin sonucu) türetilmiş olmalıdır. Sonuçta yer-bağımlılığ ı; amaç ve kapsam, yaşam döngüsü envanteri ve yaşam döngüsü etki

değerlendirmesiyle ilişkili olmalıdır. Aynı zamanda uygulama, sektör veya etki kategorisi bakımından dikkate alınmalıdır (Canals, 2003).

Tarımsal YDD'nin gelişimindeki ana olaylar kronolojik sıraya göre Çizelge 1.25'de verilmiştir.

Çizelge 1.25. Tarımsal YDD'nin Gelişimindeki Ana Olaylar

| Yıllar    | Olaylar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1993      | Tarımsal YDD ile ilgili ilk uzman seminer (Weidema, 1993)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 1995-1997 | Tarım için çevresel YDD'nin harmonizasyonunda Avrupa komisyonunun AIR3-CT94-2028 uyumlu eylemi (Audsley ve ark., 1997)<br>Bu uyumlu eylemde, Orta ve Kuzey Avrupa'dan (Avusturya, Danimarka, Fransa, Hollanda, İngiltere ve İsviçre) 8 araştırma grubu, üç yetiştirme şekline (geleneksel, entegre ve organik) göre buğday üretimini analiz etmişlerdir.                                                                                                                                                                                                                                 |
| 1996      | Tarım, gıda - gıda dışı tarım endüstrisi ve ormancılıkta YDD'nin uygulamaları uluslararası konferansı (Ceuterick, 1996)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 1997      | AIR3-CT94-2028 uyumlu eylemin sonuçları yayınlanmıştır (Audsley ve ark., 1997)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 1997-1999 | LCAnet-Food projesi (EU-97-3079) (Olsson, 1999)<br>Bu projede, 14 Avrupa ülkesinden 30'un üzerinde araştırma grubu (Üniversite, sanayi ve danışmanlık şirketleri) yer almıştır. Gıda zincirli YDD için Avrupa iletişim ağı kurmuşlardır. Görevleri;<br>* Tüm gıda zinciri ile ilgili YDD çalışmalarının uygulamalarına ve bilgi uçurumuna özel vurgulamalar yaparak modern YDD metodolojisini raporlamak ve değerlendirmek,<br>* Gıda zincirini bir noktada toplayarak stratejik bir YDD programı geliştirmek,<br>* Gıda zincirli YDD için Avrupa ülkelerinde veri tabanı oluşturmaktır. |
| 1998      | Brüksel'de tarım, tarım sanayi ve gıdada YDD uygulamalarının uluslararası konferansı (Ceuterick, 1998)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 1998      | Tarımsal YDD ile ilgili ilk doktora tezleri (Cowell, 1998; Andersson, 1998)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 2000      | LCAnet-Food projesinin (EU-97-3079) sonuçlarının seminerle sunulması (Weidema ve Meeusen, 2000)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 2001      | Göteborg'da gıdada YDD konulu uluslararası konferans (SIK, 2001)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 2003      | Horsens'da tarım-gıda sektöründe YDD konulu uluslararası konferans (Hayashi ve ark., 2005)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 2005      | Barselona'da 2. Uluslararası yaşam döngüsü yönetimi konferansı (Hayashi ve ark., 2005)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

Tarımsal YDD ile ilgili Avrupa'daki mevcut duruma bakıldığında, üniversitelerde ve araştırma enstitülerinde tarımsal performansı arttırmak ve tarımın olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. Tarımsal YDD ile ilgili çalışmalar yapan başlıca araştırma grupları aşağıda sıralanmıştır (Hayashi ve ark., 2005):

▼ Agroscope FAL Reckenholz; İsveç federal hükümeti tarafından kurulmuştur. SALCA metodunu ve veri tabanını geliştirmiş, Ecoinvent tarımsal veri tabanını oluşturmuştur. Japonya şirketleri ile çalışıp Japonya'dan veri transfer etmektedir.

▼ Renn'de INRA; Fransa'da kurulmuştur. Tarımsal YDD'nin geliştirilmesi için çalışmalar yapmaktadır.

▼ İskandinav ülkeleri; SIK (The Swedish Institute for Food and Biotechnology), Chalmers Teknoloji üniversitesi, Finlandiya Agrifood Research (MTT), SINTEF balıkçılık ve su kültürü merkezlerini içermektedir. Danimarka Tarım Bilimleri Enstitüsü (DIAS) tarafından YDD gıda veritabanı geliştirilmiştir. Bu veritabanı Danimarka'da üretilen ve tüketilen gıdalarla ilgili verileri içermektedir.

#### 1.6.5. Yaşam Döngüsü Değerlendirmede Kullanılan Bilgisayar Programları

YDD yapmak amacıyla kullanılan bilgisayar programları Çizelge 1.26'da verilmiştir.

Çizelge 1.26. YDD'de Kullanılan Bilgisayar Programları

| Programın Adı  | Web Adresi                                                                                          | Lisans  |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Boustead Model | <a href="http://www.boustead-consulting.co.uk/">http://www.boustead-consulting.co.uk/</a>           | Ücretli |
| ECO-it         | <a href="http://www.pre.nl/eco-it.html">http://www.pre.nl/eco-it.html</a>                           | Ücretli |
| EIOLCA         | <a href="http://www.eiolca.net/">http://www.eiolca.net/</a>                                         | Bedava  |
| ENVEST 2       | <a href="http://envest2.bre.co.uk/">http://envest2.bre.co.uk/</a>                                   | Ücretli |
| GaBi4          | <a href="http://www.gabi-software.com/software.html">http://www.gabi-software.com/software.html</a> | Ücretli |
| IDEMAT 2005    | <a href="http://www.idemat.nl/index.htm">http://www.idemat.nl/index.htm</a>                         | Ücretli |
| SimaPro7       | <a href="http://www.pre.nl/simapro.html">http://www.pre.nl/simapro.html</a>                         | Ücretli |
| TEAM 4.0       | <a href="http://www.ecobilan.com/uk_team.php">http://www.ecobilan.com/uk_team.php</a>               | Ücretli |
| Umberto        | <a href="http://www.umberto.de/english/">http://www.umberto.de/english/</a>                         | Ücretli |

### 1.7. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, Çukurova bölgesinde tohumu için yetiştirilen Tatlı Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) bitkisi, tohum hasadından sonra kalan biyokütlenin (sap, yapraklar ve tanesiz salkım) üretiminde yer alan girdi ve çıktılar belirlenerek, biyokütle üretiminin enerji verimliliğinin saptanması ve çevresel etkilerinin yaşam döngüsü değerlendirme yöntemiyle belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla;

- Ø Çukurova koşullarında Tatlı Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) üretiminde enerji kullanımı,
- Ø Üretim sisteminde enerji kullanım etkinliği,
- Ø Üretim işlemleri sırasında doğrudan çevreyi etkileyen emisyonlar ve
- Ø Biyokütle üretiminin çevresel etkileri incelenmiştir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. Enerji Etkinliğinin Belirlenmesi İle İlgili Çalışmalar

Tatlı sorgum üretiminin enerji etkinliğinin belirlenmesi ile ilgili dünyada günümüze kadar yapılan çalışmalar aşağıda tarih sıralamasına göre özetlenmiştir.

**Rajvanshi (1984)**, NARI (Hindistan) araştırma merkezinde güneş enerjisi sistemi kullanılarak fermente edilmiş olan tatlı sorgumdan etanol elde etmeye çalışmıştır. Güneş enerjisinden faydalanarak, tatlı sorgumdan % 40-60 oranında etanol elde etmenin mümkün olduğunu belirlemiştir. Ayrıca, bir yılda birim alandan (ha) 2000 L etanol elde edilebileceğini saptamıştır. Tatlı sorgumdan etanol üretiminin enerji etkinliği değerini hesaplamıştır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Tatlı Sorgumdan Etanol Üretiminde Enerji Etkinliği (Rajvanshi, 1984)

| İşlem               | Kültürel Uygulamalar   | Enerji Girdisi (MJ/ha) |
|---------------------|------------------------|------------------------|
| Yetiştirme          | Toprak işleme          | 2142.86                |
|                     | Karık açma             | 93.29                  |
|                     | 2. Sınıf toprak işleme | 93.29                  |
|                     | Ekim                   | 42.00                  |
|                     | Gübreleme              | 273.00                 |
|                     | Çapalama               | 315.00                 |
|                     | İlaçlama               | 26.25                  |
|                     | Sulama                 | 4000.00                |
|                     | Hasat                  | 294.00                 |
| <b>Toplam</b>       |                        | <b>7279.68</b>         |
| Gübre ve ilaçlama   | Kimyasal gübre         | 22446.43               |
|                     | Kimyasal ilaç          | 87.50                  |
| <b>Toplam</b>       |                        | <b>22533.93</b>        |
| Etanol eldesi       | Ezme                   | 4192.93                |
| <b>Genel Toplam</b> |                        | <b>34006.54</b>        |
|                     | Verim                  | Enerji Çıktısı (MJ/ha) |
| Üretim              | Tane                   | 2500.00 kg/ha          |
|                     | Alkol                  | 1035.71 L/ha           |
|                     | Küspe                  | 5335.71 kg/ha          |
| <b>Genel Toplam</b> |                        | <b>134046.43</b>       |

**Woods (2000)**, yapmış olduğu doktora çalışmasında Zimbabwe’de elektrik ve etanol üretimi için tatlı sorgum ve şeker kamışından biyoenerji kaynağı olarak faydalanılıp, faydalanılamayacağını araştırmış ve iki bitkiyi enerji girdileri yönünden karşılaştırmıştır (Çizelge 2.2). Zimbabwe’de tatlı sorgum yetiştirme işleminin toplam

enerji girdisini; işlem el ile yapıldığında 11038 MJ/ha, makine ile yapıldığında 12774 MJ/ha olduğunu belirlemiştir. Aynı şekilde şekerkamışı yetiştirilmesinde bu değerleri, sırasıyla, 22822 MJ/ha ve 25324 MJ/ha olarak hesaplamıştır. Her iki yetiştirme şekline göre, tatlı sorgum yetiştirilmesi sırasında şekerkamışına göre yarı yarıya bir enerji harcandığını saptamıştır. Ayrıca, tatlı sorgumdan 19886 t/ha etanol elde etmiş ve etanol üretiminin enerji verimini 1.94 olarak hesaplamıştır.

Çizelge 2.2. Tatlı Sorgum ve Şekerkamışı Yetiştirilmesinde Enerji Girdisi Karşılaştırması (Wodds, 2000)

| İşlemler      | Enerji Girdileri (MJ/ha) |          |             |          | Özgül Enerji (MJ/t <sub>sap</sub> ) |             |
|---------------|--------------------------|----------|-------------|----------|-------------------------------------|-------------|
|               | Tatlı Sorgum             |          | Şekerkamışı |          | Elle                                |             |
|               | Elle                     | Makinalı | Elle        | Makinalı | Tatlı Sorgum                        | Şekerkamışı |
| Toprak İşleme | 2225                     | 2225     | 712         | 712      | 48                                  | 6           |
| Gübreleme     | 5865                     | 5865     | 10317       | 10317    | 127                                 | 90          |
| İlaçlama      | 1203                     | 1203     | 592         | 592      | 26                                  | 5           |
| Sulama        | 1534                     | 1534     | 8832        | 8832     | 33                                  | 77          |
| Hasat         | 212                      | 1948     | 2370        | 4869     | 5                                   | 21          |
| TOPLAM        | 11038                    | 12774    | 22822       | 25321    | 240                                 | 198         |

**Grassi (2001)**, LAMNET araştırma merkezinde yaptığı bir çalışmada, tatlı sorgum üretiminde enerji girdilerini ve enerji çıktılarını belirlemeye çalışmıştır (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Tatlı Sorgum Tarımında Enerji Girdileri ve Enerji Çıktıları (Grassi, 2001)

| İşlem                | Kültürel Uygulamalar     | Enerji Girdisi (MJ/ha) |
|----------------------|--------------------------|------------------------|
| Yetiştirme           | Toprak işleme            | 1279.07                |
|                      | Tohum yatağı hazırlığı   | 154.91                 |
|                      | Gübreleme                | 64.90                  |
|                      | Ekim                     | 209.34                 |
|                      | Yabancı ot mücadelesi    | 540.10                 |
|                      | Böceklerle mücadele      | 66.99                  |
|                      | Sulama                   | 879.23                 |
|                      | Hasat                    | 3923.03                |
|                      | <b>Toplam</b>            | <b>7117.56</b>         |
| Gübre ve ilaçlama    | Gübre                    | 4668.28                |
|                      | İlaç                     | 774.56                 |
|                      | <b>Toplam</b>            | <b>5442.84</b>         |
| Harmanlama ve taşıma | Tohumların harmanlanması | 1046.70                |
|                      | Taşıma                   | 6698.88                |
| <b>Genel Toplam</b>  |                          | <b>20305.98</b>        |
|                      |                          | <b>Verim (t/ha)</b>    |
| Üretim               | Şeker                    | 8                      |
|                      | Tane ve Sap              | 20                     |
| <b>Genel Toplam</b>  |                          | <b>311916.60</b>       |

**Monti ve Venturi (2003)**, Kuzey İtalya’da yaptıkları 3 yıllık bir çalışmada, lif sorgum, tatlı sorgum ve buğday bitkilerinin enerji etkinliklerini karşılaştırmışlardır. Ayrıca, buğday için iki farklı azotlu gübre seviyesi (80-120 kgN/ha) uygulamışlardır. İkinci yılda buğday veriminin düştüğünü, buna rağmen her iki sorgum çeşidi için de biyokütle veriminin düşmediğini gözlemlemişlerdir. Tatlı sorgum için ortalama net enerji üretimini; lif sorguma ve yüksek/düşük azot uygulanmış buğdaya göre oldukça yüksek bulmuşlardır. Özgül enerji değerini; lif sorgum için 0.78-0.96 MJ/kg, tatlı sorgum için 0.69-0.85 MJ/kg, yüksek azot uygulanmış buğday için 0.91–1.33 MJ/kg ve düşük azot uygulanmış buğday için 1.00-1.23 MJ/kg olarak hesaplamışlardır. 3 yıl sonunda tatlı sorgumdan etanol elde ederek, tatlı sorgumdan etanol üretiminin enerji etkinliğini belirlemişlerdir (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4. Farklı Girdi Uygulamalarıyla Tatlı Sorgumdan Etanol Üretiminde Enerji Etkinliği (Monti ve Venturi, 2003)

| Parametreler                                | Düşük Girdi | Normal Girdi |
|---------------------------------------------|-------------|--------------|
| <b>Yetiştirme</b>                           |             |              |
| Enerji Girdisi (GJ/ha)                      | 13.8        | 19.1         |
| Biyokütle Verimi (t/ha)                     | 19.6        | 20.8         |
| Enerji Çıktısı (GJ/ha)                      | 132.5       | 140.6        |
| Enerji Verimi                               | 9.6         | 7.4          |
| Net Enerji Üretimi (GJ/ha)                  | 118.7       | 121.5        |
| <b>Dönüşüm</b>                              |             |              |
| Enerji Girdisi (GJ/ha)                      | 58.2        | 61.4         |
| Etanol Verimi (t/ha)                        | 3.2         | 3.4          |
| Enerji Çıktısı (GJ/ha)                      |             |              |
| Küspesiz                                    | 85.7        | 90.4         |
| Küspeli                                     | 92.2        | 97.3         |
| <b>Toplam döngü (yetiştirme ve dönüşüm)</b> |             |              |
| Küspesiz                                    |             |              |
| Enerji Verimi                               | 1.19        | 1.20         |
| Net Enerji Üretimi (GJ/ha)                  | 13.6        | 9.3          |
| Küspeli                                     |             |              |
| Enerji Verimi                               | 1.28        | 1.21         |
| Net Enerji Üretimi (GJ/ha)                  | 20.2        | 16.8         |

**Venturi ve Venturi (2003)**, yaptıkları bir araştırmada, Avrupa’daki enerji bitkilerinden enerji üretimi yapılan üç enerji üretim zincirinde kullanılan bitkilerin enerji girdi ve çıktılarını belirlemeye çalışmışlardır. Bu enerji üretim zincirlerini;

biyodizel üretimi (kolza, soya ve ayçiçeği), etanol üretimi (tahıl ve şeker pancarı) ve kuru biyokütle (otsu lignoselülozikler) üretim zinciri olarak belirlemişlerdir. Enerji girdisi hesaplamalarında, literatürlerdeki mevcut tarımsal uygulamaların ortalama, minimum ve maksimum değerlerini almışlardır. Her üç zincirde de kullanılan bitkiler için enerji etkinliği değerlerini Çizelge 2.5, 2.6 ve 2.7’deki gibi saptamışlardır.

Çizelge 2.5. Yağ Bitkileri için Belirlenmiş Olan Enerji Eşdeğeri ve Net Enerji Üretimi (Venturi ve Venturi, 2003)

| Bitkiler | Tane Verimi <sup>a</sup> (t/ha) | Yağ Verimi |         | Enerji Eşdeğeri (MJ/kg) |      | Net Enerji Üretimi (GJ/ha) |           |           |
|----------|---------------------------------|------------|---------|-------------------------|------|----------------------------|-----------|-----------|
|          |                                 | %          | t/ha    | Tane                    | Yağ  | Tane                       | Yağ       | Un        |
| Kolza    | 0.7-3.4                         | 35-40      | 0.3-1.4 | 24.0                    | 37.4 | 16.8-81.6                  | 11.2-52.3 | 5.6-29.3  |
| Ayçiçeği | 0.5-2.5                         | 40-48      | 0.2-1.2 | 27.2                    | 38.4 | 13.6-68.0                  | 7.7-46.1  | 5.9-21.9  |
| Soya     | 0.7-3.6                         | 18-20      | 0.1-0.7 | 20.5                    | 36.4 | 14.4-73.8                  | 3.6-25.5  | 10.8-48.3 |

Çizelge 2.6. Alkolijen Bitkiler İçin Belirlenmiş Olan Girdiler ve Enerji Etkinliği (Venturi ve Venturi, 2003)

| Bitkiler      | Girdiler (GJ/ha) |        |      | Enerji Etkinliği |                            |
|---------------|------------------|--------|------|------------------|----------------------------|
|               | Düşük            | Yüksek | Orta | Enerji Verimi    | Net Enerji Üretimi (GJ/ha) |
| Buğday        | 15               | 30     | 25   | 1.0-2.8          | 0-55                       |
| Arpa          | 10               | 28     | 22   | 1.5-2.1          | 5-32                       |
| Mısır         | 25               | 40     | 28   | 1.4-3.8          | 10-110                     |
| Tane Sorgum   | 20               | 30     | 25   | 1.0-3.2          | 0-65                       |
| Şeker Pancarı | 25               | 60     | 35   | 2.8-3.2          | 45-130                     |
| Tatlı Sorgum  | 15               | 50     | 40   | 6.6-9.0          | 85-400                     |

Çizelge 2.7. Kuru Biyokütle Eldesinde Kullanılan Bitkiler İçin Belirlenmiş Olan Girdiler ve Enerji Etkinliği (Venturi ve Venturi, 2003)

| Ürünler      | Verimlilik Oranı |                |        | Enerji Eşdeğeri (GJ/t) | Enerji Çıktısı (GJ/ha) | Enerji Etkinliği |                            |
|--------------|------------------|----------------|--------|------------------------|------------------------|------------------|----------------------------|
|              | Yaş Kütle (t/ha) | Kuru Biyokütle |        |                        |                        | Enerji Verimi    | Net Enerji Üretimi (GJ/ha) |
|              |                  | (%)            | (t/ha) |                        |                        |                  |                            |
| Fiber Sorgum | 50-100           | 25-40          | 20-30  | 16.7-16.9              | 334-507                | 13-39            | 309-494                    |
| Tatlı Sorgum | 50-100           | 25-35          | 15-25  | 16.7-16.9              | 250-422                | 10-32            | 225-409                    |
| Kenaf        | 70-100           | 25-35          | 10-20  | 15.5-16.3              | 155-326                | 6-25             | 130-313                    |
| Kenevir      | 25-35            | 40-45          | 8-15   | 16.0-18.0              | 128-270                | 5-20             | 103-257                    |
| Miskantus    | 40-70            | 35-45          | 15-30  | 17.6-17.7              | 260-530                | 12-66            | 238-522                    |
| Dev Kamış    | 45-110           | 35-40          | 15-35  | 16.5-17.4              | 240-600                | 11-75            | 118-592                    |
| Kenger Otu   | 25-35            | 40-45          | 10-15  | 15.5-16.8              | 155-252                | 7-31             | 133-244                    |
| Dallı Darı   | 25-60            | 35-45          | 10-25  | 17.4                   | 174-435                | 8-54             | 152-427                    |

**Nassi ve ark. (2010)**, İtalya’da (Tuscany) geleneksel ve düşük girdi kullanılan iki farklı uygulama ile şeker pancarı, makarnalık buğday, sorgum ve ayçiçeği üretiminde enerji kullanımını karşılaştırmışlardır (Çizelge 2.8).

Çizelge 2.8. Geleneksel ve Düşük Girdili Üretim Sistemlerinde Enerji Girdileri (Nassi ve ark., 2010)

|              | Geleneksel<br>Üretim Sistemi<br>(GÜS) | Dolaylı<br>(GJ/ha) | Doğrudan<br>(GJ/ha) | Toplam<br>(GJ/ha) | Düşük Girdili<br>Üretim Sistemi<br>(DGS) | Dolaylı<br>(GJ/ha) | Doğrudan<br>(GJ/ha) | Toplam<br>(GJ/ha) |
|--------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------|------------------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| ŞEKERPANCARI | Toprak işleme                         | 2.0                | 5.0                 | 7.0               | Toprak işleme                            | 1.9                | 4.4                 | 6.3               |
|              | Ekim                                  | 0.5                | 0.5                 | 1.0               | Ekim                                     | 0.5                | 0.5                 | 1.0               |
|              | Gübreleme                             | 12.8               | 1.0                 | 13.8              | Gübreleme                                | 8.2                | 1.0                 | 9.2               |
|              | Tarımsal savaş                        | 3.8                | 2.8                 | 6.6               | Tarımsal savaş                           | 2.3                | 2.1                 | 4.4               |
|              | Hasat                                 | 0.5                | 4.1                 | 4.6               | Hasat                                    | 0.5                | 4.1                 | 4.6               |
|              | Atık yönetimi                         | 0.5                | 0.3                 | 0.8               | Atık yönetimi                            | 0.5                | 0.3                 | 0.8               |
|              | <b>Toplam</b>                         | <b>20.1</b>        | <b>13.8</b>         | <b>33.8</b>       | <b>Toplam</b>                            | <b>13.9</b>        | <b>12.5</b>         | <b>26.3</b>       |
| BUĞDAY       | Toprak işleme                         | 1.5                | 2.3                 | 3.8               | Toprak işleme                            | 1.2                | 1.3                 | 2.5               |
|              | Ekim                                  | 4.9                | 0.5                 | 5.4               | Ekim                                     | 4.9                | 0.5                 | 5.4               |
|              | Gübreleme                             | 11.2               | 0.7                 | 11.9              | Gübreleme                                | 5.3                | 0.3                 | 5.7               |
|              | Tarımsal savaş                        | 3.1                | 0.6                 | 3.8               | Tarımsal savaş                           | 0.9                | 0.3                 | 1.2               |
|              | Hasat                                 | 0.5                | 0.5                 | 0.9               | Hasat                                    | 0.5                | 0.5                 | 0.9               |
|              | Atık yönetimi                         | 0.6                | 0.6                 | 1.3               | Atık yönetimi                            | 0.6                | 0.6                 | 1.2               |
|              | <b>Toplam</b>                         | <b>21.9</b>        | <b>5.1</b>          | <b>27.1</b>       | <b>Toplam</b>                            | <b>13.5</b>        | <b>3.4</b>          | <b>16.9</b>       |
| SORGUM       | Toprak işleme                         | 1.5                | 3.2                 | 4.7               | Toprak işleme                            | 1.5                | 3.2                 | 4.7               |
|              | Ekim                                  | 0.4                | 0.5                 | 0.9               | Ekim                                     | 0.4                | 0.5                 | 0.9               |
|              | Gübreleme                             | 11.5               | 0.7                 | 12.2              | Gübreleme                                | 6.6                | 0.3                 | 6.9               |
|              | Tarımsal savaş                        | 1.7                | 0.9                 | 2.6               | Tarımsal savaş                           | 0.7                | 0.3                 | 1.0               |
|              | Hasat                                 | 0.5                | 0.7                 | 1.1               | Hasat                                    | 0.5                | 0.7                 | 1.1               |
|              | Atık yönetimi                         | 0.6                | 0.7                 | 1.4               | Atık yönetimi                            | 0.6                | 0.7                 | 1.4               |
|              | <b>Toplam</b>                         | <b>16.2</b>        | <b>6.7</b>          | <b>22.9</b>       | <b>Toplam</b>                            | <b>10.3</b>        | <b>5.8</b>          | <b>16.0</b>       |
| AYÇİÇEĞİ     | Toprak işleme                         | 1.5                | 4.5                 | 6.0               | Toprak işleme                            | 1.5                | 3.2                 | 4.7               |
|              | Ekim                                  | 0.4                | 0.5                 | 0.9               | Ekim                                     | 0.4                | 0.5                 | 0.9               |
|              | Gübreleme                             | 11.7               | 0.7                 | 12.4              | Gübreleme                                | 6.1                | 0.3                 | 6.5               |
|              | Tarımsal savaş                        | 1.3                | 0.9                 | 2.2               | Tarımsal savaş                           | 0.8                | 0.3                 | 1.1               |
|              | Hasat                                 | 0.5                | 0.7                 | 1.1               | Hasat                                    | 0.5                | 0.7                 | 1.1               |
|              | Atık yönetimi                         | 0.2                | 0.3                 | 0.4               | Atık yönetimi                            | 0.2                | 0.3                 | 0.4               |
|              | <b>Toplam</b>                         | <b>15.6</b>        | <b>7.6</b>          | <b>23.0</b>       | <b>Toplam</b>                            | <b>9.5</b>         | <b>5.3</b>          | <b>14.8</b>       |

Ürün ve enerji verimleri, üretim uygulamasına bağlı olarak önemli düzeyde değişmemekle birlikte, düşük girdili uygulamada enerji etkinliği yaklaşık % 30 oranında artmıştır. Verimler arasındaki farklılık nedeniyle, enerji çıktısı geleneksel üretim sisteminde (GÜS), düşük girdili üretim sisteminden (DGÜS) yaklaşık % 7 oranında daha yüksektir (Çizelge 2.9). Net enerji verimi, her iki üretim sisteminde de birbirine yakın olmakla birlikte, GÜS ile ayçiçeği üretiminde, DGÜS ile üretimden

yaklaşık % 2 oranında daha düşüktür. Diğer taraftan, DGÜS ile ayçiçeği üretiminde enerji etkinliği, GÜS ile üretimden % 35 oranında daha yüksektir.

Çizelge 2.9. Geleneksel ve Düşük Girdili Üretim Sistemlerinde Enerji Etkinliği (Nassi ve ark., 2010)

| ÜRÜN          | Geleneksel Üretim Sistemi (GÜS) |                            |               | Düşük Girdili Üretim Sistemi (DGÜS) |                            |               |
|---------------|---------------------------------|----------------------------|---------------|-------------------------------------|----------------------------|---------------|
|               | Enerji çıktısı (GJ/ha)          | Net enerji üretimi (GJ/ha) | Enerji verimi | Enerji çıktısı (GJ/ha)              | Net enerji üretimi (GJ/ha) | Enerji verimi |
| Şeker pancarı | 86.8                            | 53.0                       | 2.6           | 76.6                                | 50.3                       | 2.9           |
| Buğday        | 139.0                           | 111.9                      | 5.1           | 127.3                               | 110.4                      | 7.5           |
| <i>Sorgum</i> | 231.0                           | 208.1                      | 10.1          | 226.2                               | 210.2                      | 14.1          |
| Ayçiçeği      | 262.8                           | 239.8                      | 11.4          | 259.0                               | 244.3                      | 17.6          |

## 2.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi İle İlgili Çalışmalar

Tarımsal ürünlerin üretim sisteminin YDD yöntemi kullanılarak çevresel etkilerinin belirlenmesi ile ilgili dünyada yapılan çalışmalar incelenmiştir. İncelenen bu çalışmalar aşağıda tarih sıralamasına göre özetlenmiştir.

**Hanegraaf ve ark. (1998)** yaptıkları bir çalışmada, kuzey Hollanda’da enerji bitkisi olarak yetiştirilen biyokütlelerin kullanımından ve üretiminden kaynaklanan çevresel etkilerinin olup olmadığını araştırmışlardır. Bu amaçla YDD yönteminden faydalanmışlardır ve yaşam döngüsü etki değerlendirmesini CML metoduna göre yapmışlardır. YDD yaptıkları enerji bitkileri için Çizelge 2.10’daki değerleri hesaplamışlardır.

Çizelge 2.10. Kuzey Hollanda’da Yetiştirilen Enerji Bitkileri İçin Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi Sonuçları (Hanegraaf ve ark., 1998)

| Enerji Bitkisi      | İklim Değişikliği (ton CO <sub>2</sub> -eş/ha) | Enerji Bitkisi | İklim Değişikliği (ton CO <sub>2</sub> -eş/ha) |
|---------------------|------------------------------------------------|----------------|------------------------------------------------|
| Kolza               | 5.3                                            | Silajlık Mısır | 13.4                                           |
| Şeker Pancarı       | 7.6                                            | Miskantus      | 10.7                                           |
| Kışlık Buğday       | 8.6                                            | Kavak          | 8.8                                            |
| <i>Tatlı Sorgum</i> | 3.8                                            | Söğüt          | 9.8                                            |

**Cowell (1999)** çalışmasında, alternatif zirai üretim sistemlerinin çevresel etkilerini değerlendirmek için YDD yönteminin kullanımını incelemiştir. 3 adet ekmeklik buğday üretim sistemi (hayvansal üretimin olmadığı tarıma elverişli bir

arazide yoğun üretim sistemi, çiftlik hayvanı olmayan bir çiftlikte azaltılmış üretim sistemi ve organik bir çiftlikte düşük üretim sistemi) için örnek olay incelemesi yapmıştır. Hububat verimlerini sırasıyla 8, 6 ve 4 t/ha olarak bulmuştur. Çiftlik etkinliklerinde ve toprak emisyonları süreçlerinde; enerji ve materyal üretiminin, gübre ve pestisit üretiminin, tarım makineleri üretiminin, bakım ve depolamanın önemli olduğu sonucuna varmıştır.

**Brentrup ve arkadaşları (2001)**, tarımsal üretimin çevresel etkilerini analiz etmek amacıyla yaşam döngüsü değerlendirme yönteminin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. YDD'nin ilk bölümünde üretim sisteminde kullanılmış olan tüm kaynakların envanterini çıkarmışlar ve salınan emisyonları hesaplamışlardır. Daha sonraki adımda, envanter analizi sonuçlarına göre yaşam döngüsü etki değerlendirmesi yapmışlardır. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi yapmak amacıyla Eco-indicator 95 metodundan faydalanmışlardır. YDD yönteminin kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla Kuzeydoğu Almanya'da şeker pancarı yetiştirilen bir alanı, örnek üretim sistemi olarak seçmişlerdir ve farklı gübre uygulamaları (CAN, ÜAN ve üre) gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri Eco-indicator değerlerine göre şeker pancarı denemelerindeki farklı gübre uygulamaları sonucunda oluşan farklı değerleri açıkça tespit etmişlerdir. Üre uygulaması yapılan sistemde yüksek bir değer elde etmişlerdir. CAN uygulaması yapılan sistemde de düşük bir değer elde etmişlerdir. Tüm üretim sistemlerinde de asitleşme potansiyelinin ve ötrofikasyon potansiyelinin önemli çevresel etkiler olduğunu belirlemişlerdir. Sonuçta tarımsal üretim sistemlerinin çevresel etkilerinin belirlenmesinde YDD yönteminin kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

**Heller ve arkadaşları (2003)** New York'ta yaptıkları bir çalışmada, YDD yöntemini kullanarak söğüt biyokütle bitkisi üretim sisteminin çevresel performansını analiz etmişlerdir. Biyokütle bitkisinin 23 yıllık ömrü boyunca bir birim fosil enerji tüketimi başına 55 birim biyokütle enerjisi ürettiğini belirtmişlerdir. İnorganik azot gübre girdisinin tüm sistemin performansını çok kuvvetli bir şekilde etkilediğini diğer bir deyişle sisteme giren yenilenemeyen fosil enerjinin yaklaşık % 37'sini oluşturduğunu belirlemişlerdir. Biyokütlenin yakılması sırasında ortaya çıkan CO<sub>2</sub> emisyonunun, biyokütlenin yetiştirilmesi sırasında adsorbe ettiği CO<sub>2</sub>

miktarına eşit olduğunu saptamışlardır. Doğrudan ve dolaylı yakıt kullanımı, uygulanan gübre ve yaprak döküntülerinden N<sub>2</sub>O emisyonlarını, toprak karbonu ve gömülü biyokütledeki karbon tutumunu hesaba katarak net sera gazı emisyonları toplamını 0.68 g CO<sub>2</sub>-eş/MJ<sub>biyokütle</sub> bulmuşlardır.

**Brentrup ve arkadaşları (2004a)**, ekilebilir ürünlerin üretiminde kullanılan bitki besinleri için özel YDD yöntemi geliştirmeye çalışmışlardır. Ürünlerin üretiminde kullanılan bitki besinlerinin; abiyotik kaynak tüketimi, toprak kullanımı, iklim değişikliği, zehirlilik, asitleşme ve ötrofikasyon gibi çevresel etkilerini belirlemek amacıyla, YDD yönteminde kaynak tüketim göstergesi (RDI) ve çevresel etki göstergesi (EcoX) değerlerini geliştirmişlerdir. ExoX değerinin, bu araştırmada ki ürünlerle ilgili olan tüm çevresel yükler için yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Ekilebilir ürünlerin YDD yönteminde kullanılan bu göstergelerle; sistemdeki çevresel sorunlu bölgelerin belirlenebileceğini, ekilebilir ürünlerin üretiminde kullanılan kaynaklar için çevresel etkilerin yeniden gözden geçirilebileceğini ve alternatif üretim sisteminin çevresel önceliğinin tartışılmasına katkıda bulunabileceğini belirtmişlerdir.

**Brentrup ve arkadaşları (2004b)**, kışlık buğday üretiminde farklı N gübre normlarının uygulanması sonucunda oluşan çevresel etkileri YDD yöntemini kullanarak belirlemeye çalışmışlardır. Buğday üretim sistemine iyi tarım uygulamaları kılavuzunu uygulamışlardır. 1 ton buğday tanesi üretilmesi için gerekli olan tüm girdileri (fossil yakıt vb. ham materyal, gübre üretimi-kullanımı ve bu alanda yapılan tüm tarımsal işlemler) analiz etmişlerdir. İlk adımda, farklı işlemlerle bağlantılı olan kaynakların tüketimini ve tüm emisyonların yaşam döngüsü envanterini çıkarmışlardır ve fonksiyonel birim olarak 1 ton tane üretimini kabul etmişlerdir. Bunu takiben kaynak tüketimi, toprak kullanımı, iklim değişikliği, zehirlilik, asitleşme ve ötrofikasyon gibi çevresel etkileri belirlemek için yaşam döngüsü etki değerlendirmesi yapmışlardır. EcoX gösterge değerine göre sonuçları özetlemişlerdir. Birim alana (ha) 48, 96, 144 ve 192 kg N gübreleme uygulamaları için EcoX gösterge değerini (0.16-0.22 EcoX/1 ton tane) benzer bulmuşlardır. Birim alana (ha) 0, 240 ve 280 kg N gübreleme uygulamalarının EcoX gösterge değerlerinin en düşük EcoX gösterge değeri olan 96 kg N/ha gübreleme normu

değerine göre % 100 ile % 232 arasında oldukça yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Çok düşük N gübreleme normunda, toprak kullanımının anahtar rolü olan çevresel bir faktör olduğunu, buna karşın çok yüksek N gübreleme normunda da ötrofikasyonun çok önemli bir problem olduğunu saptamışlardır.

**Hayashi ve arkadaşları (2005)**, çevre ve gıda güvenliği sorunlarına en iyi çözümü sunmak amacıyla tarımsal üretimle ilgili yapılan YDD uygulamalarını gözden geçirmişlerdir. Öncelikle iyi tarımsal üretim uygulama yaklaşımı ile tarımsal üretim sistemleri ve YDD yöntemi arasındaki ilişkiyi tartışmışlardır. Daha sonra, tarımsal üretim sistemlerine YDD yönteminin uygulamalarını literatür de bulunan başlıca bilgilere dayanarak incelemişlerdir. Çalışmada, gelecekte yapılacak araştırmaların tarıma özgü spesifik karakteristiklere bağlı olarak taslağı oluşturulmuştur. Araştırmacılar, YDD yönteminin tarımsal üretim sistemlerinin değerlendirilmesinde kullanma potansiyeli olan nitelikli bir değerlendirme yöntemi olduğunu bildirmişlerdir.

**Kim ve Dale (2005)** yaptıkları çalışmada, mısır ve soya fasulyesi üretimini öne çıkarmak için farklı yetiştirme sistemlerine YDD yöntemini uygulamışlardır. Yetiştirme sistemlerinden elde edilebilecek biyokütleden, biyoyakıt (etanol ve biyodizel gibi) üretmek için faydalandıklarını varsaymışlardır. Fonksiyonel birim olarak biyokütle üretilen tarıma elverişli arazinin birim alanını (ha) tanımlamışlardır. Biyoyakıt üretiminde kullanılan biyokütlenin, yenilenemeyen enerji miktarını koruduğunu, sera gazlarını azalttığını ancak asitleşmeyi ve kirlletmeyi (nitrojen ve fosfor nedeniyle) arttırdığını saptamışlardır.

**Gasol ve arkadaşları (2007)** Soria (İpanya)'da yaptıkları bir çalışmada, *Brassica carinata* (Kuzey Avrupa'da yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kullanılan lignin selülozlu yakıt) enerji bitkisinin üretiminin enerjetik ve çevresel performansını YDD yöntemini kullanarak analiz etmişlerdir. Yaptıkları yaşam döngüsü etki değerlendirmesine göre 10 etki kategorisinin 6'sında gübre uygulamasının çevresel etkisinin oldukça yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Bu etki kategorilerinde, gübre uygulamalarının çevresel etkisinin % 51-68 arasında olduğunu saptamışlardır. İkinci önemli etkinin de tarım makinalarının üretiminden ve yakıt kullanımından kaynaklandığını belirtmişlerdir. *Brassica carinata* üretim sisteminin

iklim değişikliğine etkisini 1068 kg CO<sub>2</sub>-eş/ha olarak hesaplamışlardır. *Brassica carinata*'yı doğal gaz gibi diğer fosil yakıtlarla karşılaştırdıklarında, birincil enerji tüketiminin % 33.2, sera gazı emisyonlarının da % 33.1'den % 71.2'ye kadar azalabileceğini saptamışlar, Kuzey Avrupa için *Brassica carinata* bitkisinin, enerji bitkisi olarak yetiştirilmesinin uygun olacağını belirtmişlerdir.

**Styles ve Jones (2007)** İrlanda'da yaptıkları enerji bitkileri çalışmalarında, miskantus ve kısa-dönem-ağaçlık söğütten (SRCW) elde edilen elektrik, turba ve kömürden elde edilen elektriğin, sera gazı emisyonlarını karşılaştırmak için YDD yöntemini uygulamışlardır. Miskantus ve SRCW'nin yetiştirilmesi için sera gazı emisyonlarını sırasıyla 1938 ve 1346 kg CO<sub>2</sub>-eş/ha olduğunu, Miskantus ve SRCW yakıt zincirlerinin sırasıyla 0.131 ve 0.132 kg CO<sub>2</sub>-eş kW/h saldıgını, elektrik üretiminden 1.48 Mt CO<sub>2</sub>-eş/yıl kazanç sağladıklarını bulmuşlardır. İrlanda için sera gazı emisyonlarını azaltmada enerji bitkilerinden faydalanılabileceğini vurgulamışlardır.

**Sutter ve Jungbluth (2007)**, Çin'de tatlı sorgum yetiştiriciliğinde çevresel etki değerlendirmesi yapmak amacıyla YDD yönteminden faydalanmışlardır. İlk önce hem tane hem de sap için envanter çıkarmışlardır. Daha sonra CED (Cumulative Energy Demand) metoduna göre yaşam döngüsü etki değerlendirmesi yapmışlardır (Çizelge 2.11). Çin'de tatlı sorgum yetiştiriciliği için yaşam döngüsü envanteri çıkarılmasında makina ve gübre kullanımının çok belirleyici olduğunu vurgulamışlardır.

Çizelge 2.11. CED Metodunu Göre Tatlı Sorgum Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (Sutter ve Jungbluth, 2007)

| Etki Kategorisi                                           | Birim    | Tatlı Sorgum Tanesi | Tatlı Sorgum Sapı |
|-----------------------------------------------------------|----------|---------------------|-------------------|
| Yenilenemeyen enerji kaynakları, fosil                    | MJ-eş/kg | 2.2                 | 0.2               |
| Yenilenemeyen enerji kaynakları, nükleer                  | MJ-eş/kg | 1.0                 | 0.1               |
| Yenilenebilir enerji kaynakları, su                       | MJ-eş/kg | 0.3                 | 0.0               |
| Yenilenebilir enerji kaynakları, rüzgar, güneş, jeotermal | MJ-eş/kg | 0.0                 | 0.0               |
| Yenilenebilir enerji kaynakları, biyokütle                | MJ-eş/kg | 14.3                | 4.5               |

**Nemecek ve arkadaşları (2008)** Avrupa'da hayvan besin kaynağı olarak üretimi artan tane baklagillerin üretim döngüsü içindeki çevresel etkilerini belirlemeye çalışmışlardır. Bu amaçla SALCA (İsveç Tarımsal YDD) yönteminden

ve Ecoinvent metodundan faydalanmışlardır. Araştırmayı Avrupa’da 4 bölgede (Saxony-Anhalt (Almanya), Barrios (Fransa), Canton Vaud (İsviçre) ve Castilla y Leon (İspanya)) yürütmüşlerdir. Bu bölgelerin her biri için; tane baklagilsiz tahıl üretim döngüsü ve tane baklagilli üretim döngüsü olmak üzere 2 adet üretim döngüsü belirlemişlerdir. Daha sonra bu iki üretim döngüsünün etkilerini üç farklı fonksiyonel birime (ha, € ve GJ) göre karşılaştırmışlardır. Yenilenemeyen enerji kaynakları, iklim değişikliği, stratosferdeki ozon incilmesi, ötrofikasyon, asitleşme, kara ve su canlılarının zehirlenmesi ve de insan zehirlenmesi gibi 8 adet çevresel etki kategorisi için yaşam döngüsü etki değerlendirmesi yapmışlardır. Ayrıca, bunlara ilaveten Canton Vaud için biyoçeşitlilik ve toprak niteliği açısından değerlendirmede bulunmuşlardır.

Birim üretim alanına (ha) göre yapılan değerlendirme sonuçlarına göre, tane baklagilli üretim döngüsünün, enerji kullanımı, iklim değişikliği, stratosferdeki ozon incilmesi, asitleşme ve ekolojik zehirlenme etkilerini düşürdüğünü saptamışlardır. Bu etkilerin düşmesini, N gübre uygulamasının azaltılmasına, kullanılan toprak işleme tekniklerinin geliştirilmesine ve üretim döngüsünün çeşitliliğine bağlamışlardır. Genelde nitrat süzülme potansiyelinin yükselme eğiliminde olduğunu fakat kışlık tane baklagillerin erken ekilmesiyle bunun azaltılabilesinin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Canton Vaud için yapılan ilave çalışma için, biyoçeşitlilik ve toprak niteliği açısından herhangi bir fark olmadığı rapor edilmiştir.

Birim fiyata (€) göre yapılan değerlendirme sonuçlarına göre, tane baklagil üretim döngüsünün biraz avantajlı olduğunu saptamışlardır. Bunu da tane baklagilin veriminin düşük olmasına bağlamışlardır. Tane baklagilin enerji etkinliğini yüksek olarak bulmuşlar ve bunun da bir avantaj olduğunu bildirmişlerdir.

Avrupa’da tane baklagil üretim döngüsünün, çevresel etkileri özellikle fosil enerji kaynağı tüketimi ve iklim değişikliğini azalttığını vurgulamışlardır.

**Tuchschnid (2007)** farklı biyokütle yakıtlarının YDD’sini yaptığı çalışmada, biyokütle girdilerinden üçünün (kısa dönem odunsu enerji bitkisi (söğüt veya kavak), miskantus ve buğday samanı) sıvılaştırılmış biyokütle (BTL) yakıtlara döndürülmesini incelemiştir. Bu dönüştürülen BTL yakıtları fosil yakıtlarla karşılaştırmıştır. BTL yakıtların iklim değişikliğine sebep olan CO<sub>2</sub> emisyonlarını ve

diğer hava kirleticileri fosil yakıtlara kıyasla % 20-56 arasında azalttığını, fotokimyasal oksidasyonu % 75, asitleşmeyi de % 175 arttırdığını saptamıştır. YDD yönteminin, kaynağın kökeninden son atığına kadar değerlendirmeye olanak verdiğini ve ürünün çevresel etkilerini nitelemede çok güçlü bir yöntem olduğunu belirtmiştir.

**Gasol ve arkadaşları (2009)** kavak biyoenerji sisteminin, Etiyopya hardalı (*Brassica carinata*) biyoenerji sistemine ve doğal gaza göre çevresel performanslarını karşılaştırmak amacıyla YDD yöntemini uygulamışlardır. Yaptıkları yaşam döngüsü etki değerlendirmesine göre 10 çevresel etki kategorisinin 4'ünde gübre kullanımının çevresel etkisinin oldukça yüksek (% 39-67) olduğunu belirlemişlerdir. Diğer önemli etkininde, 10 çevresel etki kategorisinin diğer 5'inde de etkili olan tarım makinelerindeki yakıt kullanımından (% 40-85) kaynaklandığını belirtmişlerdir. Kavak biyoenerji sisteminin küresel ısınmaya etkisini 1.90-1.98 g CO<sub>2</sub>-eş/MJ<sub>biyokütle</sub> olarak bulmuşlardır. Kavak biyoenerji sistemini Etiyopya hardalı biyoenerji sistemi ve doğal gaz ile karşılaştırdıklarında birincil enerji tüketimini (sırasıyla, % 83 ve % 89) ve sera gazı emisyonlarını (sırasıyla, % 84 ve % 89) azalttığını saptamışlardır. Analiz sonuçlarında da, Güney Avrupa için kavak biyoenerji sisteminin, suyun yeterli olduğu alanlarda enerji bitkisi olarak yetiştirilmesinin uygun olacağını vurgulamışlardır.

**Köppen ve arkadaşları (2009)** FAO adına hazırlamış oldukları raporlarında, birinci ve ikinci nesil biyoyakıt olarak yetiştirilen tatlı sorgum bitkisinin enerji ve sera gaz envanterlerini değerlendirmişlerdir. Tatlı sorgumdan biyoyakıt elde etmede kullanılan bütün yöntemleri incelemişlerdir. Her bir üretim ve kullanım safhası için yaşam döngüsü sistemi belirlemişlerdir. Daha sonra, buldukları sonuçları fosil yakıtların çevresel etkileri ile karşılaştırmışlardır ve aşağıda verilen saptamalarda bulunmuşlardır;

- Tatlı sorgum, etanol (tane veya şeker) ve yeşil elektrik (küspe) üretimi için kullanılırsa birim yetiştirme alanından (ha), 3500 L ham petrol eşdeğerli yakıt, taneler gıda üretiminde, meyve suyu da etanol üretiminde kullanılırsa birim yetiştirme alanından (ha), 2500 L ham petrol eşdeğerli yakıt üretilebileceğini,

- Sera gazı değerinin; verimle, üretim metotlarıyla ve tatlı sorgum üretimi yapılan toprağın durumuyla ilgili olarak 1.4 ile 22 kg CO<sub>2</sub>-eş/ha arasında değiştiğini,

- Normal yetiştirilmesi sırasında az su ve gübre ihtiyacından dolayı, fazla bir çevresel etkisinin görülmediğini fakat geleneksel tarımsal uygulamalarla yetiştirildiği zaman, diğer geleneksel bitkilerin yetiştirilmesinde görüldüğü gibi, toprak kaybı veya bozunmasına yol açabileceğini, daha çok gübre ve ilaç kullanılmasından dolayı suları kirletebileceğini,

- Diğer biyoyakıtlarda da görüldüğü gibi, tatlı sorguma dayalı biyoetanolün de bazı emisyonlara bağlı dezavantajlarının olabileceğini, özellikle asitleşme ve ötrofikasyon potansiyeli ile fotokimyasal oksidasyon ve stratosferdeki ozon azalmasına sebep olabileceğini bildirmişlerdir.

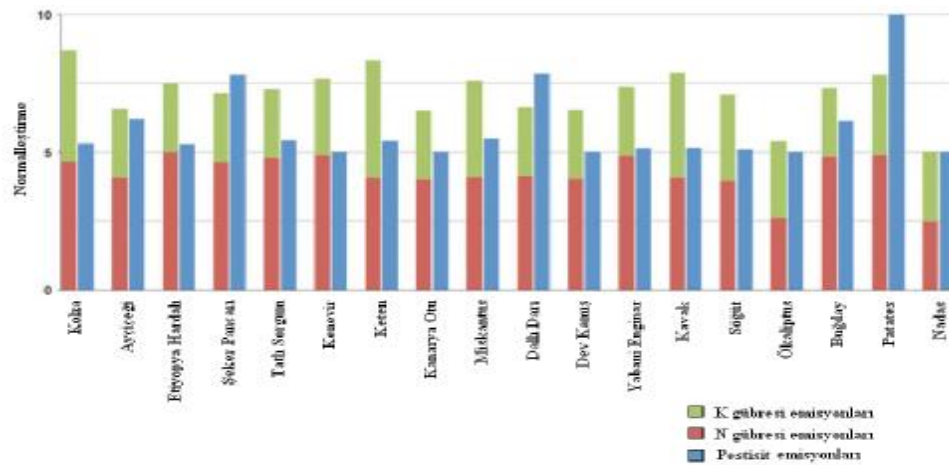
**Monti ve arkadaşları (2009)** çok yıllık enerji bitkileri için YDD yönteminin uygulanabilirliğini ele alan araştırmalarında, 4 adet enerji bitkisinin (dallı darı, cynara, dev kamış ve miskantus) çevresel etkisini değerlendirmişlerdir. Aynı zamanda bu 4 enerji bitkisini geleneksel yapılan buğday-mısır üretim sisteminin çevresel etkileriyle karşılaştırmışlardır. Bu çok yıllık enerji bitkilerinin, geleneksel yapılan buğday-mısır üretim sisteminin yerine kullanılmasıyla, çevresel etkileri ortalama % 50 azalttığını saptamışlardır. Dev kamışın enerji kazancı ve enerji verimliliği açısından diğer çok yıllık bitkilere kıyasla en iyi performansı sağlayan bitki olduğunu belirlemişlerdir. Dallı darının 9 etki kategorisinin 6'sında iyi sonuçlar verdiğini, özellikle de deniz canlılarının zehirlenmesinde diğer çok yıllık bitkilere kıyasla daha az etkiye sahip olduğunu saptamışlardır.

**Xunmin ve arkadaşları (2009)** Çin'de yaptıkları bir çalışmada, 6 adet biyoyakıt elde etme sisteminin enerji tüketimini ve sera gazı emisyonlarını YDD yönteminden faydalanarak belirlemişlerdir. Bu biyoyakıt elde etme yollarını; mısırdan etanol (CE), manyoktan etanol (KE), tatlı sorgumdan etanol (SE), soyadan biyodizel (SB), jatrophanadan biyodizel (JB) ve kullanılmış atık yağlardan biyodizel (UB) olarak kabul etmişlerdir. Bu biyoyakıt elde etme sistemlerinin tüm yaşam döngüsünü incelemişler, petrol ve dizel yakıt elde etme sistemleriyle karşılaştırmışlardır. Araştırmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

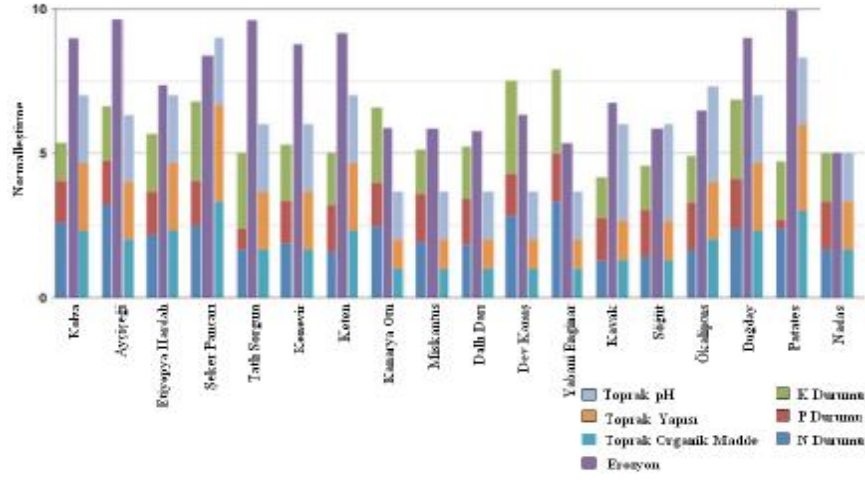
- Petrol ve dizel yakıt elde etme sistemleri ile karşılaştırılmaları açısından; KE, JB ve UB biyoyakıt elde etme sistemlerinin hem fosil yakıt tüketimini hem de sera gazı emisyonlarını azaltabildiklerini, CE ve SB biyoyakıt elde etme sistemlerinin ise sadece yakıt tüketimini azaltabildiğini fakat sera gazı emisyonlarını arttırdıklarını ve SE biyoyakıt elde etme sisteminin sadece yakıt tüketimini değil aynı zamanda sera gazı emisyonlarını da arttırdığını belirlemişler,

- Yüksek enerji tüketimi ve sera gazı emisyonlarına sebep olan ana faktörler açısından; yüksek enerji tüketiminin yakıt üretim safhası boyunca ve ürünün yetiştirilmesi sırasındaki gübrelemeden dolayı olduğunu saptamışlardır.

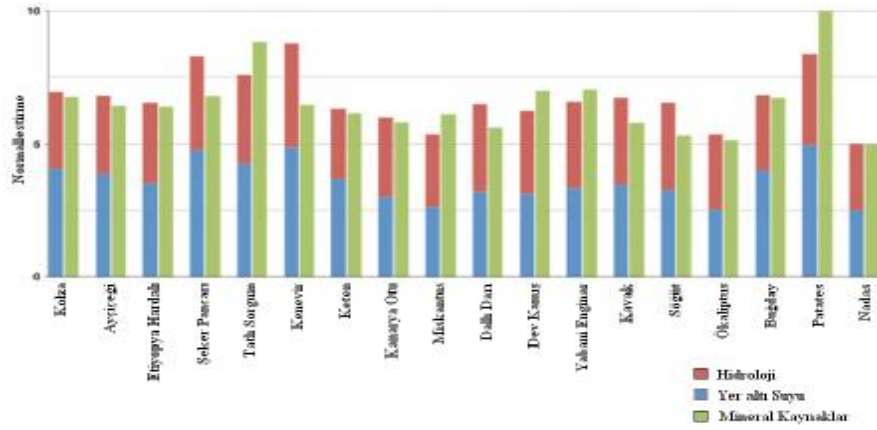
**Fernando ve arkadaşları (2010)**, Avrupa’da enerji bitkilerinin üretimi sırasındaki çevresel etkileri sürdürülebilir bir tarımsal üretim açısından belirlemeye ve değerlendirmeye çalışmışlardır. Bu amaçla; su ve mineral kaynak kullanımı, toprak niteliği ve erozyon, minerallerin ve pestisitlerin suya ve toprağa emisyonları, atık üretimi, manzara ve biyoçeşitlilik olarak çevresel etki kategorilerini belirlemişlerdir. Gübre ve pestisit kullanımı sonucu ortaya çıkan emisyonların etkileri için Şekil 2.1, toprağa salınım göstergelerinin etkileri için Şekil 2.2, suya ve mineral kaynaklara etkileri için Şekil 2.3 ve atık, biyoçeşitlilik ve manzara etki kategorileri için Şekil 2.4’te verilen sonuçları bulmuşlardır. Sonuçta, enerji bitkileri üretimini patates ve buğday üretimi ile karşılaştırdıklarında, yüksek bir çevresel etki olmadığını saptamışlardır.



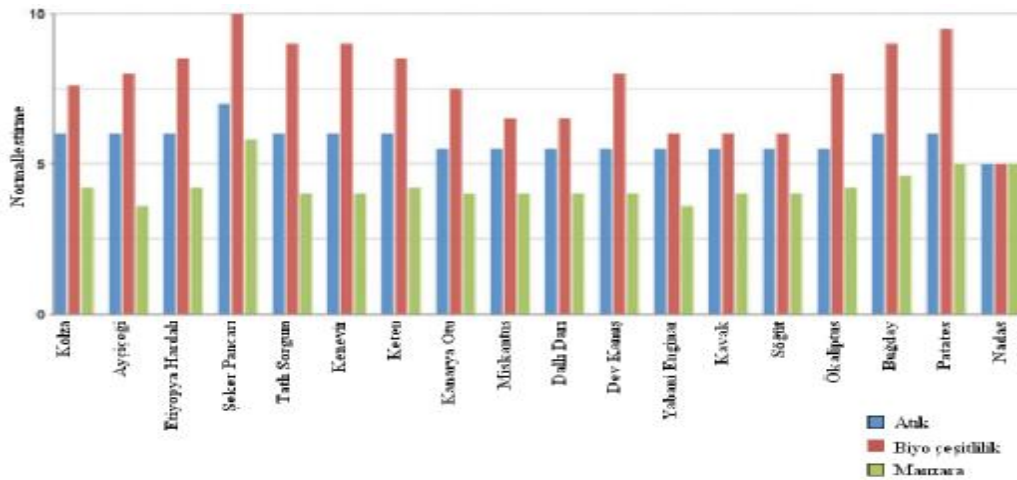
Şekil 2.1. Avrupa’da enerji bitkileri yetiştirilmesinde gübre ve pestisit uygulamalarından dolayı oluşan emisyonların etkileri (Fernando ve ark., 2010)



Şekil 2.2. Avrupa'da enerji bitkileri yetiştirilmesinde toprağa salınım göstergelerinin etkileri (Fernando ve ark., 2010)



Şekil 2.3. Avrupa'da enerji bitkileri yetiştirilmesinin suya ve mineral kaynaklara etkileri (Fernando ve ark., 2010)



Şekil 2.4. Avrupa'da enerji bitkileri yetiştirilmesinin atık, biyoçeşitlilik ve manzara etki kategorileri (Fernando ve ark., 2010)

**Segado ve arkadaşları (2010)**, kurak bölgelerde keçiboynuzu kabuğundan etanol üretiminin çevresel etkilerini belirlemeye çalışmışlardır. Bu amaçla yaptıkları çalışmada YDD yönteminden faydalanmışlardır. Sonuçta, sera gazı emisyonunu keçiboynuzu kabuğunun yetiştirilmesi için 564.54 kg CO<sub>2</sub>-eş/ha, etanol üretimi için de 0.72 kg CO<sub>2</sub>-eş/kg<sub>etanol</sub> hesaplamışlardır. Ek olarak keçiboynuzu kabuğunun enerji verimliliği değerininin (2.36) geleneksel bitkilerin enerji verimliliği değerine (buğday, 2.25) benzer olduğunu rapor etmişlerdir.

**de Vries ve arkadaşları (2010)** yaptıkları bir çalışmada, dokuz ana biyoyakıt bitkisinin (yağ palmyesi, şeker kamışı, şeker pancarı, manyok, buğday, mısır, tatlı sorgum, kolza ve soya) kaynak kullanım etkinliklerini ve çevresel performanslarını belirlemeye çalışmışlardır. Yağ palmyesi, şeker kamışı ve tatlı sorgum biyoyakıt bitkilerinin toprağı, suyu, azotu ve enerji kaynaklarını çok etkin kullandıklarını belirlemişlerdir. Bu üç biyoyakıt bitkisinin de fosil yakıtlarla kıyaslandıklarında toprak kullanımını ve sera gazı emisyonunu önemli ölçüde azalttıklarını saptamışlardır. Ayrıca, yağ palmyesinin toprak niteliğini önemli ölçüde iyileştirdiğini; buğday ve mısırın etanol yapımında hammadde olarak kullanımının tüm etki değerlendirmelerinde oldukça kötü olduğunu; şekerpancarı, manyok, kolza ve soyanın ortalama değerde biyoyakıt olarak kullanılabileceklerini belirlemişlerdir.

**Djomo ve Blumberga (2011)**, biyolojik hidrojen elde edilebilen 3 bitkisel ürününün (buğday samanı, tatlı sorgum sapı ve buharda soyulmuş patates) enerjetik ve çevresel performanslarını karşılaştırmak amacıyla karşılaştırmalı bir YDD çalışması yapmışlardır. Envanter verilerini bir pilot tesiste elde etmişler ve etki değerlendirmesini Impact 2002<sup>+</sup> metoduna göre yapmışlardır. Ortak ürün dikkate alınmadığı zaman, sera gazı emisyonlarını, buğday samanından hidrojen eldesi için 5.60 kg CO<sub>2</sub>-eş/kg H<sub>2</sub>, tatlı sorgum sapından hidrojen eldesi için 5.32 kg CO<sub>2</sub>-eş/kg H<sub>2</sub> ve buharda soyulmuş patates için 5.18 kg CO<sub>2</sub>-eş/kg H<sub>2</sub> olarak hesaplamışlardır. Daha sonra bu biyolojik hidrojen elde etme yollarını dizelden ve buharlı metan ayrıştırıcıdan hidrojen elde edilmesiyle de kıyaslamışlardır. Biyolojik hidrojen elde etme yollarının sera gazı emisyonlarını dizel ve buharlı metan ayrıştırıcılara göre, sırasıyla, % 52-56 ve % 54-57 azalttığını saptamışlardır. Enerji verimlerini, buğday samanından hidrojen eldesi için 1.08, tatlı sorgum sapından

hidrojen eldesi için 1.14 ve buharda soyulmuş patates için 1.17 olarak hesaplamışlardır. Ortak ürünü dikkate aldıkları zaman, biyolojik hidrojen elde etme yöntemlerinde enerji veriminin azaldığını ve sera gazı emisyonlarının arttığını belirtmişlerdir.

**Reno ve arkadaşları (2011)**, şeker kamışı küspesinden metanol üretiminin çevresel etkilerini belirlemeye çalışmışlardır. Bu amaçla YDD yönteminden faydalanmışlardır. Envanter verilerini yılda 100000 ton metanol üretim kapasitesi olan ve metanolü BTL'ye göre üreten bir tesiste toplamışlar ve hammadde olarak şeker kamışı küspesini kullanmışlardır. Daha sonra buldukları çevresel etkilerin sonuçlarını literatürde yer alan diğer biyoyakıt YDD araştırmalarıyla kıyaslamışlardır. Uygulamada var olan biyoyakıt üretim sistemlerinin çevresel performanslarında önemli farklar olduğunu ve aynı hammadde kullanılsa bile bu farkların gözlemlendiğini belirlemişlerdir. Bu ortaya çıkan farkların, kültürel uygulamalar ve biyokütle çevrim teknolojileri gibi pek çok faktöre bağlı olduğunu saptamışlardır. Şeker kamışı küspesinden elde edilen metanolün, doğal gazdan elde edilen metanolün yerine ikame edilebileceğini vurgulamışlardır.



### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Deneme Alanı

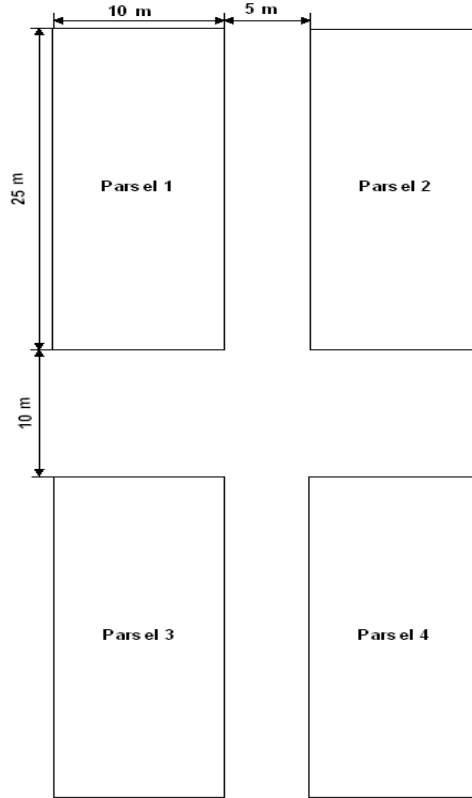
Denemeler, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Çiftliği içerisinde yer alan Tarım Makinaları Bölümü Araştırma ve Uygulama alanında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Tarım makinaları bölümü araştırma ve uygulama alanı

Uygulama alanında,  $10 \text{ m} \times 25 \text{ m} = 250 \text{ m}^2$ 'lik 4 adet parsel, tesadüfi parseller şeklinde hazırlanmıştır (Şekil 3.2).

Tatlı sorgum üretimi geleneksel olarak gerçekleştirilmiştir. Denemeler aynı uygulama alanında 2 yıl tekrar edilmiştir.



Şekil 3.2. Üretim deneme deseni

#### 3.1.1.1. Toprak Özellikleri

Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak bölümünde yapılmış olan toprak analizi sonuçlarına bağlı olarak deneme alanının toprak özellikleri, Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneme Alanının Toprak Özellikleri

| Toprak Özellikleri                    | Değerler | Sınıfı        |
|---------------------------------------|----------|---------------|
| Suyla doymunluk (%)                   | 73.00    | Killi*        |
| pH                                    | 7.32     | Nötr          |
| Tuz (%)                               | 0.19     | Hafif tuzlu   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/da) | 2.56     | Çok az        |
| K <sub>2</sub> O (kg/da)              | 106.30   | Fazla         |
| Kireç (%)                             | 18.10    | Fazla kireçli |
| Organik Madde (Humus) (%)             | 1.5      | Az            |

\* Kil içeriği % 51

Deneme alanının toprağının pH değeri, tatlı sorgum bitkisinin yetiştirilmesi için gerekli olan ideal pH değeri (5.0-8.5) arasındadır. Toprak killi (kil içeriği % 51) bir bünyeye (tekstür) sahiptir ve organik madde içeriği (humus) % 1.5'dur. Toprağın  $P_2O_5$  içeriği (2.56 kg/da) çok azdır. Dolayısıyla toprağa  $P_2O_5$  gübresi atılması gerekmektedir. Toprağın  $K_2O$  içeriği (106.30 kg/da) ise fazladır. Dolayısıyla toprağa  $K_2O$  gübresinin atılmasına gerek olmamaktadır.

### 3.1.1.2. İklim Özellikleri

Araştırmanın yürütüldüğü deneme alanında tatlı sorgum yetiştirme dönemine ilişkin iklimsel veriler, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü deneme alanında bulunan otomatik iklim ve gözlem istasyonundan temin edilmiştir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Araştırmanın Yürütüldüğü Deneme Alanında Tatlı Sorgum Yetiştirme Dönemine İlişkin İklimsel Veriler ve Uzun Yıllık Ortalama Değerler

| Yıl        | İklim Ögeleri                                           | Aylar |         |        |         |       |
|------------|---------------------------------------------------------|-------|---------|--------|---------|-------|
|            |                                                         | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül |
| Uzun Dönem | Sıcaklık, °C (1930-2007)                                | 21.5  | 25.3    | 27.9   | 28.2    | 25.6  |
|            | Bağıl nem, % (1930-2008)                                | 64.2  | 63.4    | 65.9   | 65.2    | 60.2  |
|            | Yağış miktarı, mm (1932-2007)                           | 45.8  | 19.0    | 6.2    | 5.5     | 15.4  |
|            | Güneşlenme süresi, h (1969-2002)                        | 9.1   | 10.5    | 10.6   | 10.3    | 8.8   |
|            | Güneş ışınım şiddeti, MJ/m <sup>2</sup> gün (1969-2002) | 19.8  | 24.6    | 26.3   | 22.2    | 19.9  |
|            | Buharlaşma, mm (1975-2007)                              | 162.8 | 206.7   | 235.1  | 220.7   | 177.4 |
| 2009       | Sıcaklık, °C                                            | 22.1  | 27.2    | 28.3   | 29.3    | 25.0  |
|            | Bağıl nem, %                                            | 64.2  | 69.2    | 79.3   | 72.9    | 73.7  |
|            | Yağış miktarı, mm                                       | 32.0  | 0.0     | 13.0   | 0.0     | 38.0  |
|            | Güneşlenme süresi, h                                    | 10.0  | 10.8    | 10.7   | 10.4    | 8.4   |
|            | Güneş ışınım şiddeti, MJ/m <sup>2</sup> gün             | 23.0  | 24.1    | 23.3   | 20.2    | 17.0  |
|            | Buharlaşma, mm                                          | 199.4 | 238.4   | 264.5  | 257.5   | 189.8 |
| 2010       | Sıcaklık, °C                                            | 22.4  | 26.1    | 28.5   | 30.8    | 28.3  |
|            | Bağıl nem, %                                            | 74.4  | 71.2    | 76.9   | 74.8    | 73.6  |
|            | Yağış miktarı, mm                                       | 0.0   | 1.4     | 0.7    | 0.0     | 1.7   |
|            | Güneşlenme süresi, h                                    | 8.4   | 10.2    | 9.7    | 9.7     | 9.3   |
|            | Güneş ışınım şiddeti, MJ/m <sup>2</sup> gün             | 21.9  | 23.8    | 22.8   | 20.4    | 18.1  |
|            | Buharlaşma, mm                                          | 179.4 | 217.0   | 221.4  | 244.8   | 200.7 |

Tatlı sorgumun yetiştirme dönemindeki sıcaklık isteği 20-35°C ve su gereksinimi 500-600 mm'dir (Guiying ve ark., 2003). Denemenin yürütüldüğü dönemdeki sıcaklık (22-31°C), bitkinin yetiştirme döneminde ihtiyaç duyduğu sıcaklığı

karşılacaktır. Su gereksinimini ise karşılayamamaktadır. Bundan dolayı yetiştirme döneminde sulamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca tatlı sorgum, bir kısa gün bitkisi olduğundan yetiştirme döneminde ki güneşlenme süresi yeterli olmaktadır.

### 3.1.2. Tatlı Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Bitkisinin Üretimi

Üretimi yapılan tatlı sorgum bitkisi ile ilgili ayrıntılı bilgiler, 1. bölümde verilmiştir.

Tatlı sorgum üretimi için yapılan kültürel uygulamalar ve bakım işlemleri Çizelge 3.3’de özetlenmiş (Şekil 3.3 – 3.6), tarla uygulamaları ve kullanılan tarım makinaları Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Tatlı Sorgum Üretimi İçin Kültürel Uygulamalar ve Bakım İşlemleri

| Kültürel Uygulamalar | Uygulamanın Özelliği                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Toprak işleme        | Toprak, pulluk ile 20-25 cm derinlikte sürülmüştür. Daha sonra goble diskaro ile toprakta oluşan kesekler parçalanmıştır. Son olarak tapan ile toprak düzeltilmiştir.                                                                                             |
| Ekim                 | Mayıs ayının ilk yarısında, 4 sıralı pnömatik ekim makinası ile, sıra arası 45 cm, sıra üzeri 15-20 cm olacak şekilde, 4-5 cm derinliğe ekim yapılmıştır. Ekim normu ortalama 5 kg/ha’dır.                                                                        |
| Ara çapa             | Tatlı sorgum bitkisinin boyu 35-40 cm olduğunda ve ekimden 45 gün sonra, 5 sıralı ara çapa makinası ile çapalanarak yabancı ot mücadelesi yapılmıştır.                                                                                                            |
| Gübreleme            | Pnematik ekim makinasının gübreleme ünitesi ile hektara 200 kg 20-20-0 (DAP) ekim anında sıra arasına toprak altına verilmiştir. Ara çapa işleminde, 5 sıralı gübreli ara çapa makinası ile azotlu gübreleme yapılmıştır. Hektara 400 kg AN (% 33) uygulanmıştır. |
| Sulama               | Ekimden itibaren bitkiler çıktıktan 1 m boylanıncaya kadar 7-10 günde bir, bundan sonra da hasat zamanına kadar 12-14 gün arayla yağmurlama sulama yapılmıştır. Yetiştirme dönemi süresince, toplam olarak hektara 680 m <sup>3</sup> su verilmiştir.             |
| Hasat                | Bitki tam olum dönemine geldiğinde, Eylül ayının ilk haftasında tohumun nem içeriği % 8-12 arasında iken, tamburlu çayır biçme makinası ile 5 cm boyunda anız bırakılacak şekilde bitki hasat edilmiştir.                                                         |



Şekil 3.3. Ekim yapılan parselin genel görünüşü



Şekil 3.4. İlk çapalamadan sonra (bitki boyu 35 cm) parselin genel görünüşü



Şekil 3.5. Ekimden 60 gün sonra (bitki boyu 2 m) parselin genel görünüşü



Şekil 3.6. Ekimden 90 gün sonra (bitki boyu 3 m) parselin genel görünüşü

Çizelge 3.4. Tatlı Sorgum Üretimi İçin Tarla Uygulamaları ve Kullanılan Tarım Makinaları

| Tarla Uygulamaları     | Tarım Makinaları                           |
|------------------------|--------------------------------------------|
| 1. sınıf toprak işleme | 3 gövdeli pulluk                           |
| 2. sınıf toprak işleme | 20 diskli goble diskaro ve tapan           |
| Ekim                   | Gübreli ve 4 sıralı pnömatik ekim makinası |
| Çapalama               | Gübreli ve 5 sıralı ara çapa makinası      |
| Hasat                  | Tamburlu çayır biçme makinası              |

### 3.1.3. Tarım Makinaları

Tatlı sorgum üretim işlemlerinde kullanılan tarım makinaları ve teknik özellikleri Çizelge 3.5’de verilmiştir. Ayrıca Çizelge 3.6’da da bu işlemlerde kullanılan traktörlerin teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.5. Tatlı Sorgum Üretim İşlemlerinde Kullanılan Tarım Makinalarının Teknik Özellikleri

| Tarım Makinası                  | Özellik   | İş genişliği (m) | Kütle (kg) |
|---------------------------------|-----------|------------------|------------|
| Pulluk*                         | 3 Gövdeli | 1.10             | 1220       |
| Goble diskaro*                  | 20 Diskli | 2.10             | 2220       |
| Tapan*                          |           | 3.50             | 1300       |
| Pnömatik ekim makinası*         | 4 Sıralı  | 2.10             | 1900       |
| Gübreli ara çapa makinası**     | 5 Sıralı  | 2.10             | 720        |
| Tamburlu çayır biçme makinası** | 2’li      | 1.65             | 370        |

\* New Holland TD95D traktör kullanılmıştır.

\*\* John Deere 5210 traktör kullanılmıştır.

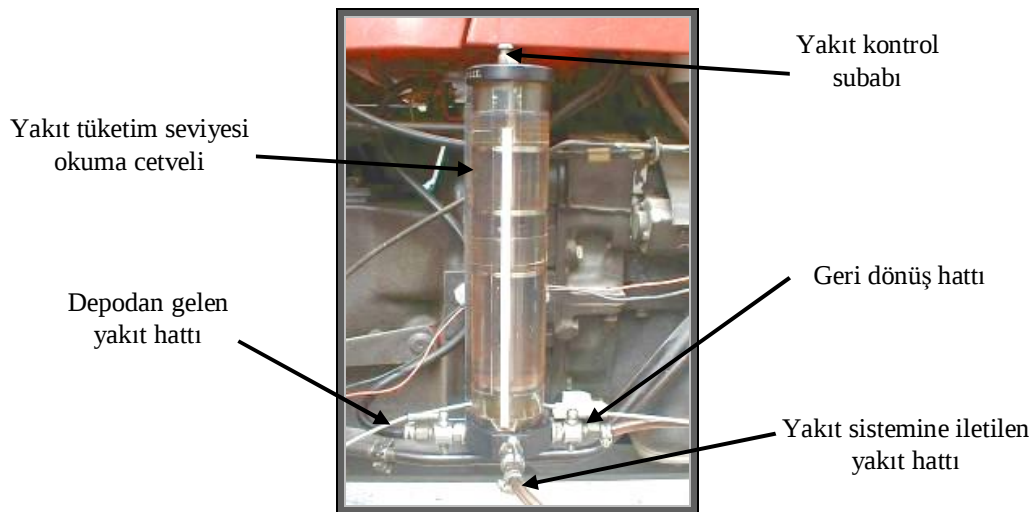
Çizelge 3.6. Üretim İşlemlerinde Kullanılan Traktörlere Ait Teknik Özellikler

| Özellikler             | Traktörler             |                        |
|------------------------|------------------------|------------------------|
|                        | John Deere             | New Holland            |
| Model                  | 5210                   | TD95D                  |
| Motor tipi             | 4 zamanlı, dizel motor | 4 zamanlı, dizel motor |
| Silindir sayısı (adet) | 3                      | 4                      |
| Silindir hacmi (l)     | 2.9                    | 3.9                    |
| Anma gücü (BG)         | 53 (39.5 kW)           | 95 (70.9 kW)           |
| Toplam kütle (kg)      | 2300                   | 3770                   |

### 3.1.4. Yakıt Tüketimi Ölçüm Sistemi

Yakıt tüketimi, çalışmada kullanılan traktörün birim sürede tükettiği yakıt miktarıdır. Tarla denemeleri sırasında yakıt tüketimi ölçümlerinde, traktör yakıt sistemine bağlanan 600 cc hacimli ve üzerinde, depodan gelen yakıt, yakıt pompasına iletilen yakıt ve traktör yakıt sisteminden geri dönen fazla yakıt hatlarının bağlanabildiği üç adet vanalı bağlantı noktası bulunan bir akışmetre kullanılmıştır (Şekil 3.7).

Akışmetre üzerinde, tüketilen yakıt miktarının okuma yapılarak belirlendiği bir cetvel (cc) ve akışmetrenin doldurulması, depo ile bağlantının kesilmesi durumunda akışmetre içindeki yakıtın yakıt sistemine iletilmesi gibi işlevleri yerine getiren bir yakıt kontrol subabı da bulunmaktadır.

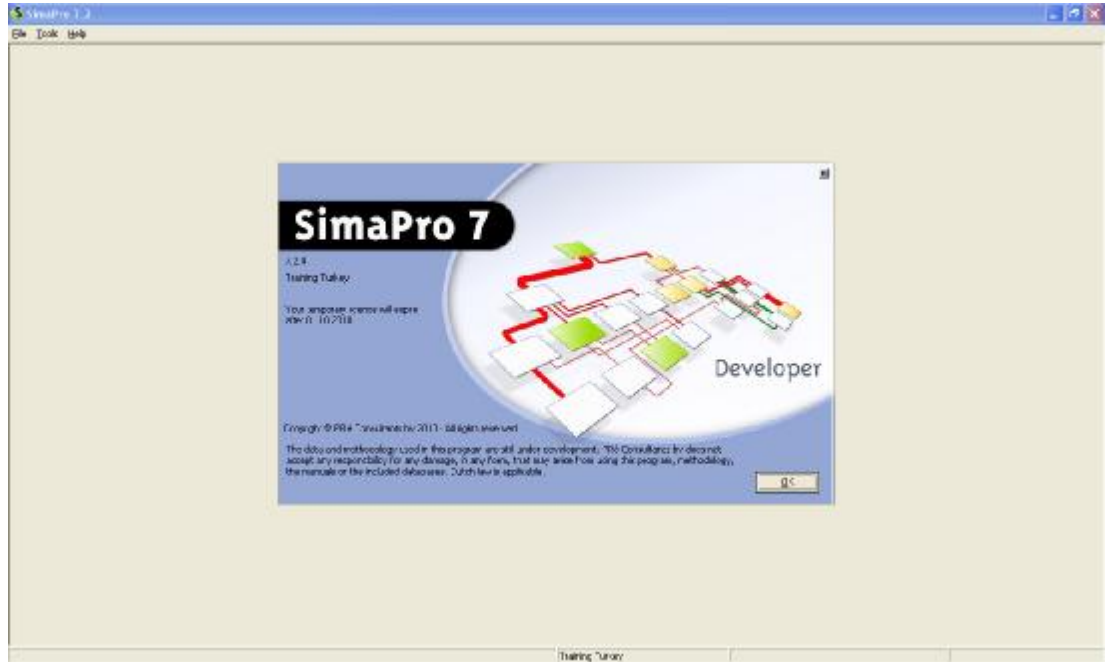


Şekil 3.7. Traktör yakıt tüketimi ölçümlerinde (tarla koşullarında) kullanılan akışmetre

### 3.1.5. SimaPro 7 Programı

Üretilen tüm ürünlerin çevreye bir etkisi vardır. Bu etkiyi azaltmak ve diğer ürünlere göre çevreye olan etkilerini öğrenmek için YDD yönteminden faydalanılmaktadır. YDD yöntemine göre çevresel etkileri değerlendirmek amacıyla Çizelge 1.26’da verilen birçok programdan yararlanılabilmektedir. SimaPro 7’de bu programlardan bir tanesidir.

SimaPro 7, bir ürünün üretim ve kullanım aşamalarında kirliliğe sebep verebilecek, yüksek enerji ve hammadde gereksinimi olan aşamaları belirlemeye ve bunların etkilerini hesaplamaya yardımcı olan, Ecoinvent veritabanına sahip, ISO 14044-4, PAS2050 ve GHG protokolü ile uyumlu ve karbon envanterini hesaplayabilen bir programdır (Şekil 3.8). Bu programın en çekici özelliklerinden birisi, Ecoinvent veritabanının sürekli olarak güncel tutulmasıdır.



Şekil 3.8. SimaPro 7 programı

### 3.2. Metod

#### 3.2.1. Tatlı Sorgum Biyokütlesinin Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi

##### 3.2.1.1. Tatlı Sorgum Biyokütlesi

Tatlı sorgum biyokütlesi, hasat olgunluğunda ki bitkinin tamburlu çayır biçme makinası ile hasadı sonrası, elde edilen bitki materyalinde ki tohumlar ayrıldıktan sonra arta kalan kuru materyal (sap, yaprak ve tohumuz salkım) olarak tanımlanmıştır. Miktarı, arta kalan kuru materyalin birim alan (ha) başına kütlesi olarak belirlenmiştir.

##### 3.2.1.2. Kısa ve Elementel Analizler

Tatlı sorgum biyokütlesinin kısa (nem, uçucu madde, kül ve bağlı karbon) ve elementel analizleri (C, H<sub>2</sub>, N, S ve O<sub>2</sub>) TÜBİTAK-MAM Enerji Enstitüsünde yaptırılmıştır. Kısa analiz, LECO TGA-701 marka Termogravimetrik analiz cihazı ile, elementel analiz ise LECO marka TruSpec (C, H<sub>2</sub>, N-S) elementel analiz cihazı kullanılarak TÜBİTAK-MAM Enerji Enstitüsü tarafından belirlenmiştir.

Enstitü, nem, uçucu madde, kül ve bağlı karbon miktarlarını ASTM D 7582 standardına göre, kükürt miktarını ASTM D 4239 standardına göre ve C, H<sub>2</sub>, N miktarlarını da ASTM D 5373 standardına göre belirlemiştir.

##### 3.2.1.3. Isıl Değerler

Tatlı sorgum biyokütlesinin üst ısı değeri (HHV) aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Yin, 2011).

$$HHV = 0.2949 \times C + 0.8250 \times H \dots\dots\dots(3.1)$$

Burada;

HHV : Üst ısı değeri (MJ/kg KM),

C : Tatlı sorgum biyokütlesi karbon içeriği (%) ve

H : Tatlı sorgum biyokütlesi hidrojen içeriğidir (%).

McKendry (2002)'ye göre uygulamada kullanılan biyokütle gibi kuru ürünlerde hiç nem yoktur ve kuru biyokütle için hesaplanan HHV, alt ısı değeri (LHV) eşittir. Bu ifadeden dolayı tatlı sorgum biyokütlesinin HHV'sinin LHV'sine eşit olduğu varsayılmıştır.

### 3.2.2. Enerji Analizinin Yapılması

#### 3.2.2.1. Enerji Girdilerinin Belirlenmesi

Tatlı sorgum üretimindeki enerji girdileri, doğrudan ve dolaylı girdiler olarak iki grupta incelenmiştir.

##### 3.2.2.1.1. Doğrudan Enerji Girdileri

Doğrudan enerji girdileri, tatlı sorgum üretimi için doğrudan kullanılan ve enerji değeri yüksek olan girdilere bağlı olarak hesaplanmıştır. Bu anlamda, üretim işlemleri sırasında, tarım alet/makinaları tarafından tüketilen yakıt ve yağ enerjileri doğrudan enerji girdisi olarak değerlendirilmiştir.

$$EG_{dg} = E_{yakıt} + E_{yağ} \dots\dots\dots(3.2)$$

Burada;

$EG_{dg}$  : Doğrudan enerji girdisi (MJ/ha),

$E_{yakıt}$  : Alan başına yakıt enerjisi tüketimi (MJ/ha) ve

$E_{yağ}$  : Alan başına yağ enerjisi tüketimidir (MJ/ha).

**a) Yakıt Enerjisi:** Tatlı sorgum üretiminde, tarım/alet makinaları ile gerçekleştirilen üretim işlemleri sırasında, traktör tarafından tüketilen yakıt miktarı yakıt tüketimi ölçüm sistemi ile belirlenmiştir.

**Yakıt Tüketiminin Ölçülmesi:** Traktör yakıt deposundan alınan yakıt, Şekil 3.7’de görülen akışmetreye gelmekte ve akışmetreden bir bağlantı hortumu ile yakıt sistemine taşınmaktadır. Enjektörlerde ve enjeksiyon pompasında kullanılmayan fazla yakıt ise bağlantı hortumları ile tekrar akışmetreye iletilmektedir. Traktörün bu sistem ile çalışması sırasında, 20 m’lik mesafelerde ve kullanılan aletlerin iş genişliğine bağlı olarak akışmetre üzerinde yakıtın ne kadarlık bir alan içerisinde tüketildiği 4 tekrarlı olarak saptanmış ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması dikkate alınmıştır. Her bir ölçüm sonunda akışmetrede okunan yakıt miktarı (L) ve efektif iş genişliği değerleri (m) ile çalışma koşulları için birim alandaki yakıt tüketimi değerleri hesaplanmıştır (L/ha).

Tatlı sorgum üretiminde birim üretim alanı (ha) için tüketilen yakıt enerjisi miktarı, üretim işlemleri sırasında traktör tarafından tüketilen yakıt miktarı ve tüketilen kırsal motorinin alt ısıl değerine bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$E_{\text{yakıt}} = M_{\text{yakıt}} \times LHV_{\text{yakıt}} \dots\dots\dots(3.3)$$

Burada;

- $E_{\text{yakıt}}$  : Alan başına yakıt enerjisi tüketimi (MJ/ha),  
 $M_{\text{yakıt}}$  : Alan başına traktörün yakıt tüketimi (L/ha) ve  
 $LHV_{\text{yakıt}}$  : Yakıtın alt ısıl değeridir (MJ/L).

Tarım alet/makinaları ile tarlada üretim işlemleri sırasında traktör tarafından tüketilen motorinin özgül kütlesi 0.83 kg/L ve alt ısıl değeri 43 MJ/kg (35.69 MJ/L) olarak dikkate alınmıştır.

**b) Yağ Enerjisi:** Tatlı sorgum üretiminde motor yağı tüketimi nedeniyle gerçekleşen yağ enerjisi girdisi, üretim işlemleri sırasında kullanılan tarım traktörünün saatlik yağ tüketimi değeri dikkate alınarak belirlenmiştir.

Tarım traktörünün saatlik yağ tüketimi, traktörün en yüksek kuyruk mili gücüne bağlı olarak aşağıdaki gibi belirlenmiştir (Öztürk, 2010).

$$YT = 0.00059 \times KMG_{\text{max}} + 0.02169 \dots\dots\dots(3.4)$$

Burada;

- YT : Traktörün saatlik yağ tüketimi (L/h) ve  
 KMG<sub>max</sub> : Traktörün maksimum kuyruk mili gücüdür (kW).

Tatlı sorgum üretim işlemleri için kullanılan tarım traktörünün maksimum kuyruk mili gücü (KMG<sub>max</sub>), traktör anma gücünün (P<sub>anma</sub>, kW) % 88'i olarak dikkate alınmış ve aşağıdaki gibi belirlenmiştir (Sabancı ve ark., 2010).

$$KMG_{max} = 0.88 \times P_{anma} \dots\dots\dots(3.5)$$

Tatlı sorgum üretim işlemlerinde birim alan için tüketilen yağ enerjisi miktarı, üretim işlemleri sırasında traktör tarafından saatlik olarak tüketilen yağ miktarı, tüketilen yağın alt ısı değeri ve traktörün alan iş kapasitesine bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$E_{yağ} = YT \times LHV_{yağ} \times AİK \dots\dots\dots(3.6)$$

Burada;

- E<sub>yağ</sub> : Alan başına yağ enerjisi girdisi (MJ/ha),  
 YT : Traktörün saatlik yağ tüketimi (L/h),  
 LHV<sub>yağ</sub> : Yağın alt ısı değeri (MJ/L) ve  
 AİK : Traktörün alan iş kapasitesidir (h/ha).

Tarım alet/makinaları ile tarlada üretim işlemleri sırasında, traktör tarafından tüketilen motor yağının (SAE 40) özgül kütlesi 0.91 kg/L ve alt ısı değeri 7.15 MJ/kg (6.51 MJ/L) olarak dikkate alınmıştır (Ejiloh ve Asere, 2008).

### 3.2.2.1.2. Dolaylı Enerji Girdileri

Tatlı sorgum üretiminde kullanılan; insan iş gücü ile tarım alet/makinaları, kimyasal gübre, sulama ve tohumluk üretimi için tüketilen enerji miktarları, dolaylı enerji girdisi olarak dikkate alınmıştır.

$$EG_{dy} = \dot{I}E + ME + GE + SE + TE \dots\dots\dots(3.7)$$

Burada;

- $EG_{dy}$  : Dolaylı enerji girdisi (MJ/ha),  
 $\dot{I}E$  : İnsan işgücü enerjisi (MJ/ha),  
 $ME$  : Alan başına makina kullanımına ilişkin dolaylı enerji tüketimi (MJ/ha),  
 $GE$  : Birim alana toplam gübre enerjisi girdisi (MJ/ha),  
 $SE$  : Birim alana sulama enerjisi girdisi (MJ/ha) ve  
 $TE$  : Birim alana tohumluk enerjisidir (MJ/ha).

**a) İnsan İşgücü Enerjisi:** Tatlı sorgum üretimi sırasında insan işgücüne ilişkin dolaylı enerji tüketimi aşağıdaki gibi belirlenmiştir (Öztürk, 2010).

$$\dot{I}E = \frac{\dot{I}S \times \dot{C}S}{A} \times \dot{I}EE \dots\dots\dots(3.8)$$

Burada;

- $\dot{I}E$  : İnsan işgücü enerjisi (MJ/ha),  
 $\dot{I}S$  : İşçi sayısı (adet),  
 $\dot{C}S$  : Çalışma süresi (h),  
 $A$  : Birim alan (ha) ve  
 $\dot{I}EE$  : İşgücü enerji eşdeğeridir (MJ/h).

Tatlı sorgum üretim işlemleri sırasında insan işgücüne ilişkin enerji eşdeğeri 2.28 MJ/h olarak dikkate alınmıştır (Kallivroussis ve ark., 2002).

**b) Tarım Makinalarına İlişkin Dolaylı Enerji Girdisi:** Tarım makinalarının kullanımına ilişkin dolaylı enerji tüketimi kapsamında aşağıda belirtilen enerji miktarları dikkate alınır (Öztürk, 2010):

- Ø Makinaların imalatında kullanılan hammaddelerin çıkarılması/taşınması/işlenmesi için tüketilen enerji miktarı,
- Ø Fabrikada hammaddeden makina tasarım/imalat işlemleri için kullanılan enerji miktarı,

Ø Makinanın tamir/bakım işlemlerinde kullanılan enerji miktarı ve

Ø Makinanın dağıtım/taşıması için kullanılan enerji miktarıdır.

Tatlı sorgum üretim işlemleri sırasında, her bir tarla uygulaması için kullanılan tarım makinalarına ilişkin işlenen alan başına dolaylı enerji tüketimi aşağıdaki gibi belirlenmiştir (Öztürk, 2010).

$$ME = \frac{MYE + TBE + TDE}{EÖ \times EİK} \times \dot{I}_{iS} \dots \dots \dots (3.9)$$

Burada;

ME : Alan başına makinaya ilişkin dolaylı enerji tüketimi (MJ/ha),

MYE : Makina yapım enerjisi (MJ),

TBE : Makinanın tamir/bakım enerjisi (MJ),

TDE : Makinanın taşıma/dağıtım enerjisi (MJ),

EÖ : Makinanın ekonomik ömrü (h),

EİK : Etkin iş kapasitesi (ha/h) ve

$\dot{I}_{iS}$  : İşlem sayısıdır (adet).

Tatlı sorgum üretiminde kullanılan tarım makinalarının kütleleri, ekonomik ömürleri, etkin iş kapasiteleri ve imalat enerjisi değerleri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Tatlı Sorgum Üretiminde Kullanılan Tarım Makinalarının Kütleleri, Ekonomik Ömürleri\*, Etkin İş Kapasiteleri ve İmalat Enerjisi\*\* Değerleri

| Tarım Makinası       | Kütle (kg) | Ekonomik Ömür (h) | Etkin İş Kapasitesi (ha/h) | İmalat Enerjisi (MJ/kg) |
|----------------------|------------|-------------------|----------------------------|-------------------------|
| Traktör (95 BG)      | 3770       | 10000             | -                          | 77.12                   |
| Traktör (53 BG)      | 2300       | 10000             | -                          | 68.17                   |
| Pulluk               | 1220       | 2000              | 0.52                       | 62.88                   |
| Goble diskaro        | 2220       | 2000              | 1.26                       | 62.88                   |
| Tapan                | 1300       | 2000              | 3.15                       | 62.88                   |
| Ekim Makinası        | 1900       | 1500              | 0.76                       | 59.70                   |
| Çapa Makinası        | 720        | 2000              | 1.01                       | 59.70                   |
| Çayır Biçme Makinası | 360        | 2000              | 0.72                       | 59.70                   |

\* Mikkola ve Ahokas, 2009

\*\* İmalat enerjisi; makina yapım enerjisi, makina tamir bakım enerjisi ve makina taşıma/dağıtım enerjisine bağlı olarak hesaplanmıştır.

**c) Kimyasal Gübre Kullanımına İlişkin Dolaylı Enerji Girdisi:** Tatlı sorgum üretiminde kimyasal gübre kullanımına ilişkin, gübrelenen birim alan başına toplam dolaylı enerji tüketimi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Öztürk, 2010).

$$GE = \sum_{l=1}^{l=s} \left[ \sum_{n=1}^{n=u} \frac{[N \times N_{eş}]_n}{A} + \sum_{n=1}^{n=u} \frac{[P_2O_5 \times P_2O_{5eş}]_n}{A} + \sum_{n=1}^{n=u} \frac{[K_2O \times K_2O_{eş}]_n}{A} \right] \dots\dots(3.10)$$

Burada;

- GE : Birim alana toplam gübre enerjisi girdisi (MJ/ha),  
 N : Uygulanan azotlu gübre miktarı (kg),  
 N<sub>eş</sub> : Azotlu gübre üretimi için tüketilen enerji miktarı (MJ/kg),  
 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : Uygulanan fosforlu gübre miktarı (kg),  
 P<sub>2</sub>O<sub>5eş</sub> : Fosforlu gübre üretimi için tüketilen enerji miktarı (MJ/kg),  
 K<sub>2</sub>O : Uygulanan potasyumlu gübre miktarı (kg),  
 K<sub>2</sub>O<sub>eş</sub> : Potasyumlu gübre üretimi için tüketilen enerji miktarı (MJ/kg),  
 A : Birim alan (ha) ve  
 u : Gübre uygulama sayısıdır (adet).

Tatlı sorgum üretiminde kullanılan kimyasal gübrelerin üretim enerjileri olarak Çizelge 3.8’de verilen değerler kullanılmıştır.

Çizelge 3.8. Kimyasal Gübrelerdeki Saf Maddenin Üretimi İçin Enerji Tüketimi Değerleri (Ramirez ve Worrel, 2006)

| Kimyasal Gübreler                       | Enerji Tüketimi<br>(MJ/kg) |
|-----------------------------------------|----------------------------|
| Azot (N)                                | 45                         |
| Fosfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 8                          |

**d) Sulamaya İlişkin Dolaylı Enerji Girdisi:** Tatlı sorgum üretiminde su kullanımına ilişkin birim alan başına toplam dolaylı enerji tüketiminin hesaplanmasında su kullanımına ilişkin enerji eşdeğeri, doğrudan yağmurlama sulama yapıldığı için 4.2 MJ/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır (Mrini ve ark., 2001).

**e) Tohumluk Kullanımına İlişkin Dolaylı Enerji Girdisi:** Tatlı sorgum üretimi için kullanılan tohumluk miktarına ilişkin dolaylı olarak tüketilen tohumluk enerjisi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Öztürk, 2010).

$$TE = EN \times (TÜE + PTE) \dots\dots\dots(3.11)$$

Burada;

- TE : Birim alana tohumluk enerjisi (MJ/ha),  
 EN : Ekim normu (kg/ha),  
 TÜE : Tohum üretim enerjisi (MJ/kg) ve  
 PTE : Paketleme ve taşıma enerjisidir (MJ/kg).

Tatlı sorgum tohumu üretimi için tüketilen enerji miktarı (tohumluk üretim enerjisi) olarak 40 MJ/kg değeri dikkate alınmıştır (Lizarazu ve ark., 2010).

### 3.2.2.1.3. Toplam Enerji Girdisi

Tatlı sorgum üretiminde toplam enerjisi girdisi olarak, doğrudan ve dolaylı enerji girdilerinin toplamı dikkate alınmıştır.

$$TEG = EG_{dg} + EG_{dy} \dots\dots\dots(3.12)$$

Burada;

- TEG : Toplam enerji girdisi (MJ/ha),  
 EG<sub>dg</sub> : Doğrudan enerji girdisi (MJ/ha) ve  
 EG<sub>dy</sub> : Dolaylı enerji girdisidir (MJ/ha).

### 3.2.2.2. Enerji Çıktılarının Belirlenmesi

Tatlı sorgum üretimi sonucunda kazanılan başlıca çıktılar, ana ürün olarak tatlı sorgum biyokütlesi ve yan ürün olarak da bitkinin tohumudur. Tatlı sorgum

üretimi sonucunda elde edilen ana ürün ve yan ürünlerle ilgili olarak kazanılan toplam enerji miktarı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Öztürk, 2010).

$$TEÇ=(AÜV \times E_{aü})+(YÜV \times E_{yü}) \dots\dots\dots(3.13)$$

Burada;

- TEÇ : Toplam enerji çıktısı (MJ/ha),  
AÜV : Ana ürün verimi (kg/ha),  
YÜV : Yan ürün verimi (kg/ha),  
E<sub>aü</sub> : Ana ürünün enerji eşdeğeri (MJ/kg) ve  
E<sub>yü</sub> : Yan ürünün enerji eşdeğeridir (MJ/kg).

Tatlı sorgum üretiminde enerji çıktılarının belirlenmesi için Çizelge 3.9'da belirtilen enerji eşdeğerleri dikkate alınmıştır.

Çizelge 3.9. Tatlı Sorgum Tanesi ve Biyokütlesinin Enerji Eşdeğerleri

| Ürünler   | Enerji Eşdeğeri (MJ/kg) | Kaynak                    |
|-----------|-------------------------|---------------------------|
| Tohum     | 14.27                   | Sutter ve Jungbluth, 2007 |
| Biyokütle | 18.53                   | Eşitlik 3.1               |

### 3.2.2.3. Enerji Etkinliğinin Belirlenmesi

Tatlı sorgum üretiminde enerji etkinliğinin belirlenmesi için Çizelge 3.10'da verilen göstergelerden yararlanılmıştır.

Çizelge 3.10. Tarımda Enerji Kullanım Etkinliği Göstergeleri (Öztürk, 2010)

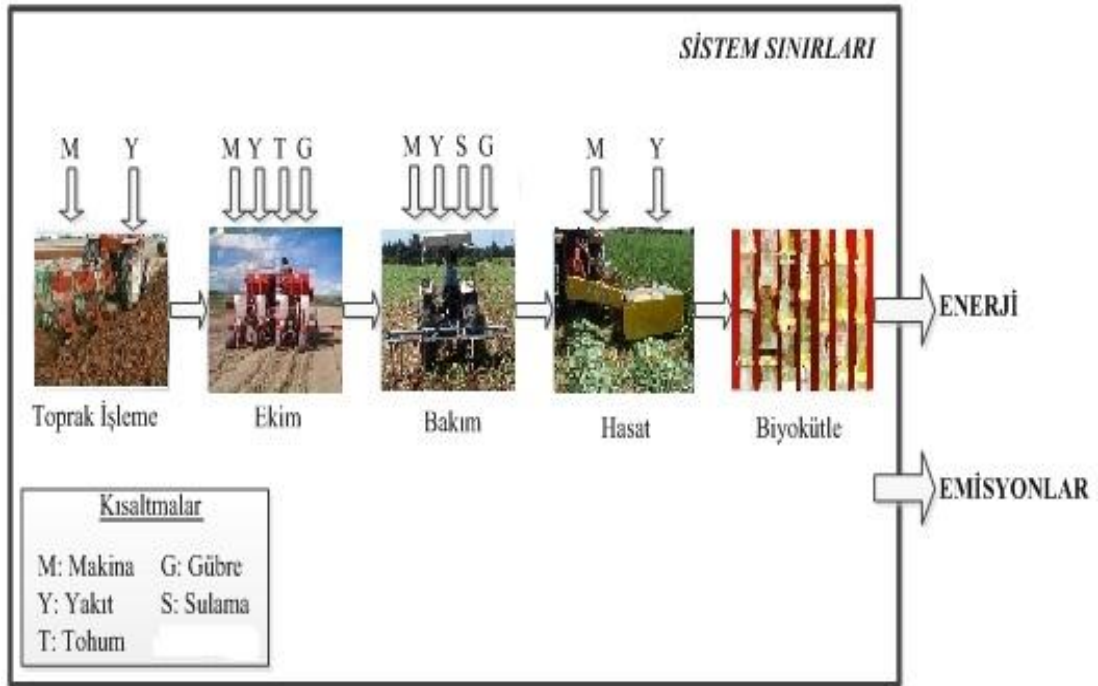
| Gösterge           | Tanımı                                                                                    | Birimi |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Enerji Verimi      | $\frac{\text{Çıkan toplam enerji miktarı}}{\text{Kullanılan toplam enerji miktarı}}$      | -      |
| Özgül Enerji       | $\frac{\text{Kullanılan toplam enerji miktarı}}{\text{Hasat edilen toplam ürün miktarı}}$ | MJ/kg  |
| Enerji Üretkenliği | $\frac{\text{Hasat edilen toplam ürün miktarı}}{\text{Kullanılan toplam enerji miktarı}}$ | kg/MJ  |
| Net Enerji Üretimi | Çıkan toplam enerji miktarı - Kullanılan toplam enerji miktarı                            | MJ/ha  |

### 3.2.3. Çevresel Etkilerin Belirlenmesi

Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilirken oluşan çevresel etkiler, Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD) yöntemine göre belirlenmiştir. YDD yönteminden ayrıntılı bir şekilde, 1. bölümde bahsedilmiştir.

#### 3.2.3.1. Amaç ve Kapsam Tanımı

Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilirken, yetiştirilmesi sırasında tarımsal uygulamalardan dolayı oluşan çevresel etkilerin belirlenmesi ve kamuoyunun bu konu üzerine dikkatinin çekilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla sistem sınırı Şekil 3.9'daki gibi tanımlanmıştır.



Şekil 3.9. Tatlı sorgum biyokütlesi üretim sisteminin modeli

Fonksiyonel birim olarak, 1 ha'lık tatlı sorgum yetiştirme alanı ve 1 kg<sub>biyokütle</sub>'lık kuru biyokütle miktarı alınmıştır.

### 3.2.3.2. Yaşam Döngüsü Envanteri

Tatlı sorgum üretim sisteminin yaşam döngüsü envanterinin çıkarılabilmesi için aşağıdaki genel varsayımlarda bulunulmuştur. Bunlar;

- Denemenin kurulduğu tarlanın eğimsiz ve ekilebilir olduğu,
- Denemenin kurulduğu tarlada sulu tarım yapıldığı ve drenajın olmadığı,
- Denemenin kurulduğu tarla toprağının kil içeriğinin % 51 ve humus içeriğinin % 1.5 olduğu (Çizelge 3.1),
- Tatlı sorgum potansiyel kök derinliğinin ise 190 cm olduğu (El Bassam, 2010),
- Denemenin kurulduğu tarla toprağının aşınım faktörünün (K faktörü) orta düzeyde olduğu ve göz ardı edilebileceği,
- Sadece mineral gübrelemenin yapıldığı,
- Amonyak kayıplarını ve toprak erozyonunu önlemek için herhangi bir makinanın kullanılmadığı varsayılmıştır.

#### 3.2.3.2.1. Doğrudan Saha Emisyonları

##### a) Havaya Emisyonlar:

**Amonyak (NH<sub>3</sub>):** Amonyum (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), gübrelerde bulunur ve kolayca amonyağa dönüştürülebilir. Amonyakta doğrudan havaya salınır. Havaya amonyak emisyonları, en çok tarımsal uygulamalarla gerçekleşir. Amonyak, ekosistem üzerinde asitleşme ve ötrofikasyon etkisine sebep olur. Onun bu etkisi sadece yerel ve bölgeseldir (Nemecek ve Kagi, 2007).

Amonyak emisyonları, Azot (N) emisyonunun yüzdesi olarak hesaplanmıştır ve daha sonra amonyaka dönüştürülmüştür.

Mineral gübreler için emisyon faktörleri Çizelge 3.11’de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Mineral Gübrelerden Amonyak Emisyonları (NH<sub>3</sub>'un Formunda Salınan % N) (Asman, 1992)

| Gübre Tipi              | NH <sub>3</sub> -N için Emisyon Faktörü (%) |
|-------------------------|---------------------------------------------|
| Amonyum Nitrat          | 2                                           |
| Kalsiyum Amonyum Nitrat | 2                                           |
| Amonyum Sülfat          | 8                                           |
| Üre                     | 15                                          |
| Kompoze Gübreler        | 4                                           |
| Üre Amonyum Nitrat*     | 8.5                                         |

\* Asman (1992) tarafından verilmediği için üre ve amonyum nitratın emisyon faktörlerinin ortalaması alınır (Nemecek ve Kagi, 2007).

**Dinitrojen monoksit (N<sub>2</sub>O):** Dinitrojen monoksit, denitrifikasyon sürecinde (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>'un N<sub>2</sub>'ye dönüşmesi) toprak mikroorganizmalarının etkisiyle bir ara ürün olarak üretilir. Aynı zamanda nitrifikasyon sürecinde de (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>'un NO<sub>3</sub><sup>-</sup>'e dönüşmesi) bir yan ürün olarak üretilebilir (Schmid ve ark., 2000). Dinitrojen monoksit, çok etkili bir sera gazıdır.

Dinitrojen monoksit emisyonları, IULIA modeline göre hesaplanır (Schmid ve ark., 2000). Bu model, doğrudan dinitrojen monoksit emisyonlarını ve dolaylı (uyarılmış) emisyonları kapsar. Dolaylı dinitrojen monoksit emisyonları durumunda nitrojen, ilkin amonyak veya NO<sub>3</sub><sup>-</sup> olarak salınır. Daha sonra dinitrojen monoksite dönüşür (Nemecek ve Kagi, 2007).

Dinitrojen monoksit emisyonları aşağıda ki eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$N_2O = (0.0125 \times N_{\text{girdi}}) + (0.025 \times N_{\text{süzülen}}) \dots\dots\dots(3.14)$$

Burada;

- N<sub>2</sub>O : Dinitrojen monoksit emisyonu (kg/ha),  
N<sub>girdi</sub> : Mineral gübre olarak verilen azot miktarı (kg/ha) ve  
N<sub>süzülen</sub> : Nitrat süzülme miktarıdır (kg/ha).

**Nitrojen oksit (NO<sub>x</sub>):** Topraktaki denitrifikasyon süresince nitrojen oksit üretilebilir (Nemecek ve Kagi, 2007).

Nitrojen oksit emisyonu, dinitrojen monoksit emisyonundan hesaplanmıştır.

$$NO_x = 0.21 \times N_2O \dots\dots\dots(3.15)$$

Eşitlik 3.15, gübreleme nedeniyle oluşan ve sadece topraktan olan doğrudan nitrojen oksit emisyonlarını içermektedir. Yakıtın tüketilmesinden dolayı oluşan nitrojen oksit emisyonlarını içermez.

#### b) Suya Emisyonlar:

**Nitratın ( $NO_3^-$ ) süzülmesi:** Nitrat, ya gübrelerle toprağı besler ya da organik maddenin mineralazasyonu aracılığıyla topraktaki mikroorganizmalar tarafından üretilir. Topraktaki nitrat, bitkiler tarafından bir besin olarak emilebilir. Şiddetli yağmur dönemlerinde, yağış, bitkilerin terlemesini ve toprak buharlaşmasını aşırı sınırladığı için önce toprağın suyla dolmasına ve daha sonra nitratın yer altı suyuna süzülmesine sebep olur. Nitrat suda kolayca çözündüğü için süzülme riski yüksektir. Nitratın süzülme riski, sık sık yağış olduğu zaman yani sonbahar ve kış mevsimlerinde veya bitkiler tarafından aşırı azot alımı olmadığında yüksektir. Bundan başka, azot mineralizasyonu, azotun bitkiler tarafından sıklıkla tutulamadığı zamanlarda yani yazın sonlarında da yüksek olur (Stauffer ve ark., 2001).

Nitrat kayıpları, birkaç sebepten dolayı sakıncalıdır (Nemecek ve Kagi, 2007). Bunlar:

Ø Tarımsal açıdan bakıldığında faydalı besinler topraktan kaybolur. Dolayısıyla gübre ihtiyacı artar.

Ø Yer altı suyundaki nitrat, yer altı suyu içme suyu olarak kullanıldığında, insanlar üzerinde toksik bir etkiye sebep olur. Nitratın kronik toksisitesinin düşük olmasına rağmen nitrat kolayca nitrite dönüşür. Nitritin kronik toksisitesi yüksektir ve dolaylı olarak kanserojendir (Surbeck ve Leu, 1998).

Ø Yer altı suyu bir kere nehre karışırsa nitrat fosfat kirlenmesine katkıda bulunur ve aynı zamanda çok etkili bir sera gazı olan dinitrojen monoksit emisyonlarına sebep olur (Schmid ve ark., 2000).

Potansiyel nitrat süzülmesi, aşağıdaki elemanları içeren bir model ile hesaplanmıştır (Richner ve ark., 2006):

- Topraktaki organik maddeden azot mineralizasyonu (Çizelge 3.12 ve 3.13),
- Vejetasyonla azot alımı (Çizelge 3.16),
- Gübrelemeden azot girdisi ve
- Toprak derinliğidir.

Modelde dikkate alınmayan faktörler ise:

- Sızıntının miktarı ve
- Denitrifikasyondur.

Çizelge 3.12. % 15 Killi ve % 2 Humuslu Topraklarda Azot Mineralizasyonu (kg/ha) (Richner ve ark, 2006)

|                   | Oc. | Şu. | Ma. | Nis. | May. | Haz. | Tem. | Ağ. | Ey. | Ek. | Kas. | Ara. |
|-------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|
| Toprak işlenmesiz | 0   | 0   | 10  | 15   | 20   | 25   | 30   | 35  | 40  | 20  | 10   | 0    |
| Toprak işlemeli   | 0   | 0   | 15  | 20   | 30   | 35   | 50   | 60  | 70  | 40  | 20   | 0    |

Çizelge 3.12’de ki toprak işlemenin yapıldığı Mayıs ayındaki değer ve toprak işlemenin yapılmadığı aylardaki (Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül) değerler, denemenin kurulduğu toprağın kil (% 51) ve humus (% 1.5) içeriklerine göre Çizelge 3.13’de verilen değerlerle düzeltilerek azot mineralizasyonu belirlenmiştir.

Çizelge 3.13. Toprağın Kil ve Humus İçeriklerine Göre Azot Mineralizasyonunun Düzeltilmesi (Richner ve ark, 2006)

|                 |       | Humus İçeriği (%) |     |     |      |
|-----------------|-------|-------------------|-----|-----|------|
|                 |       | <3                | 3-5 | 5-8 | 8-15 |
| Kil İçeriği (%) | 0-20  | 0                 | +10 | +20 | +40  |
|                 | 20-30 | -10               | -5  | +5  | +25  |
|                 | 30-40 | -20               | -20 | -10 | +5   |
|                 | >40   | -30               | -30 | -25 | -15  |

Vejetasyon döneminde bitkiler tarafından alınan azot miktarları Çizelge 3.14’de verilmiştir. Tatlı sorgum için literatür de bitki tarafından azot alımı ile ilgili herhangi bir değer bulunamadığından, tatlı sorguma benzer özellikler

gösteren silajlık mısır için verilmiş olan Mayıs-Eylül aylarındaki azot alımı değerlerinden faydalanılmıştır.

Çizelge 3.14. Bitkiler Tarafından Azot Alımı (kg N/ha) (Richner ve ark, 2006)

|               |   | Oc. | Şu. | Ma. | Nis. | May.      | Haz.      | Tem.      | Ağ.       | Ey.       | Ek. | Kas. | Ara. |
|---------------|---|-----|-----|-----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|------|------|
| Kışlık Buğday | İ | 0   | 15  | 30  | 40   | 60        | 50        | 30        | -         | -         | 10  | 10   | 5    |
|               | E | 0   | 15  | 30  | 40   | 50        | 40        | 20        | -         | -         | 10  | 10   | 5    |
| Kışlık Arpa   | İ | 0   | 15  | 30  | 45   | 50        | 20        | 0         | -         | 5         | 15  | 10   | 5    |
|               | E | 0   | 15  | 30  | 45   | 40        | 10        | 0         | -         | -         | 15  | 10   | 5    |
| Kışlık Çavdar | İ | 0   | 15  | 25  | 35   | 45        | 40        | 20        | -         | -         | 10  | 10   | 5    |
|               | E | 0   | 15  | 25  | 35   | 40        | 35        | 15        | -         | -         | 10  | 10   | 5    |
| T. Mısır      |   | -   | -   | -   | -    | 10        | 40        | 50        | 40        | 30        | 20  | 10   | -    |
| S. Mısır      |   | -   | -   | -   | -    | <b>10</b> | <b>40</b> | <b>50</b> | <b>40</b> | <b>30</b> | 10  | -    | -    |
| Kışlık Kolza  | İ | 5   | 10  | 30  | 40   | 50        | 40        | 20        | -         | 30        | 60  | 20   | 10   |
|               | E | 5   | 10  | 30  | 35   | 40        | 30        | 10        | -         | 30        | 60  | 20   | 10   |
| Patates       | İ | -   | -   | -   | 15   | 30        | 120       | 30        | 20        | 10        | -   | -    | -    |
|               | E | -   | -   | -   | 15   | 30        | 80        | 15        | 10        | 10        | -   | -    | -    |
| Ş. Pancarı    |   | -   | -   | -   | 15   | 35        | 70        | 60        | 45        | 40        | 20  | -    | -    |
| Ayçiçeği      |   | -   | -   | -   | 10   | 35        | 50        | 35        | 10        | -         | -   | -    | -    |
| Bakla         |   | -   | -   | 5   | 15   | 20        | 25        | 30        | 30        | 20        | -   | -    | -    |
| Bezelye       |   | -   | -   | 5   | 15   | 20        | 25        | 30        | 20        | -         | -   | -    | -    |
| Soya          |   | -   | -   | -   | -    | 10        | 25        | 30        | 35        | 20        | -   | -    | -    |

İ: İntensif zararlı ve böcek kontrolü, E: Ekstensif zararlı ve böcek kontrolü

Sonuçta nitrat süzülmesi, topraktaki mineralize olmuş azotun miktarı ile bitkiler tarafından azot alımı potansiyelinin arasındaki farka göre hesaplanmıştır. Bunlara ilaveten gübre uygulamasından dolayı oluşan potansiyel azot süzülme riski de dikkate alınmıştır (Çizelge 3.15).

Çizelge 3.15. Potansiyel Azot Süzülme Riski (Gübreleme Boyunca Uygulanan Azotun %'si) (Richner ve ark., 2006)

|                 |   | Oc. | Şu. | Ma. | Nis. | May.      | Haz.     | Tem.     | Ağ.      | Ey.      | Ek. | Kas. | Ara. |
|-----------------|---|-----|-----|-----|------|-----------|----------|----------|----------|----------|-----|------|------|
| Kışlık Tahıllar | E | 100 | 100 | 100 | 100  | 100       | 100      | 100      | 100      | 90       | 90  | 90   | 90   |
|                 | H | 50  | 30  | 10  | 0    | 0         | 0        | -        | -        | -        | -   | -    | -    |
| Mısır, Soya     | H | 100 | 100 | 100 | 80   | <b>70</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | -   | -    | -    |
| Kışlık Kolza    | E | 100 | 100 | 100 | 100  | 100       | 100      | 100      | 80       | 0        | 0   | 20   | 20   |
|                 | H | 20  | 10  | 0   | 0    | 0         | 0        | -        | -        | -        | -   | -    | -    |
| Patates, Pancar | H | 100 | 100 | 50  | 30   | 10        | 0        | 0        | 0        | 0        | -   | -    | -    |
| Bakla, Bezelye  | H | 100 | 100 | 50  | 30   | 0         | 0        | 0        | -        | -        | -   | -    | -    |
| Ayçiçeği        | H | 20  | 10  | 0   | 0    | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0   | 10   | 20   |

E: Ekim yılı, H: Hasat yılı

Literatürde tatlı sorgum için potansiyel azot süzülme riski değerine rastlanmaması nedeniyle Çizelge 3.15'deki Mısır ve Soya bitkilerinin Mayıs-Eylül arasındaki değerlerinden faydalanılmıştır. Daha sonra Çizelge 3.15'den elde edilen değer, Çizelge 3.16'daki toprak derinliği (190 cm) değerine bağlı olarak yeniden düzeltilerek potansiyel azot süzülme riski belirlenmiştir.

Çizelge 3.16. Toprak Derinliğine Bağlı Olarak Potansiyel Azot Süzülme Riskinin Düzeltilmesi (Richner ve ark., 2006)

| Toprak Derinliği (cm) | Düzeltilme |
|-----------------------|------------|
| >100                  | 0          |
| 90-100                | + 5        |
| 80-90                 | + 10       |
| 70-80                 | + 15       |
| 60-70                 | + 20       |
| 50-60                 | + 25       |
| 40-50                 | + 30       |
| <40                   | + 35       |

**Fosfor emisyonu:** Fosfor ( $P_2O_5$ ), çok önemli bir bitki besinidir ve bitkilere yeterli miktarlar da verilmelidir. Fosforun bir bölümü toprak erozyonu ve süzülmeden dolayı suda kaybolur. Fosfor, suyun kirlenmesine neden olabilir (Prasuhn ve Grünig, 2001).

Fosfor emisyonu üç şekilde gerçekleşir (Nemecek ve Kagi, 2007). Bunlar;

- Yer altı suyuna çözülebilir fosfatın süzülmesi şeklinde,
- Yüzey suyuna (nehire) çözülebilir fosfatın süzülmesi şeklinde ve
- Fosfor içeren toprak parçacıklarının su erozyonu şeklinde gerçekleşir.

Fosfor emisyonlarının hesaplanması için aşağıdaki faktörler dikkate alınmıştır (Nemecek ve Kagi, 2007). Bu faktörler:

- Ø Toprak kullanım kategorisi (işlenebilir tarla),
- Ø Gübre tipi (mineral gübreler),
- Ø Gübrelerdeki fosforun niteliği ve
- Ø Toprak erozyonunun hesaplanması için toprak aşınım (K) faktörüdür.

Aşağıdaki faktörler ise, eğer varsayımda bulunulmuşsa hesaba katılabilir. Bunlar:

- ▼ Arazinin civarındaki nehrin veya gölün uzaklığı,
- ▼ Arazinin topografyası,
- ▼ Toprağın kimyasal - fiziksel özellikleri ve
- ▼ Drenajdır.

Tatlı sorgum üretim sisteminde mineral gübreler kullanıldığı ve toprak aşınım (K) faktörü göz ardı edildiği için sadece yüzey suyuna (nehire) çözülebilir fosfatın süzülmesi hesaplanmıştır. Yer altı suyuna çözülebilir fosfatın süzülmesi ve su erozyonu hesaplanmamıştır.

Yüzey suyuna (nehire) çözülebilir fosfatın süzülmesi aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$P_2O_{5n} = P_2O_{5nt} \times DF_g \dots\dots\dots(3.16)$$

Burada;

- $P_2O_{5n}$  : Nehire akan fosforun miktarı (kg/ha),
- $P_2O_{5nt}$  : Toprak kullanım kategorisi için nehire akan fosforun ortalama miktarı (kg/ha) (İşlenebilir tarla için 0.175 kg/ha) ve
- $DF_g$  : Kullanılan gübreler için düzeltme faktörüdür (-).

$DF_g$  düzeltme faktörü aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır;

$$DF_g = 1 + \frac{0.2}{80} \times P_2O_{5M} + \frac{0.7}{80} \times P_2O_{5B} + \frac{0.4}{80} \times P_2O_{5K} \dots\dots\dots(3.17)$$

Burada;

- $P_2O_{5M}$  : Mineral gübrelerdeki  $P_2O_5$  miktarı (kg/ha),
- $P_2O_{5B}$  : Bulamaçlardaki  $P_2O_5$  miktarı (kg/ha) ve
- $P_2O_{5K}$  : Katı gübrelerdeki  $P_2O_5$  miktarıdır (kg/ha).

**c) Ağır Metal Emisyonları:** Tatlı sorgum üretim sistemi yaşam döngüsü envanter analizi için 7 adet ağır metal seçilmiştir. Bunlar; kadmiyum (Cd), krom (Cr), bakır (Cu), kurşun (Pb), civa (Hg), nikel (Ni) ve çinko (Zn)'dur.

Ağır metal emisyonları, SALCA-ağır metal yöntemine göre hesaplanmıştır. Tarım arazisine giren, yüzey suyuna (nehir) akan ve yer altı suyuna süzülen emisyonlar; tohum, gübreler ve çökeltilerden giren ağır metallere dayanarak hesaplanmıştır. Arazide kalan artıklar, sistemden ayrılmadığı için dikkate alınmamıştır (Nemecek ve Kagi, 2007).

Ağır metal emisyonları üç şekilde gerçekleşir (Freiermuth, 2006). Bunlar;

- Yer altı suyuna ağır metallerin süzülmesi (daima pozitif değerler alır),
- Toprak parçacıklarının erozyonu nedeniyle yüzey suyuna ağır metal emisyonları (daima pozitif değerler alır),
- Tarım toprağına ağır metallerin emisyonlarıdır (pozitif veya negatif değerler alır).

Ağır metal içeriklerinin hesaplanması için aşağıdaki kaynaklardan yararlanılmıştır. Bunlar;

ü Biyokütle (bitki üretiminden elde edilen ürünler) (Çizelge 3.17) ve

ü Mineral gübrelerdir (Çizelge 3.18).

Yüzey ve yer altı suyuna ağır metal emisyonları, sabit süzülme oranıyla belirlenmiştir.

$$M_{\text{süzülme } i} = m_{\text{süzülme } i} \times TF_i \dots\dots\dots(3.18)$$

Burada;

$M_{\text{süzülme } i}$  : i ağır metal emisyonunun tarımsal salımı (mg/ha),

$m_{\text{süzülme } i}$  : i ağır metal emisyonunun ortalama miktarı (mg/ha)  
(Çizelge 3.19) ve

$TF_i$  : i ağır metali için toplam girdilerde tarımsal girdilerin paylaştırılması için tahsisat faktörüdür.

Çizelge 3.17. Tatlı Sorgum ve Bazı Bitki Materyallerinin Ağır Metal İçeriği (mg/kg kuru madde) (Freiermuth, 2006)

| Mineral Gübreler                    | Cd           | Cu          | Zn          | Pb          | Ni                  | Cr          | Hg          |
|-------------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|-------------|-------------|
| Ot / Saman                          | 0.13         | 8.6         | 40.0        | 1.20        | 1.68                | 1.09        | 0.15        |
| Tane mısır                          | 0.03         | 2.5         | 21.5        | 0.30        | 1.16                | 0.32        |             |
| Silajlık mısır                      | 0.10         | 5.0         | 34.5        | 1.61        | 0.48                | 0.70        | 0.01        |
| Buğday taneleri                     | 0.10         | 3.3         | 21.1        | 0.20        | 0.20                | 0.20        | 0.01        |
| Buğday samanı                       | 0.20         | 2.5         | 9.6         | 0.60        | 0.60                | 0.70        |             |
| Arpa taneleri                       | 0.03         | 4.3         | 26.6        | 0.20        | 0.10                | 0.10        |             |
| Arpa samanı                         | 0.10         | 4.8         | 11.1        | 0.60        | 0.80                | 1.20        |             |
| Çavdar samanı                       | 0.10         | 3.2         | 13.0        | 0.40        | 0.70                | 0.50        |             |
| Patates                             | 0.04         | 6.5         | 15.0        | 0.55        | 0.33                | 0.57        | 0.09        |
| Kolza tohumu                        | 1.60         | 3.3         | 48.0        | 5.25        | 2.60                | 0.50        | 0.10        |
| Bakla                               | 0.04         | 6.0         | 30.1        | 0.87        | 1.30                | 0.69        |             |
| Soya                                | 0.06         | 15.1        | 47.7        | 0.08        | 5.32                | 0.52        |             |
| Protein bezelyesi                   | 0.09         | 10.0        | 73.0        | 0.16        | 0.83                | 0.32        | 0.01        |
| Şeker bezelyesi                     | 0.40         | 12.0        | 36.4        | 1.16        | 1.08                | 1.78        | 0.01        |
| <i>Genel Ortalama</i>               | <i>0.10</i>  | <i>6.6</i>  | <i>32.0</i> | <i>0.54</i> | <i>1.04</i>         | <i>0.55</i> | <i>0.04</i> |
| <b>Tatlı Sorgum<br/>Biyokütlesi</b> | <b>0.035</b> | <b>1.59</b> | <b>1.84</b> | <b>0.77</b> | Dauriat, 2000       |             |             |
| <b>Tatlı Sorgum<br/>Tohumu</b>      |              | <b>10.7</b> | <b>15.2</b> |             | Smith ve ark., 2000 |             |             |

Çizelge 3.18. Mineral Gübreler İçin Ağır Metal İçerikleri (mg/kg besin) (Desaules ve Studer, 1993)

| Mineral Gübreler | Cd    | Cu     | Zn     | Pb    | Ni     | Cr     |
|------------------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|
| Azot (N)         | 0.21  | 22.25  | 121.43 | 5.37  | 17.17  | 7.81   |
| Fosfat (P)       | 51.32 | 118.22 | 751.32 | 49.42 | 100.46 | 589.46 |
| Potasyum (K)     | 0.11  | 6.17   | 70.33  | 7.88  | 7.52   | 88.54  |

Çizelge 3.19. Yer Altı Suyuna Ağır Metal Süzülmesi (Wolfensberger ve Dinkel, 1997)

| Süzülme   | Cd | Cu   | Zn    | Pb  | Ni  | Cr    | Hg   |
|-----------|----|------|-------|-----|-----|-------|------|
| mg/ha yıl | 50 | 3600 | 33000 | 600 | n.a | 21200 | 1.30 |

Toprağa tüm girdilerin (gübreler, tohum ve çökelme) ve topraktan çıktılarının (biyokütle, süzülme) dengesi, tahsisat faktörü ile çarpılarak tarım toprağına ağır metal emisyonu hesaplanmıştır.

$$M_{\text{toprak } i} = (\sum \text{girdiler } i - \sum \text{çıktılar } i) \times TF_i \dots\dots\dots(3.19)$$

Toprağa ağır metallerin emisyonları için bazı değerler negatif çıkabilir. Bu durum, ağır metallerin içeriden dışarıya daha çok aktarıldığını ifade eder. Diğer bir ifadeyle, ağır metaller ya insan vücuduna yada tarım alanlarından hasat edilmiş ürünlere (gıda, besin, saman) transfer edilmiş olur.

Tahsisat faktörü ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$TF_i = \frac{M_{\text{tarım } i}}{(M_{\text{tarım } i} + M_{\text{çökelme}})} \dots\dots\dots(3.20)$$

Burada;

$M_{\text{tarım } i}$  : mg/(ha yıl)'da tarımsal üretim sonucunda ağır metal girdisi (gübreler + tohum) ve  
 $M_{\text{çökelme}}$  : mg/(ha yıl)'da atmosferik çökelme nedeniyle ağır metal girdisidir (Çizelge 3.20).

Çizelge 3.20. Ağır Metal Çökmesi (Freiermuth, 2006)

| Çökelme   | Cd  | Cu   | Zn    | Pb    | Ni   | Cr   | Hg |
|-----------|-----|------|-------|-------|------|------|----|
| mg/ha yıl | 700 | 2400 | 90400 | 18700 | 5475 | 3650 | 50 |

**d) Biyokütlede Enerji İçeriği ve CO<sub>2</sub> Bağlama:** Tarımsal alanlarda kalan hasat artıkları, genelde birkaç yıl içinde çürüdükleri için dikkate alınmaz. Aynı zamanda toprakta ki organik madde içeriğindeki değişimde dikkate alınmaz. Örneğin topraktaki organik C içeriğinin sabit olduğu varsayılır. Eğer elde edilen ürünler ısı veya gıda amacıyla üretilip tüketilirse tarımsal ürünlerden salınan CO<sub>2</sub> ve enerji dikkate alınmalıdır (Nemecek ve Kagi, 2007).

Atmosferden CO<sub>2</sub>'in bağlanması, kuru maddedeki C içeriği ile stokiyometrik faktörün (44/12) çarpılmasıyla hesaplanmıştır. Burada biyokütledeki karbonun tamamıyla havada tutulduğu varsayılmıştır.

Enerji içeriği, kuru biyokütlenin üst ısıtma değerine tekabül etmektedir. Tatlı sorgum biyokütlesinin üst ısı değeri, Eşitlik 3.1'e göre belirlenmiştir.

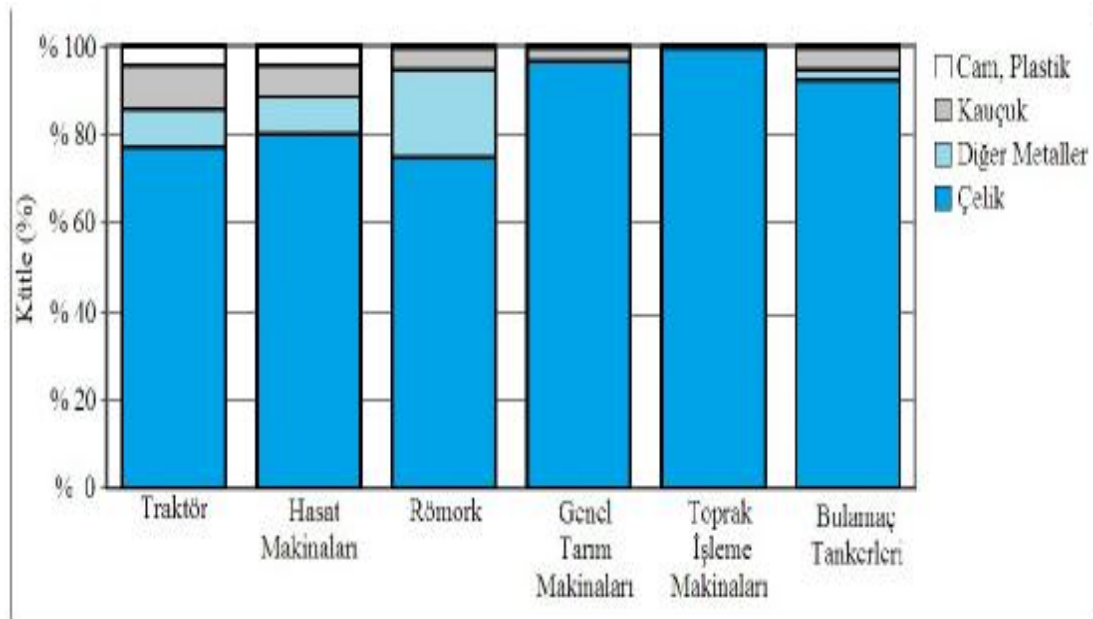
### 3.2.3.2.2. Tarım Makinaları Envanteri

Tarım makinaları terimi, tarımsal üretimde kullanılan ve bunun için tasarımılanan makinalar olarak tanımlanmaktadır. Bu makinalar, yol taşımacılığından toprak işleme, ekim, gübreleme, çapalama ve hasat gibi tarımsal işlere kadar olan bütün alanlarda kullanılırlar. 6 sınıfta kategorize edilirler (Çizelge 3.21). İlk iki sınıf otomotiv araçlarını içermekte, diğer dört sınıf otomotiv olmayan ve traktörle çekilen tüm araçları temsil emektedir (Zimmermann, 2002).

Çizelge 3.21. Tarım Makinalarının Sınıflandırılması (Zimmermann, 2002)

| Sınıf    | Traktörler | Hasat Makinaları | Römorklar  | Genel Tarım Makinaları | Toprak İşleme Makinaları | Bulamaç Tankerleri |
|----------|------------|------------------|------------|------------------------|--------------------------|--------------------|
| Örnekler | Traktör    | Biçerdöver       | Tekerlekli | Ekim Makinası          | Pulluk                   | Pompalı            |

Tarım makinalarının ve araçlarının materyal bileşimi Şekil 3.10’da gösterilmiştir. Şekil 3.10 incelendiğinde, bileşimindeki en önemli materyalin çelik olduğu görülmektedir. Tekerlekler ise sentetik kauçuktan imal edilmektedir (Nemecek ve Kagi, 2007).



Şekil 3.10. Tarım makinalarının ana materyal bileşimleri (kütlesinin yüzdesi) (Nemecek ve Kagi, 2007)

Pek çok Avrupa ülkesinde, çevreyi koruma ve kısmende hava kirliliğini önlemek çok önemli çevresel sorunlardan birisidir. Yapılan araştırmalar, toplam hava kirliliğinin en önemli sebeplerinden birinin karayolu dışı taşıtların olduğunu göstermiştir. Tarımsal alanlarda kullanılan tarım makineleri da karayolu dışı taşıtları sınıfına girdiği için hava kirliliğinin artmasına sebep olmaktadır (SAEFL, 1995).

Tatlı sorgum üretim sisteminde kullanılan tarım makinelerinin yaşam döngüsü envanterinin çıkarılmasında Çizelge 3.22’de verilen değerlerden yararlanılmıştır ve aşağıda verilen unsurlar dikkate alınmıştır:

- A) Kullanılan traktörün ve makinanın; makina üretim miktarı (MÜM),
- B) Traktörün çalıştırılması süresince tüketilen dizel yakıt ( $M_{yakıt}$ ),
- C) Havaya ve toprağa olan emisyonlar.

Çizelge 3.22. Tatlı Sorgum Üretiminde Kullanılan Tarım Makinaları ve Traktörlerin Kütlesi, Ömrü, Alan İş Kapasitesi ve Tükettikleri Ortalama Yakıt Miktarları

| Makina                       | Özellikler                  | m (kg) | EÖ (h) | AİK (h/ha) | $hM_{yakıt}$ (L/h) |
|------------------------------|-----------------------------|--------|--------|------------|--------------------|
| Traktör Pulluk               | New Holland (95 BG)         | 3770   | 10000  | 1.93       | 19.16              |
|                              | 3 Gövdeli                   | 1220   | 2000   |            |                    |
| Traktör Goble Diskaro        | New Holland (95 BG)         | 3770   | 10000  | 0.79       | 21.92              |
|                              | 20 Diskli                   | 2220   | 2000   |            |                    |
| Traktör Tapan                | New Holland (95 BG)         | 3770   | 10000  | 0.32       | 22.05              |
|                              |                             | 1300   | 2000   |            |                    |
| Traktör Ekim Makinası        | New Holland (95 BG)         | 3770   | 10000  | 1.32       | 10.05              |
|                              | Gübreli, Pnömatik, 4 Sıralı | 1900   | 1500   |            |                    |
| Traktör Ara Çapa Makinası    | John Deere (53 BG)          | 2300   | 10000  | 0.99       | 8.06               |
|                              | Gübreli, 5 Sıralı           | 720    | 2000   |            |                    |
| Traktör Çayır Bıçme Makinası | John Deere (53 BG)          | 2300   | 10000  | 1.39       | 7.18               |
|                              | Tamburlu                    | 370    | 2000   |            |                    |

**a) Makina Üretim Miktarı (AM):** Makina üretim miktarı, aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Nemecek ve Kagi, 2007).

$$MÜM = m \times \left( \frac{AİK}{EÖ} \right) \dots \dots \dots (3.21)$$

Burada;

- MÜM : Makina üretim miktarı (kg/ha),  
 m : Makinanın kütlesi (kg),  
 AİK : Makinanın alan iş kapasitesi (h/ha) ve  
 EÖ : Makinanın ekonomik ömrüdür (h).

**b) Yakıt Tüketimi ( $M_{yakıt}$ ):** Yakıt tüketimi, aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Nemecek ve Kagi, 2007).

$$M_{yakıt} = hM_{yakıt} \times AİK \times \delta_{dizel} \dots\dots\dots(3.22)$$

Burada;

- $M_{yakıt}$  : Yakıt tüketimi (kg/ha),  
 $hM_{yakıt}$  : Tarımsal işlemler sırasında tüketilen ortalama yakıt miktarı (L/h),  
 AİK : Makinanın alan iş kapasitesi (h/ha) ve  
 $\delta_{dizel}$  : Dizel yakıtın özgül kütleleridir (0.84 kg/L).

**c) Havaya ve Toprağa Olan Emisyonlar:**

**Yanmadan dolayı havaya olan HC-, NO<sub>x</sub>- ve CO emisyonları:** Yakıtın yanmasından dolayı oluşan ve eksozdan çıkan atık gazlardır. Makinanın iş verimine bağlı olarak belirlenir. Ayrıca HC- emisyonu, NMVOC (metal olmayan uçucu organik bileşikler) olarak da bilinir.

Yanmadan dolayı oluşan atık gazlar aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Nemecek ve Kagi, 2007).

$$AG = EM \times AİK \dots\dots\dots(3.23)$$

Burada;

- AG : Atık gazın miktarı (g/ha),  
 EM : Saatlik emisyon miktarı (g/h) (Çizelge 3.23) ve  
 AİK : Makinanın alan iş kapasitesidir (h/ha).

Çizelge 3.23. Tarım Makinaları ile Tarımsal İşlemler Sırasında Ortaya Çıkan Saatlik Emisyon Miktarı (g/h) (Nemecek ve Kagi, 2007)

| Makinalar ve Yapılan İşlemler             | Emisyonlar (EM) (g/h) |                 |    |
|-------------------------------------------|-----------------------|-----------------|----|
|                                           | NMVOC                 | NO <sub>x</sub> | CO |
| Pulluk, toprak işleme                     | 26                    | 490             | 99 |
| Goble diskaro, toprak işleme              | 17                    | 389             | 77 |
| Tapan, toprak işleme                      | 10                    | 154             | 14 |
| Pnömatik ekim makinası, ekim ve gübreleme | 12                    | 144             | 17 |
| Ara çapa makinası, çapalama ve gübreleme  | 10                    | 131             | 11 |
| Çayır biçme makinası, hasat               | 12                    | 186             | 19 |

**Yanmadan dolayı havaya olan diğer emisyonlar:** Yakıtın yanmasından dolayı oluşan diğer atık gazlardır. Bu diğer atık gazlar ve onların oluşturabileceği çevresel etkiler Çizelge 3.24’de verilmiştir.

Diğer atık gazlar aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Nemecek ve Kagi, 2007).

$$AG_D = M_{yakıt} \times EF \dots\dots\dots(3.24)$$

Burada;

- WG<sub>D</sub> : Diğer atık gazın miktarı (g/ha),  
M<sub>yakıt</sub> : Yakıt tüketimi (kg/ha) ve  
EF : Emisyon faktörüdür (g/kg<sub>yakıt</sub>) (Çizelge 3.24).

Çapı 2.5 mm’den küçük olan partikül maddenin (PM<sub>2.5</sub>) emisyon faktörü Çizelge 3.24’de verilmemiştir. Partikül maddenin emisyon faktörü ve emisyonu farklı bir şekilde hesaplanır. Partikül maddenin emisyonu, kullanılan traktörün nominal gücü ve kullanılan makinaların traktörden çektikleri güçle orantılı olarak değişir.

Partikül maddenin emisyon faktörü aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (SAEFL, 2000).

$$EF_{PM2.5} = A_{ef} - (B_{ef} \times P_{nom}^{0.1}) \dots\dots\dots(3.25)$$

Burada;

- $EF_{PM_{2.5}}$  : Partikül madde için emisyon faktörü (g/kg<sub>yakıt</sub>),  
 $A_{ef}$  : Dizel yakıt için 7.25 g/kg<sub>yakıt</sub>,  
 $B_{ef}$  : Dizel yakıt için 3.62 g/kg<sub>yakıt</sub>kW ve  
 $P_{nom}$  : Traktörün nominal gücüdür (kW) (Çizelge 3.25).

Çizelge 3.24. Yakıtın Yanmasından Dolayı Havaya Olan Emisyonlar İçin Emisyon Faktörü (SAEFL, 2000)

| Madde                              | Formül                          | Emisyon Faktörü (g/kg yakıt tüketimi)                |                                | Etki/Açıklamalar                                                                              |
|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                    |                                 | Dizel                                                | Petrol                         |                                                                                               |
| Karbondioksit                      | CO <sub>2</sub>                 | 3120                                                 | 3000                           | İklim değişikliği                                                                             |
| Sülfür dioksit                     | SO <sub>2</sub>                 | 1.01                                                 | 0.072                          | Fotokimyasal oksidasyon, asitleşme                                                            |
| Kurşun                             | Pb                              | 0                                                    | 0.146                          | Kara canlılarının zehirlenmesi                                                                |
| Metan                              | CH <sub>4</sub>                 | 0.129                                                | 2.92                           | İklim değişikliği                                                                             |
| Benzen                             | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>   | 0.0073                                               | 9.48                           | İnsan zehirlenmesi                                                                            |
| Partikül madde                     | PM <sub>2.5</sub>               | EF <sub>PM<sub>2.5</sub></sub>                       | EF <sub>PM<sub>2.5</sub></sub> | Eşitlik 3.26                                                                                  |
| Kadmiyum                           | Cd                              | 0.00001                                              | 0.00001                        | Kara canlılarının zehirlenmesi                                                                |
| Krom                               | Cr                              | 0.00005                                              | 0.00005                        | Kara canlılarının zehirlenmesi                                                                |
| Bakır                              | Cu                              | 0.0017                                               | 0.0017                         | İnsan zehirlenmesi, kara canlılarının zehirlenmesi                                            |
| Dinitrojen monoksit                | N <sub>2</sub> O                | 0.12                                                 | 0.13                           | İklim değişikliği                                                                             |
| Nikel                              | Ni                              | 0.00007                                              | 0.00007                        | İnsan zehirlenmesi, kara canlılarının zehirlenmesi                                            |
| Çinko                              | Zn                              | 0.001                                                | 0.001                          | Kara canlılarının zehirlenmesi                                                                |
| Benzo(a)pren                       | C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> | 0.00003                                              | 0.00004                        | B(a)p diğer PAH'lardan farklıdır                                                              |
| Amonyak                            | NH <sub>3</sub>                 | 0.02                                                 | 0.04                           | Asitleşme, ötrofikasyon                                                                       |
| Selenyum                           | Se                              | 0.00001                                              | 0.00001                        | İnsan zehirlenmesi, kara canlılarının zehirlenmesi                                            |
| Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar | PAH                             | Aşağıda listelenmiş olan farklı PAH'ların toplamıdır |                                | İnsan zehirlenmesi, içme suyu ve su canlılarının zehirlenmesi, kara canlılarının zehirlenmesi |
| Benz(a)-Antresen                   |                                 | 0.00008                                              | 0.000075                       |                                                                                               |
| Benzo(b)-Flour-Antresen            |                                 | 0.00005                                              | 0.00004                        |                                                                                               |
| Krizen                             |                                 | 0.0002                                               | 0.00001                        |                                                                                               |
| Dibenzo(a,h)-Antresen              |                                 | 0.00001                                              | 0.00015                        |                                                                                               |
| Flouranthene                       |                                 | 0.00045                                              | 0.00045                        |                                                                                               |
| Phenanthene                        |                                 | 0.0025                                               | 0.0012                         |                                                                                               |

Partikül madde emisyonu ise  $EF_{PM_{2.5}}$ 'ye bağlı olarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (SAEFL, 2000).

$$AG_{PM2.5} = EF_{PM2.5} \times DF \times P_{ort} \times AİK \dots\dots\dots(3.26)$$

Burada;

- $AG_{PM2.5}$  : Partikül madde için atık gaz miktarı (g/ha),  
 $EF_{PM2.5}$  : Partikül madde için emisyon faktörü (g/kg<sub>yakıt</sub>),  
 $DF$  : Düzeltme faktörü (Dizel yakıt için 0.854 kg<sub>yakıt</sub>/kWh) ve  
 $P_{ort}$  : Kullanılan makinaların traktörden çektikleri ortalama güçtür (kW) (Çizelge 3.25).

Çizelge 3.25. Kullanılan Traktörlerin Nominal Güçleri ve Kullanılan Makinaların Traktörden Çektikleri Ortalama Güçler

| Makinalar ve Yapılan İşlemler             | $P_{anma}$<br>(kW) | $P_{nom}$<br>(kW) | $P_{ort}^*$<br>(kW) |
|-------------------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| Pulluk, toprak işleme                     | 70.9 (95 BG)       | 67                | 46.5                |
| Goble diskaro, toprak işleme              | 70.9 (95 BG)       | 67                | 34.4                |
| Tapan, toprak işleme                      | 70.9 (95 BG)       | 67                | 8.6                 |
| Pnömatik ekim makinası, ekim ve gübreleme | 70.9 (95 BG)       | 67                | 7.3                 |
| Ara çapa makinası, çapalama ve gübreleme  | 39.5 (53 BG)       | 34.4              | 6.1                 |
| Çayır biçme makinası, hasat               | 39.5 (53 BG)       | 34.4              | 14.1                |

\* Nemecek ve Kagi, 2007.

**Tekerlek aşınmasından dolayı toprağa olan emisyonlar:** Tekerlek aşınmasından dolayı toprağa doğru oluşan ağır metal emisyonları (AME) aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Zimmermann, 2002).

$$AME = \left( \frac{E\ddot{O}}{E\ddot{O}_t} \right) \times m_t \times AşM_t \times AM_s \times M\ddot{U}M \dots\dots\dots(3.27)$$

Burada;

- $AME$  : Ağır metal emisyonu (g/ha),  
 $E\ddot{O}$  : Makinanın ekonomik ömrü (h),  
 $E\ddot{O}_t$  : Tekerlek grubunun ekonomik ömrü (h) (Çizelge 3.26),  
 $m_t$  : Makinanın bir kg'ı başına düşen tekerlek grubunun kütlesi (kg<sub>tekerlek</sub>/kg<sub>makine</sub>) (Çizelge 3.26),  
 $AşM_t$  : Tekerleğin aşınma miktarı (kg<sub>lastik</sub>/kg<sub>tekerlek</sub>) (Çizelge 3.26),  
 $AM_s$  : Sentetik lastikteki ağır metal içeriği (g<sub>HM</sub>/kg<sub>lastik</sub>) (Çizelge 3.26) ve  
 $M\ddot{U}M$  : Makina üretim miktarıdır (kg<sub>makina</sub>/ha) (Eşitlik 3.21).

Çizelge 3.26. Tekerlek Aşınmasından Dolayı Oluşan Ağır Metal Emisyonlarının Hesaplanması İçin Gerekli Olan Temel Değerler ve Ağır Metal İçerikleri (Frischknecht ve ark, 1996; Zimmermann, 2002)

| Temel Değerler                                                   | Traktör    | Biçerdöver | Römork      | Genel Tarım Makinaları | Bulamaç Tankı |
|------------------------------------------------------------------|------------|------------|-------------|------------------------|---------------|
| EÖ <sub>t</sub> (h)                                              | 2500       | 1080       | 750         | 2500                   | 2500          |
| m <sub>t</sub> (kg <sub>tekerlek</sub> /kg <sub>makine</sub> )   | 0.0975     | 0.0675     | 0.0475      | 0.0275                 | 0.0475        |
| AşM <sub>t</sub> (kg <sub>lastik</sub> /kg <sub>tekerlek</sub> ) | 0.29       | 0.29       | 0.56        | 0.56                   | 0.56          |
| Ağır Metal İçerikleri                                            | Çinko (Zn) |            | Kurşun (Pb) |                        | Kadmiyum (Cd) |
| AM <sub>s</sub> (g <sub>HM</sub> /kg <sub>lastik</sub> )         | 16         |            | 2.6         |                        | 0.6           |

Tatlı sorgum üretim sistemi için ağır metal emisyonunun belirlenmesinde tekerleği olmayan (pulluk, tapan, tamburlu çayır biçme), tekerleği olsa bile işlem sırasında tekerlekten faydalanılmayan (goble diskaro) ve demir tekerlekli (ara çapa) makinalar hesaba katılmamıştır. Diğer taraftan, bunları çeken ve bunlara hareket veren traktörler hesaba dahil edilmiştir.

**d) Atık Isı:** Yakıtın yanmasından dolayı oluşan atık ısı değeri, yakıtın alt ısıl değerine bağlı olarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Nemecek ve Kagi, 2007).

$$AI = M_{\text{yakıt}} \times LHV_{\text{yakıt}} \dots\dots\dots(3.28)$$

Burada;

- AI : Atık ısı değeri (MJ<sub>yakıt</sub>/ha),  
M<sub>yakıt</sub> : Yakıt tüketim miktarı (kg<sub>yakıt</sub>/ha) ve  
LHV<sub>yakıt</sub> : Yakıtın alt ısıl değeridir (dizel yakıt için 43 MJ/kg).

### 3.2.3.2.3. Diğer Envanterler

- Sulama; 1 ha'lık alanda tatlı sorgum bitkisinin yetiştirilmesi için 680 m<sup>3</sup> sulama yapılmıştır. Sulamanın envanter değerleri için İsveç koşullarına göre oluşturulmuş olan ecoinvent veri tabanından faydalanılmıştır.

- İşlenebilir alandan toprak taşınması ve işlenebilir alana toprak taşınması; 1 ha (10000 m<sup>2</sup>) değeri alınmıştır.

- İşlenebilir alanda yapılan iş: Tatlı sorgum bitkisinin yetiştirilmesi 5 ay sürdüğü için, 1 ha'lık alan 5/12 ile çarpılarak 0.416 ha yıl (4166.66 m<sup>2</sup>a) değeri alınmıştır.

### 3.2.3.3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi

Yaşam döngüsü envanter analizinden elde edilen sonuçlara göre, tatlı sorgum biyokütlesi üretim sisteminin çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde, Leiden Üniversitesi Çevre Bilimleri Merkezinin birkaç bilim adamı tarafından 2001 yılında ISO Standartlarına uygun olarak geliştirilmiş olan CML 2001 modelinden yararlanılmıştır.

CML 2001 modeline göre oluşturulmuş olan etki kategorileri Çizelge 3.27'de verilmiştir. Bu etki kategorilerine göre, SimaPro 7 programına girilen yaşam döngüsü envanter değerlerine bağlı olarak tatlı sorgum biyokütlesi üretim sisteminin yaşam döngüsü etki değerlendirmesi yapılmıştır ve etkilerin karakterizasyon değerleri bulunmuştur.

Çizelge 3.27. CML 2001 Modeline Göre Etki Kategorileri ve Kategori Uç Noktaları (Althaus ve ark., 2010)

| ETKİ KATEGORİSİ                    | KATEGORİ GÖSTERGESİ                  | KATEGORİ UÇ NOKTASI     | KARAKTERİZASYON BİRİMİ               |
|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Abiyotik Bozunma                   | Kuraklık, çölleşme                   | İnsan sağlığı           | kg Sb-eş                             |
| Asitleşme Potansiyeli              | Asit yağmurları                      | İnsan sağlığı           | kg SO <sub>2</sub> -eş               |
| Deniz Canlılarının Zehirlenmesi    | Bitki ve hayvan türlerinin tükenmesi | Suda yaşayan canlılar   | kg 1.4-DCB-eş                        |
| Fotokimyasal Oksidasyon            | Sis                                  | İnsan sağlığı           | kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eş |
| İklim Değişikliği                  | Küresel ısınma                       | İnsan sağlığı           | kg CO <sub>2</sub> -eş               |
| İnsan Zehirlenmesi                 | Kanser, astım, alerji, vb.           | İnsan sağlığı           | kg 1.4-DCB-eş                        |
| Kara Canlılarının Zehirlenmesi     | Bitki ve hayvan türlerinin tükenmesi | Karada yaşayan canlılar | kg 1.4-DCB-eş                        |
| Ötrofikasyon Potansiyeli           | Sulardaki oksijenin azalması         | Suda yaşayan canlılar   | kg PO <sub>4</sub> -eş               |
| Stratosferdeki Ozon Azalması       | Ozon tabakasının delinmesi           | İnsan sağlığı           | kg CFC11-eş                          |
| Temiz Su Canlılarının Zehirlenmesi | Bitki ve hayvan türlerinin tükenmesi | Suda yaşayan canlılar   | kg 1.4-DCB-eş                        |

Daha sonra bütün etki kategorilerini kendi aralarında kıyaslayabilmek amacıyla, CML 2001 modeline göre geliştirilmiş olan Çizelge 3.28'deki normalleştirme faktörlerinden faydalananarak normalleştirme yapılmıştır.

Çizelge 3.28. CML 2001 Modeline Göre Geliştirilmiş Olan Normalleştirme Faktörleri (Althaus ve ark., 2010)

| ETKİ KATEGORİSİ                             | NORMALLEŞTİRME FAKTÖRÜ                  |                       |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|
|                                             | BİRİM                                   | DEĞER                 |
| Abiyotik Bozunma                            | kg Sb-eş/kg                             | $1.57 \times 10^{11}$ |
| Asitleşme Potansiyeli                       | kg SO <sub>2</sub> -eş/kg               | $3.22 \times 10^{11}$ |
| Deniz Canlılarının Zehirlenmesi (20 yıl)    | kg 1.4-DCB-eş/kg                        | $4.83 \times 10^{11}$ |
| Fotokimyasal Oksidasyon                     | kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eş/kg | $8.69 \times 10^{10}$ |
| İklim Değişikliği (20 yıl)                  | kg CO <sub>2</sub> -eş/kg               | $5.40 \times 10^{13}$ |
| İnsan Zehirlenmesi (20 yıl)                 | kg 1.4-DCB-eş/kg                        | $5.67 \times 10^{13}$ |
| Kara Canlılarının Zehirlenmesi (20 yıl)     | kg 1.4-DCB-eş/kg                        | $1.35 \times 10^{11}$ |
| Ötrofikasyon Potansiyeli                    | kg PO <sub>4</sub> -eş/kg               | $1.32 \times 10^{11}$ |
| Stratosferdeki Ozon Azalması (20 yıl)       | kg CFC11-eş/kg                          | $6.01 \times 10^8$    |
| Temiz Su Canlılarının Zehirlenmesi (20 yıl) | kg 1.4-DCB-eş/kg                        | $1.79 \times 10^{12}$ |

#### 3.2.3.4. Yorumlama

Tatlı sorgum biyokütlesi üretim sisteminin yaşam döngüsü, envanter analizi ve etki değerlendirme bulgularına dayanarak aşağıda verilmiş olan etkilere göre yorumlanmıştır. Bu etkiler;

- Küresel Etkiler;
  - İklim değişikliği,
  - Stratosferdeki ozon azalması ve
  - Abiyotik bozunma.
- Bölgesel Etkiler;
  - Fotokimyasal oksidasyon ve
  - Asitleşme potansiyeli.
- Yerel Etkiler;
  - İnsan, kara canlılarının, su canlılarının ve temiz su canlılarının zehirlenmesi,
  - Ötrofikasyon potansiyelidir.



#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

##### 4.1. Tatlı Sorgum Biyokütlesinin Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine İlişkin Bulgular

Tatlı sorgum biyokütlesinin elementel analizine göre, kuru bazda biyokütlenin karbon (C) içeriği % 47.68, oksijen (O<sub>2</sub>) içeriği % 40.03, hidrojen (H) içeriği % 5.42, azot (N) içeriği % 0.60 ve kükürt (S) içeriği de % 0.15 bulunmuştur. Kısa analizine göre de; orijinal bazda biyokütlenin uçucu madde miktarı % 70.54, bağlı karbon miktarı % 16.72, nem miktarı % 7.06 ve kül miktarı da % 5.69 olarak saptanmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Tatlı Sorgum Biyokütlesinin Elementel ve Kısa Analizi

| Elementel Analiz (%) (Kuru bazda) |                           |              |          |            | Kısa Analiz (%) (Orjinal bazda) |                   |      |      |
|-----------------------------------|---------------------------|--------------|----------|------------|---------------------------------|-------------------|------|------|
| Karbon (C)                        | Oksijen (O <sub>2</sub> ) | Hidrojen (H) | Azot (N) | Kükürt (S) | Uçucu Madde (UM)                | Bağlı Karbon (BC) | Nem  | Kül  |
| 47.68                             | 40.03                     | 5.42         | 0.60     | 0.15       | 70.54                           | 16.72             | 7.06 | 5.69 |

Elementel analiz sonuçlarına göre, tatlı sorgum biyokütlesinde en fazla bulunan element, C (% 47.68) elementi olarak saptanmıştır. Tatlı sorgum biyokütlesinin C içeriği (% 47.68), Vassilev ve ark. (2010)'nın 86 çeşit biyokütle için buldukları C içeriği (% 42-71) değerleri arasında ve katı fosil yakıtların C içeriği (% 56-87) değerlerinin oldukça altında belirlenmiştir. Tatlı sorgum biyokütlesi C içeriği, biyokütle yakıtının ısı değeri ve sera gazı emisyonlarının yoğunluğunu, yüksek C içeriğine sahip biyokütlelere kıyasla azaltıcı bir yönde etkisi olmaktadır.

Elementel analiz sonuçlarına göre, tatlı sorgum biyokütlesinde en az bulunan element, S (% 0.15) elementi olarak saptanmıştır. Tatlı sorgum biyokütlesinin S içeriği (% 0.15), Vassilev ve ark. (2010)'nın 86 çeşit biyokütle için buldukları S içeriği (% 0.01-2.3) değerleri arasında ve katı fosil yakıtların S içeriği (% 0.2-9.8) değerlerinin altında belirlenmiştir. Tatlı sorgum biyokütlesi S içeriği, biyokütlenin yanmasından dolayı oluşan çevreyi kirletme (asitleşme) etkisine, yüksek S içeriğine sahip biyokütlelere kıyasla azaltıcı bir yönde etkisi olmaktadır.

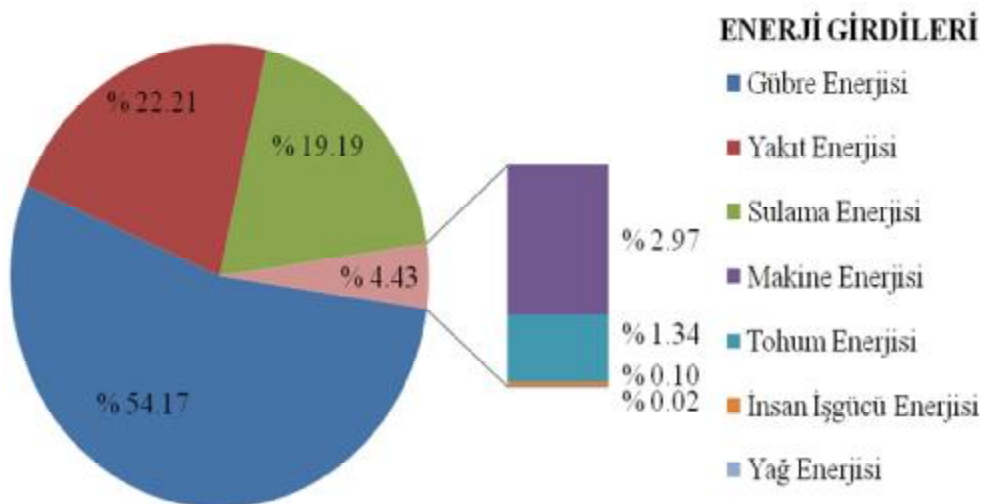
Tatlı sorgum biyokütlesine ait üst ısıl değer (HHV) eşitlik 3.1'e göre 18.53 MJ/kg olarak hesaplanmıştır. Tatlı sorgum biyokütlesinin HHV'si kuru baza göre belirlendiği için alt ısıl değeri (LHV) de HHV'ye eşit kabul edilmiştir.

Yin (2011) yaptığı bir çalışmada; buğday samanının, pamuk ve mısır sapının üst ısıl değerlerini, sırasıyla, 17.99 MJ/kg, 17.40 MJ/kg, 17.93 MJ/kg olarak hesaplamıştır. Tatlı sorgum biyokütlesinin üst ısıl değerinin (18.53 MJ/kg), Çukurova bölgesinde de yetiştiriciliği yapılan buğday, pamuk ve mısır biyokütlelerine kıyasla yüksek bir değerde olduğu belirlenmiştir.

## 4.2. Enerji Analizine İlişkin Bulgular

### 4.2.1. Enerji Girdileri

Tatlı sorgum üretimi için hesaplanan enerji girdileri arasında en yüksek enerji girdisi olarak gübre enerjisi (% 54.17) belirlenmiştir. Gübre enerjisi girdisini sırasıyla, yakıt enerjisi girdisi (% 22.21), sulama enerjisi girdisi (% 19.19) ve diğer enerji girdileri (% 4.43) takip etmektedir. Diğer enerji girdileri arasında en yüksek payı makine enerjisi girdisi (% 2.97) oluşturmaktadır. Makine enerjisi girdisini sırasıyla, tohum enerjisi girdisi (% 1.34), insan işgücü enerjisi girdisi (% 0.10) ve yağ enerjisi girdisi (% 0.02) takip etmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Tatlı sorgum üretiminde enerji girdilerinin yüzdelik dağılımı

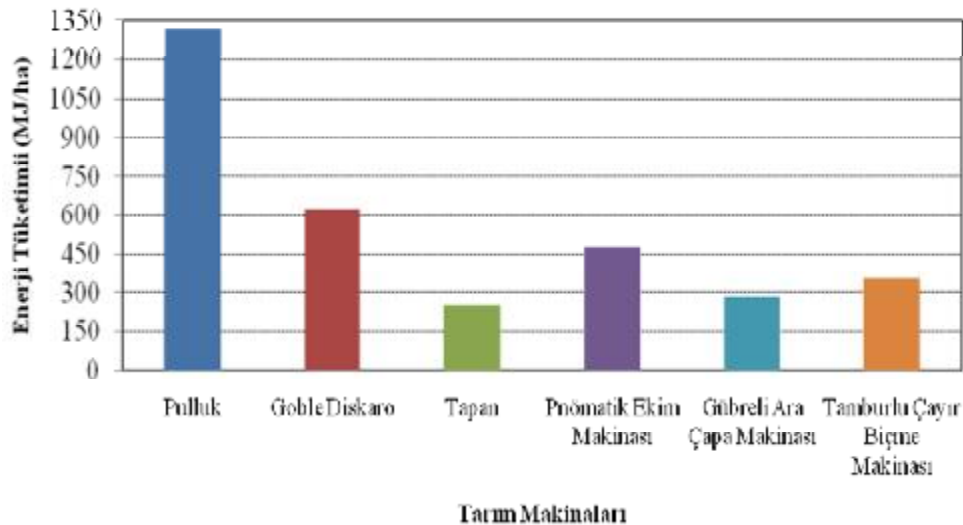
#### 4.2.1.1. Doğrudan Enerji Girdileri

**a) Yakıt Enerjisi Girdisi:** Tatlı sorgum üretiminde farklı tarla uygulamaları için birim üretim alanı (ha) başına yakıt miktarı ve yakıt enerjisi tüketimi değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Tatlı sorgum üretiminde birim alan (ha) başına toplam 92.60 L motorin kullanılmaktadır. Kullanılan bu yakıt miktarına karşılık olarak, birim alan (ha) için toplam 3304.89 MJ yakıt enerjisi tüketilmektedir.

Tatlı sorgum üretiminde kullanılan yakıt enerjisi girdisinin, üretimde kullanılan toplam enerji girdisine oranı, % 22.21 olarak belirlenmiştir. Yakıt enerjisi girdisi, üretimde kullanılan diğer girdilerin oranına kıyasla gübre kullanımından sonra ikinci sırada gelmektedir (Şekil 4.1).

Çizelge 4.2. Tatlı Sorgum Üretiminde Farklı Tarla Uygulamaları İçin Birim Üretim Alanı Başına Yakıt Miktarı ve Yakıt Enerjisi Tüketimi Değerleri

| Tarla Uygulamaları            | Hektar (ha)<br>Başına<br>Miktar | Toplam Enerji<br>Eşdeğeri<br>(MJ/ha) | Toplam Enerji<br>Girdisine Oranı<br>(%) |
|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Yakıt (L)</b>              | <b>92.60</b>                    | <b>3304.89</b>                       | <b>22.21</b>                            |
| Pulluk                        | 36.90                           | 1316.96                              | 8.85                                    |
| Goble Diskaro                 | 17.40                           | 621.01                               | 4.17                                    |
| Tapan                         | 7.00                            | 249.83                               | 1.68                                    |
| Pnömatik Ekim Makinası        | 13.30                           | 474.68                               | 3.19                                    |
| Gübreli Ara Çapa Makinası     | 8.00                            | 285.52                               | 1.92                                    |
| Tamburlu Çayır Bıçme Makinası | 10.00                           | 356.90                               | 2.40                                    |



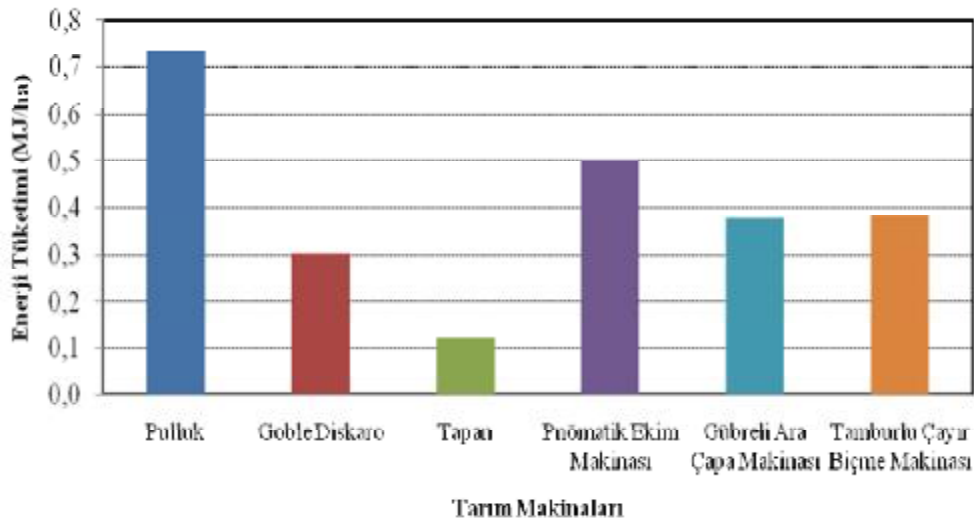
Şekil 4.2. Tarım makinaları ile çalışmada yakıt enerjisi tüketimi

**b) Yağ Enerjisi Girdisi:** Tatlı sorgum üretiminde farklı tarla uygulamaları için birim üretim alanı (ha) başına yağ miktarı ve yağ enerjisi tüketimi değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir. Tatlı sorgum üretiminde birim alan (ha) başına toplam 0.37 L motor yağı kullanılmaktadır. Kullanılan bu yağ miktarına karşılık olarak, birim alan (ha) için toplam 2.42 MJ yağ enerjisi tüketilmektedir.

Tatlı sorgum üretiminde kullanılan yağ enerjisi girdisinin, üretimde kullanılan toplam enerji girdisine oranı, diğer girdilerin oranına kıyasla en düşük düzeyde olup, % 0.02 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.1).

Çizelge 4.3. Tatlı Sorgum Üretiminde Farklı Tarla Uygulamaları İçin Birim Üretim Alanı Başına Yağ Miktarı ve Yağ Enerjisi Tüketimi Değerleri

| Tarla Uygulamaları            | Hektar (ha)<br>Başına<br>Miktar | Toplam Enerji<br>Eşdeğeri<br>(MJ/ha) | Toplam Enerji<br>Girdisine Oranı<br>(%) |
|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Yağ (L)</b>                | <b>0.37</b>                     | <b>2.42</b>                          | <b>0.020</b>                            |
| Pulluk                        | 0.11                            | 0.73                                 | 0.005                                   |
| Goble Diskaro                 | 0.05                            | 0.30                                 | 0.002                                   |
| Tapan                         | 0.02                            | 0.12                                 | 0.001                                   |
| Pnömatik Ekim Makinası        | 0.08                            | 0.50                                 | 0.003                                   |
| Gübreli Ara Çapa Makinası     | 0.06                            | 0.38                                 | 0.003                                   |
| Tamburlu Çayır Bıçme Makinası | 0.06                            | 0.38                                 | 0.003                                   |



Şekil 4.3. Tarım makinaları ile çalışma sırasında yağ enerjisi tüketimi

Tatlı sorgum üretim işlemleri arasında, en fazla yağ tüketimi, 20-25 cm derinlikte pullukla toprak işleme (0.11 L/ha) sırasında gerçekleşmektedir. Pullukla toprak işleme sırasında, toplam enerji girdisinin % 0.005'i oranında (0.73 MJ/ha) yağ enerjisi tüketilmektedir. Tatlı sorgum üretiminde yağ enerjisi tüketimi bakımından, pullukla toprak işlemeyi sırasıyla, pnömatik ekim makinası ile ekim (0.08 L/ha ve 0.50 MJ/ha) ve birbiri ile aynı değerde olan gübreli ara çapa makinası ile çapalama ve tamburlu çayır biçme makinası ile hasat (0.06 L/ha ve 0.38 MJ/ha) izlemektedir. En düşük yağ enerjisi tüketimi tapan ile toprağın düzleştirilmesi (0.02 L/ha ve 0.12 MJ/ha) sırasında gerçekleşmektedir (Şekil 4.3).

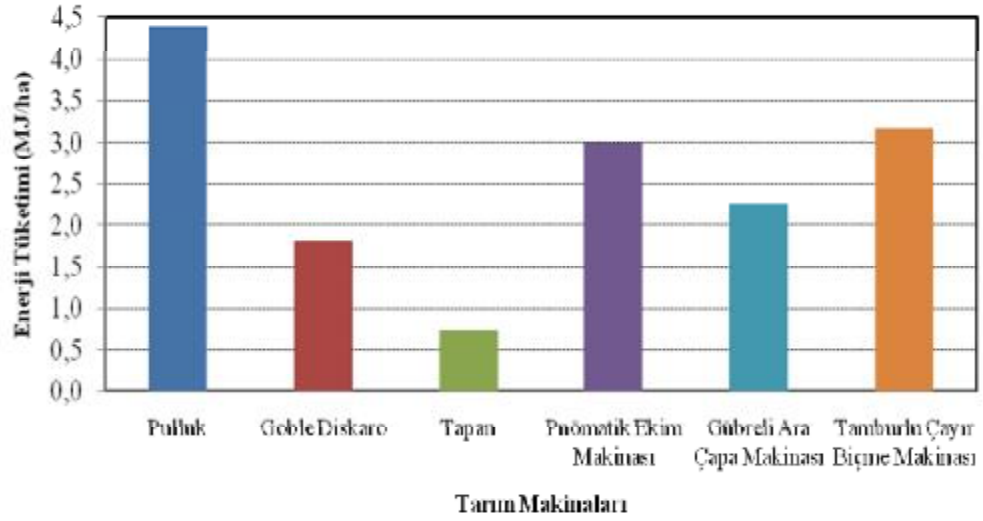
#### 4.2.1.2. Dolaylı Enerji Girdileri

**a) İnsan İşgücü Enerjisi Girdisi:** Tatlı sorgum üretimi işlemleri sırasında yararlanılan insan işgücüne ilişkin enerji tüketim değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir. Tatlı sorgum üretiminde birim alan (ha) başına toplam 6.73 h sürede insan işgücünden yararlanılmaktadır. Bu sürede, yararlanılan insan işgücüne karşılık olarak, birim alan (ha) için toplam 15.34 MJ insan işgücü enerjisi tüketilmektedir.

Tatlı sorgum üretiminde kullanılan insan işgücü enerjisi girdisinin, üretimde kullanılan toplam enerji girdisine oranı, diğer girdilerin oranına kıyasla düşük düzeyde, % 0.10 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.1).

Çizelge 4.4. Tatlı Sorgum Üretiminde Farklı Tarla Uygulamaları İçin Birim Üretim Alanı Başına İnsan İşgücü Miktarı ve İnsan İşgücü Enerjisi Tüketimi Değerleri

| Tarla Uygulamaları             | Hektar (ha)<br>Başına<br>Miktar | Toplam Enerji<br>Eşdeğeri<br>(MJ/ha) | Toplam Enerji<br>Girdisine Oranı<br>(%) |
|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b><i>İnsan İşgücü (h)</i></b> | <b>6.73</b>                     | <b>15.34</b>                         | <b>0.100</b>                            |
| Pulluk                         | 1.92                            | 4.38                                 | 0.029                                   |
| Goble Diskaro                  | 0.79                            | 1.81                                 | 0.012                                   |
| Tapan                          | 0.32                            | 0.72                                 | 0.005                                   |
| Pnömatik Ekim Makinası         | 1.32                            | 3.00                                 | 0.020                                   |
| Gübreli Ara Çapa Makinası      | 0.99                            | 2.26                                 | 0.015                                   |
| Tamburlu Çayır Biçme Makinası  | 1.39                            | 3.17                                 | 0.021                                   |



Şekil 4.4. Tarım makinaları ile çalışma sırasında insan işgücü enerjisi tüketimi

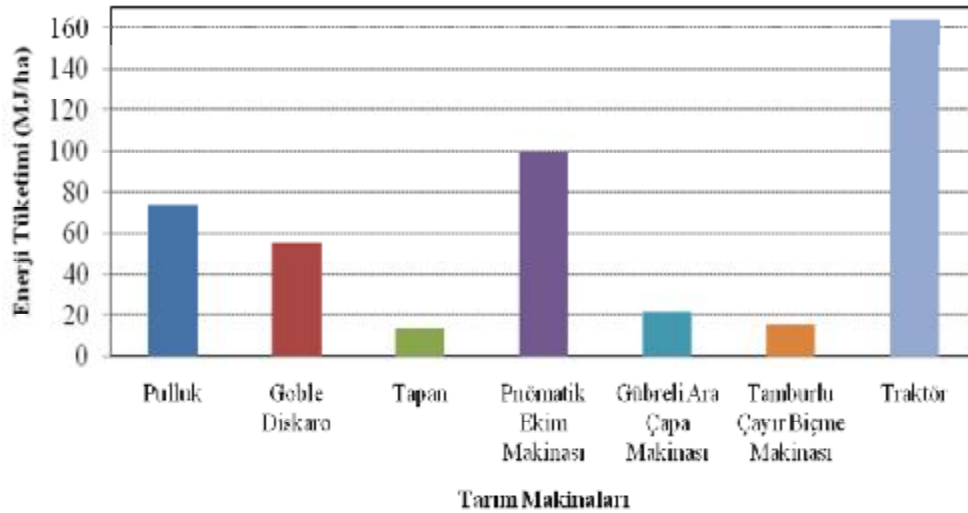
Tatlı sorgum üretim işlemleri arasında, en fazla insan işgücü kullanımı, 20–25 cm derinlikte pullukla toprak işleme (1.92 h/ha) sırasında gerçekleşmektedir. Pullukla toprak işleme sırasında, toplam enerji girdisinin % 0.029’u oranında (4.38 MJ/ha) insan işgücü enerjisi tüketilmektedir. Tatlı sorgum üretiminde insan işgücü enerjisi tüketimi bakımından, pullukla toprak işlemeyi sırasıyla, tamburlu çayır biçme makinası ile hasat (1.39 h sürede 3.17 MJ/ha) ve pnömatik ekim makinası ile ekim (1.32 h sürede 3.00 MJ/ha) izlemektedir. En az insan işgücü enerjisi tüketimi tapan ile toprağın düzleştirilmesi (0.32 h sürede 0.72 MJ/ha) sırasında gerçekleşmektedir (Şekil 4.4).

**b) Makina Enerjisi Girdisi:** Tatlı sorgum üretimi işlemleri sırasında yararlanılan makinaların kullanımına ilişkin enerji tüketim değerleri Çizelge 4.5’de verilmiştir. Tatlı sorgum üretiminde birim alan (ha) başına toplam 13.46 h süre ile makina kullanılmaktadır. Bu sürede, kullanılan makinalara karşılık olarak, birim alan (ha) için toplam 441.62 MJ makina enerjisi tüketilmektedir.

Tatlı sorgum üretiminde kullanılan makina enerji girdisinin, üretimde kullanılan toplam enerji girdisine oranı, diğer girdilerin oranına kıyasla düşük düzeyde, % 2.97 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.1).

Çizelge 4.5. Tatlı Sorgum Üretiminde Farklı Tarla Uygulamaları İçin Birim Üretim Alanı Başına Makina Kullanım Miktarı ve Makina Kullanım Enerjisi Tüketimi Değerleri

| Tarla Uygulamaları            | Hektar (ha)<br>Başına<br>Miktar | Toplam Enerji<br>Eşdeğeri<br>(MJ/ha) | Toplam Enerji<br>Girdisine Oranı<br>(%) |
|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Makina (h)</b>             | <b>13.46</b>                    | <b>441.62</b>                        | <b>2.97</b>                             |
| Traktör                       | 6.73                            | 163.77                               | 1.10                                    |
| Pulluk                        | 1.92                            | 73.76                                | 0.50                                    |
| Goble Diskaro                 | 0.79                            | 55.39                                | 0.37                                    |
| Tapan                         | 0.32                            | 12.98                                | 0.09                                    |
| Pnömatik Ekim Makinası        | 1.32                            | 99.51                                | 0.67                                    |
| Gübreli Ara Çapa Makinası     | 0.99                            | 21.28                                | 0.14                                    |
| Tamburlu Çayır Bıçme Makinası | 1.39                            | 14.93                                | 0.10                                    |



Şekil 4.5. Tarım makinaları ile çalışma sırasında makina enerjisi tüketimi

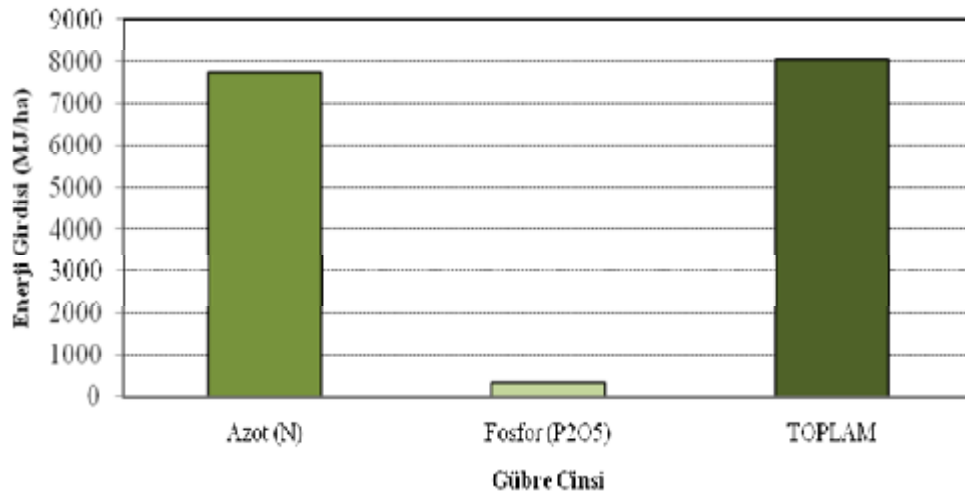
Tatlı sorgum üretim işlemleri arasında, en fazla makina kullanımı, traktör (6.73 h/ha) kullanımı sırasında gerçekleşmektedir. Traktör kullanımı sırasında, toplam enerji girdisinin % 1.10'u oranında (163.77 MJ/ha) makina enerjisi tüketilmektedir. Tatlı sorgum üretiminde makina enerjisi tüketimi bakımından, traktör kullanımını sırasıyla, pnömatik ekim makinası ile ekim (1.32 h sürede 99.51 MJ/ha) ve pullukla toprak işleme (1.92 h sürede 73.76 MJ/ha) uygulaması izlemektedir. En az insan makina enerjisi tüketimi tapan ile toprağın düzleştirilmesi (0.32 h sürede 12.98 MJ/ha) sırasında gerçekleşmektedir (Şekil 4.5).

**c) Gübre Enerjisi Girdisi:** Tatlı sorgum üretiminde gübre kullanımı sonucunda tüketilen gübre enerjisi değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir. Tatlı sorgum üretiminde, hektara 172.00 kg saf azot (N) ve 40.00 kg saf fosfor ( $P_2O_5$ ) uygulanmıştır. Tatlı sorgum üretiminde birim üretim alanı (ha) başına 8060.00 MJ gübre enerjisi tüketilmektedir.

Çizelge 4.6. Tatlı Sorgum Üretiminde Birim Üretim Alanı Başına Gübre Miktarı ve Gübre Enerjisi Tüketimi Değerleri

| Girdi                         | Hektar (ha)<br>Başına<br>Miktar | Toplam Enerji<br>Eşdeğeri<br>(MJ/ha) | Toplam Enerji<br>Girdisine Oranı<br>(%) |
|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Kimyasal Gübreler (kg)</b> | <b>212</b>                      | <b>8060.00</b>                       | <b>54.17</b>                            |
| Azot (N)                      | 172                             | 7740.00                              | 52.02                                   |
| Fosfor ( $P_2O_5$ )           | 40                              | 320.00                               | 2.15                                    |

Tatlı sorgum üretiminde gübre enerjisi girdisinin, üretimde kullanılan toplam enerji girdisine oranı, diğer girdilerin oranına kıyasla en yüksek düzeyde olduğu, % 54.17 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.6. Tatlı sorgum üretiminde gübre enerjisi tüketimi

Tatlı sorgum üretiminde toplam enerji girdisinin % 52.02’sini azotlu gübre kullanımı oluşturmaktadır. Azotlu ve fosforlu gübre kullanımı sonucunda birim üretim alanı (ha) başına sırasıyla 7740.00 MJ ve 320.00 MJ enerji tüketilmektedir (Şekil 4.6).

**d) Sulama Enerjisi Girdisi:** Tatlı sorgum üretiminde yağmurlama sulama yapılması sonucunda tüketilen sulama enerji girdisi değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir. Tatlı sorgum üretiminde, toplamda 680 m<sup>3</sup> sulama yapılmıştır. Bu sulama miktarında, birim üretim alanı (ha) için sulama enerjisi girdisi 2856 MJ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7. Tatlı Sorgum Üretiminde Birim Üretim Alanı Başına Sulama Miktarı ve Sulama Enerjisi Tüketimi Değerleri

| Girdi                    | Hektar (ha) Başına Miktar | Sulama Enerji Eşdeğeri (MJ/m <sup>3</sup> ) | Sulama Enerjisi Girdisi (MJ/ha) | Toplam Enerji Girdisine Oranı (%) |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Sulama (m <sup>3</sup> ) | 680                       | 4.20                                        | 2856                            | 19.19                             |

Tatlı sorgum üretiminde sulama enerjisi girdisinin, üretimde kullanılan toplam enerji girdisine oranı % 19.19 olarak belirlenmiştir. Sulama enerjisi girdisi, üretimde kullanılan diğer girdilerin oranına kıyasla yakıt enerjisi girdisinden sonra üçüncü sırada gelmektedir (Şekil 4.1).

**e) Tohumluk Enerjisi Girdisi:** Tatlı sorgum üretiminde tohumluk kullanımı sonucunda tüketilen enerji girdisi değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. Tatlı sorgum üretiminde, hektara 5.00 kg tatlı sorgum tohumu ekilmiştir. Bu ekim normunda, birim üretim alanı (ha) için tohumluk enerjisi girdisi 200 MJ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8. Tatlı Sorgum Üretiminde Birim Üretim Alanı İçin Kullanılan Tohumluk Miktarı ve Tohumluk Enerjisi Tüketimi Değerleri

| Girdi               | Ekim Normu (kg/ha) | Tohumluk Enerji Eşdeğeri (MJ/kg) | Tohumluk Enerjisi Girdisi (MJ/ha) | Toplam Enerji Girdisine Oranı (%) |
|---------------------|--------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Tatlı sorgum tohumu | 5.00               | 40.00                            | 200.00                            | 1.34                              |

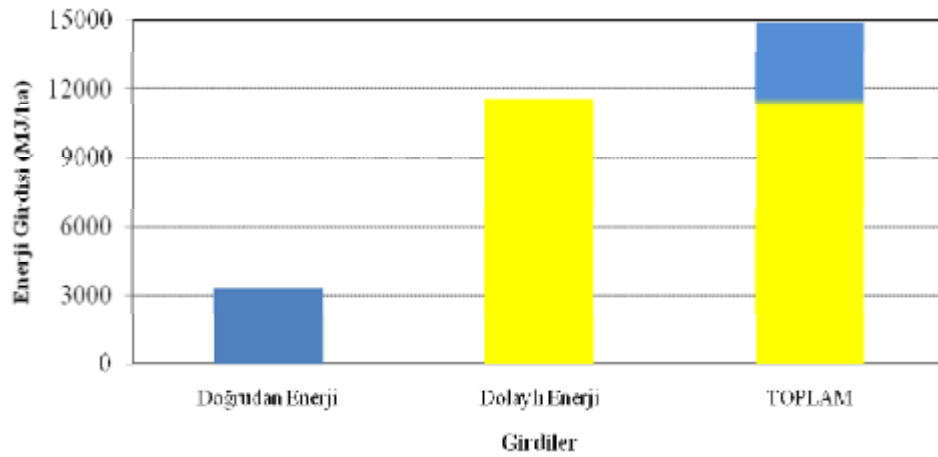
Tatlı sorgum üretiminde tohumluk enerjisi girdisinin, üretimde kullanılan toplam enerji girdisine oranı, diğer girdilerin oranına kıyasla düşük düzeyde, % 1.34 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.1).

#### 4.2.1.3. Toplam Enerji Girdisi

Tatlı sorgum üretiminde tüketilen enerji değerleri Çizelge 4.9’da verilmiştir. Tatlı sorgum üretimi için doğrudan (3307.32 MJ/ha) ve dolaylı (11572.96 MJ/ha) enerji tüketimlerinin toplamı 14880.28 MJ/ha olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.7). Toplam enerji tüketiminin; % 22.23’ünü doğrudan, % 77.77’sini ise dolaylı enerji tüketimleri oluşturmaktadır.

Çizelge 4.9. Tatlı Sorgum Üretiminde Doğrudan ve Dolaylı Enerji Girdileri

| Girdiler                | Enerji Girdisi<br>(MJ/ha) | Toplam Enerji Girdisine<br>Oranı (%) |
|-------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Doğrudan enerji girdisi | 3307.32                   | 22.23                                |
| Dolaylı enerji girdisi  | 11572.96                  | 77.77                                |
| <b>TOPLAM</b>           | <b>14880.28</b>           | <b>100.00</b>                        |



Şekil 4.7. Tatlı sorgum üretiminde enerji girdilerinin değişimi

Rajvanshi (1984) tarafından yapılan bir çalışmada, Hindistan (NARI) koşullarında tatlı sorgum üretiminde toplam enerji girdisi 22554 MJ/ha olarak belirlenmiştir. Woods (2000) tarafından yapılan doktora çalışmasında, Zimbabve’de tatlı sorgum yetiştirme işleminin toplam enerji girdisi; işlem elle yapıldığında 11038 MJ/ha, makine ile yapıldığında 12774 MJ/ha olduğu belirlenmiştir. Grassi (2001) tarafından yapılan bir çalışma da tatlı sorgum tarımı için gerekli olan toplam enerji girdisi 12560 MJ/ha olarak belirlenmiştir. Monti ve Venturi (2003) tarafından Kuzey İtalya’da yapılan bir çalışmada, tatlı sorgum yetiştirilmesi için

toplam enerji girdisi 19100 MJ/ha olarak belirlenmiştir. Venturi ve Venturi (2003) tarafından yapılan bir çalışmada da, Avrupa ülkeleri için tatlı sorgum üretimi toplam enerji girdisi 16700-16900 MJ/ha arasında belirlenmiştir.

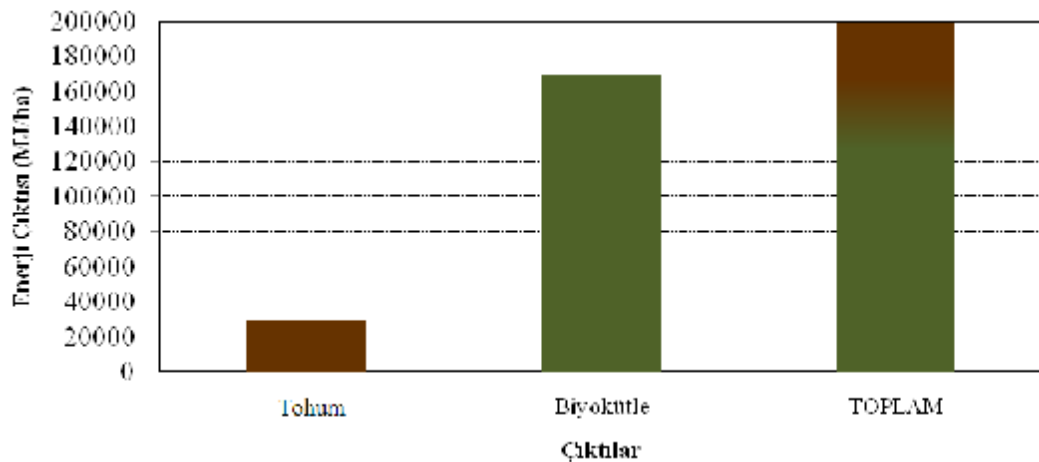
Yaptığımız çalışmada tatlı sorgum üretimi toplam enerji girdisi 14880.28 MJ/ha olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değer şimdiye kadar yapılan çalışmalarda bulunan değerler arasında kalmaktadır. Toplam enerji girdisinin düşük yada yüksek çıkması, gübre uygulamalarından ve yakıt kullanımından kaynaklanmaktadır.

#### 4.2.2. Enerji Çıktıları

Tatlı sorgum üretiminde birim üretim alanı (ha) başına 2085 kg tohum ve 9135 kg kuru biyokütle elde edilmiştir. Tatlı sorgum bitkisinin tohum ve biyokütle kısımları dikkate alınarak hesaplanan enerji çıktısı değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Tatlı Sorgum Üretiminde Enerji Çıktıları

| Çıktı         | Verim (kg/ha)   | Enerji Eşdeğeri (MJ/kg) | Enerji Çıktısı (MJ/ha) | Toplam Enerji Çıktısına Oranı (%) |
|---------------|-----------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| Tohum         | 2085.00         | 14.27                   | 29752.95               | 14.95                             |
| Biyokütle     | 9135.00         | 18.53                   | 169271.55              | 85.05                             |
| <b>Toplam</b> | <b>11220.00</b> |                         | <b>199024.50</b>       | <b>100.00</b>                     |



Şekil 4.8. Tatlı sorgum üretiminde birim alandan (ha) elde edilen enerji çıktıları

Tatlı sorgum üretiminde toplam enerji çıktısı; sadece biyokütle verimi dikkate alındığında 169271.55 MJ/ha, tohum (29752.95 MJ/ha) ve biyokütle verimleri birlikte dikkate alındığında ise toplam 199024.55 MJ/ha olarak hesaplanmıştır. Sadece tatlı sorgum biyokütle enerji çıktısı (169271.55 MJ/ha), tatlı sorgum üretiminde, toplam enerji çıktısının % 85.05'ini oluşturmaktadır (Şekil 4.8).

Monti ve Venturi (2003) tarafından Kuzey İtalya'da yapılan bir çalışmada, tatlı sorgum biyokütle verimi 20800 kg/ha olarak belirlenmiştir. Venturi ve Venturi (2003) tarafından yapılan bir çalışmada da, Avrupa ülkeleri için tatlı sorgum biyokütle verimi 15000-25000 kg/ha arasında saptanmıştır.

Bu araştırmada, tatlı sorgum biyokütle verimi 9135 kg/ha olarak belirlenmiştir. Monti ve Venturi (2003) ve Venturi ve Venturi (2003)'nin yapmış oldukları çalışmalara kıyasla oldukça düşük çıkmıştır. İlaçlama yapılmadığından dolayı saplarda kurtlar oluşmuştur bu da biyokütle verimini oldukça etkilemiştir.

Rajvanshi (1984) tarafından yapılan bir çalışmada, Hindistan (NARI) koşullarında tatlı sorgum üretiminde toplam enerji çıktısı 110950 MJ/ha olarak belirlenmiştir. Grassi (2001) tarafından yapılan bir çalışma da tatlı sorgum tarımı için gerekli olan toplam enerji çıktısı 180032 MJ/ha olarak saptanmıştır. Monti ve Venturi (2003) tarafından Kuzey İtalya'da yapılan bir çalışmada, tatlı sorgum yetiştirilmesi için toplam enerji çıktısı 140600 MJ/ha olarak belirlenmiştir. Venturi ve Venturi (2003) tarafından yapılan bir çalışmada da, Avrupa ülkeleri için tatlı sorgum üretiminin toplam enerji çıktısı 250000-42200 MJ/ha arasında saptanmıştır.

Bu araştırmada, tatlı sorgum üretimi toplam enerji çıktısı 199024 MJ/ha olarak hesaplanmıştır. Toplam enerji çıktısı Avrupa ülkeleri için hesaplanan toplam enerji çıktısı değerlerine kıyasla düşük bir değerde çıkmıştır. Monti ve Venturi (2003) ve Grassi (2001)'nin yapmış olduğu çalışmalara göre ise yüksek bir değerde bulunmuştur. Rajvanshi (1984)'nin yapmış olduğu çalışmaya göre oldukça yüksek hesaplanmıştır. Toplam enerji çıktısının yüksek veya düşük olması elde edilen ürünün veriminden kaynaklanmaktadır.

Tatlı sorgum üretiminde kullanılan girdiler için hesaplanan enerji girdisi değerleri ve çıktılar için hesaplanan enerji çıktısı değerleri Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Tatlı Sorgum Üretiminde Enerji Girdileri ve Çıktıları

| Girdiler                                | Hektar (ha)<br>Başına Miktar | Toplam Enerji<br>Eşdeğeri<br>(MJ/ha) | Toplam Enerji<br>Girdisine Oranı<br>(%) |
|-----------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>İnsan İşgücü (h)</b>                 | <b>6.73</b>                  | <b>15.34</b>                         | <b>0.100</b>                            |
| Pulluk                                  | 1.92                         | 4.38                                 | 0.029                                   |
| Goble Diskaro                           | 0.79                         | 1.81                                 | 0.012                                   |
| Tapan                                   | 0.32                         | 0.72                                 | 0.005                                   |
| Pnömatik Ekim Makinası                  | 1.32                         | 3.00                                 | 0.020                                   |
| Gübreli Ara Çapa Makinası               | 0.99                         | 2.26                                 | 0.015                                   |
| Tamburlu Çayır Bıçme Makinası           | 1.39                         | 3.17                                 | 0.021                                   |
| <b>Makina (h)</b>                       | <b>13.46</b>                 | <b>441.62</b>                        | <b>2.97</b>                             |
| Traktör                                 | 6.73                         | 163.77                               | 1.10                                    |
| Pulluk                                  | 1.92                         | 73.76                                | 0.50                                    |
| Goble Diskaro                           | 0.79                         | 55.39                                | 0.37                                    |
| Tapan                                   | 0.32                         | 12.98                                | 0.09                                    |
| Pnömatik Ekim Makinası                  | 1.32                         | 99.51                                | 0.67                                    |
| Gübreli Ara Çapa Makinası               | 0.99                         | 21.28                                | 0.14                                    |
| Tamburlu Çayır Bıçme Makinası           | 1.39                         | 14.93                                | 0.10                                    |
| <b>Yakıt (L)</b>                        | <b>92.60</b>                 | <b>3304.89</b>                       | <b>22.21</b>                            |
| Pulluk                                  | 36.90                        | 1316.96                              | 8.85                                    |
| Goble Diskaro                           | 17.40                        | 621.01                               | 4.17                                    |
| Tapan                                   | 7.00                         | 249.83                               | 1.68                                    |
| Pnömatik Ekim Makinası                  | 13.30                        | 474.68                               | 3.19                                    |
| Gübreli Ara Çapa Makinası               | 8.00                         | 285.52                               | 1.92                                    |
| Tamburlu Çayır Bıçme Makinası           | 10.00                        | 356.90                               | 2.40                                    |
| <b>Yağ (L)</b>                          | <b>0.37</b>                  | <b>2.42</b>                          | <b>0.020</b>                            |
| Pulluk                                  | 0.11                         | 0.73                                 | 0.005                                   |
| Goble Diskaro                           | 0.05                         | 0.30                                 | 0.002                                   |
| Tapan                                   | 0.02                         | 0.12                                 | 0.001                                   |
| Pnömatik Ekim Makinası                  | 0.08                         | 0.50                                 | 0.003                                   |
| Gübreli Ara Çapa Makinası               | 0.06                         | 0.38                                 | 0.003                                   |
| Tamburlu Çayır Bıçme Makinası           | 0.06                         | 0.38                                 | 0.003                                   |
| <b>Kimyasal Gübreler (kg)</b>           | <b>212.00</b>                | <b>8060.00</b>                       | <b>54.17</b>                            |
| Azot (N)                                | 172.00                       | 7740.00                              | 52.02                                   |
| Fosfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 40.00                        | 320.00                               | 2.15                                    |
| <b>Sulama (m<sup>3</sup>)</b>           | <b>680.00</b>                | <b>2856.00</b>                       | <b>19.19</b>                            |
| <b>Tohum (kg)</b>                       | <b>5.00</b>                  | <b>200.00</b>                        | <b>1.34</b>                             |
| <b>Toplam Enerji Girdisi (MJ/ha)</b>    |                              | <b>14880.28</b>                      | <b>100.00</b>                           |
| Doğrudan Enerji Girdisi                 |                              | 3307.32                              | 22.23                                   |
| Dolaylı Enerji Girdisi                  |                              | 11572.96                             | 77.77                                   |
| <b>Çıktılar (kg)</b>                    |                              |                                      |                                         |
| Tohum                                   | 2085.00                      | 29752.95                             | 14.95                                   |
| Biyokütle                               | 9135.00                      | 169271.55                            | 85.05                                   |
| <b>Toplam</b>                           | <b>11220.00</b>              | <b>199024.50</b>                     | <b>100.00</b>                           |
| <b>Toplam Enerji Çıktısı (MJ/ha)</b>    |                              | <b>199024.50</b>                     |                                         |
|                                         | <b>Biyokütle</b>             | <b>Toplam</b>                        |                                         |
| <b>ENERJİ ETKİNLİĞİ</b>                 |                              |                                      |                                         |
| Enerji Verimi (-)                       | 11.38                        | 13.38                                |                                         |
| Özgül Enerji (MJ/kg)                    | 1.63                         | 1.33                                 |                                         |
| Enerji Üretkenliği (kg/MJ)              | 0.61                         | 0.75                                 |                                         |
| Net Enerji Üretimi (MJ/ha)              | 154391.27                    | 184144.22                            |                                         |

#### 4.2.3. Enerji Etkinliği

Tatlı sorgum üretimi için hesaplanan enerji etkinliği göstergeleri Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Tatlı Sorgum Üretiminde Enerji Etkinliği .

| <b>Enerji Etkinliği</b>    | <b>Biyokütle</b> | <b>Toplam</b> |
|----------------------------|------------------|---------------|
| Enerji Verimi (-)          | 11.38            | 13.38         |
| Özgül Enerji (MJ/kg)       | 1.63             | 1.33          |
| Enerji Üretkenliği (kg/MJ) | 0.61             | 0.75          |
| Net Enerji Üretimi (MJ/ha) | 154391.27        | 184144.22     |

##### 4.2.3.1. Enerji Verimi

Enerji verimi, üretim sonucunda kazanılan toplam enerji miktarının, üretim işlemlerinde kullanılan toplam enerji miktarına oranı olarak tanımlanır. Enerji verimi, birim üretim alanında (ha) tüketilen birim miktar (MJ) enerji miktarına karşılık, üretim sonucunda birim üretim alanından (ha) kazanılan enerji miktarını (MJ) belirtir. Enerji verimi değerinin yüksek olması, üretimdeki enerji etkinliğinin yüksek olması anlamına gelir.

Tatlı sorgum üretiminde, 9135 kg/ha biyokütle verimi için, enerji verimi 11.38 olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, birim üretim alanından (ha) toplam elde edilen ürün olarak biyokütle ve tohum (2085 kg/ha) dikkate alındığında, enerji verimi 13.38 olarak hesaplanmıştır.

Monti ve Venturi (2003) tarafından Kuzey İtalya’da yapılan bir çalışmada, tatlı sorgum yetiştirilmesi için enerji verimi 7.4 olarak belirlenmiştir. Venturi ve Venturi (2003) tarafından yapılan bir çalışmada da, Avrupa ülkeleri için tatlı sorgum üretiminin enerji verimi 10-32 arasında saptanmıştır.

Bu araştırmada, tatlı sorgum üretiminde enerji verimi 13.38 olarak hesaplanmıştır. Bu değer Avrupa ülkeleri için hesaplanan enerji verimi değeri arasında kalmaktadır.

#### 4.2.3.2. Özgöl Enerji

Özgöl enerji (MJ/kg), üretim işlemlerinde kullanılan toplam enerji miktarının, hasat edilen toplam ürün miktarına oranı olarak tanımlanır. Özgöl enerji değeri, birim miktar (kg) ürün üretmek için tüketilen enerji miktarını (MJ) belirtir. Özgöl enerji değerinin düşük olması, üretimdeki enerji etkinliğinin yüksek olması anlamına gelir.

Tatlı sorgum üretiminde özgöl enerji, sadece birim üretim alanından (ha) alınan biyokütle miktarı dikkate alındığında 1.63 MJ/kg, üretim sonucunda kazanılan toplam çıktı (tohum + biyokütle) miktarı dikkate alındığında ise 1.33 MJ/kg olarak belirlenmiştir. Tatlı sorgum üretiminde, 1 kg biyokütle üretimi için 1.63 MJ enerji tüketilmektedir.

#### 4.2.3.3. Enerji Üretkenliği

Enerji üretkenliği (kg/MJ), özgöl enerji değerinin tersi olup, hasat edilen toplam ürün miktarının, üretim işlemlerinde kullanılan toplam enerji miktarına oranı olarak tanımlanır. Enerji üretkenliği değeri, tüketilen birim miktar (MJ) enerji miktarına karşılık üretilen ürün miktarını (kg) belirtir. Enerji üretkenliği değerinin yüksek olması, üretimdeki enerji etkinliğinin yüksek olması anlamına gelir.

Tatlı sorgum üretiminde enerji üretkenliği, sadece birim üretim alanından (ha) alınan biyokütle miktarı dikkate alındığında 0.61 kg/MJ, üretim sonucunda kazanılan toplam çıktı (tohum + biyokütle) miktarı dikkate alındığında ise 0.75 kg/MJ olarak belirlenmiştir. Tatlı sorgum üretiminde, 1 MJ enerji tüketimi karşılığında 0.61 kg biyokütle üretilmektedir.

#### 4.2.3.4. Net Enerji Üretimi

Net enerji üretimi (MJ/ha), üretim sonucunda kazanılan toplam enerji miktarı ile, üretim işlemlerinde kullanılan toplam enerji miktarı arasındaki fark olarak tanımlanır. Net enerji üretimi değeri, birim üretim alanı (ha) için tüketilen enerji çıkarıldıktan sonra, birim üretim alanından (ha) üretim sonucunda kazanılan net

enerji miktarını (MJ) belirtir. Net enerji üretimi değerin yüksek olması, üretimdeki enerji etkinliğinin yüksek olması anlamına gelir.

Tatlı sorgum üretiminde net enerji üretimi, sadece birim üretim alanından (ha) alınan biyokütle miktarı dikkate alındığında 154391.27 MJ/ha, üretim sonucunda kazanılan toplam çıktı (tohum + biyokütle) miktarı dikkate alındığında ise 184144.22 MJ/ha olarak belirlenmiştir. Tatlı sorgum üretimi işlemlerinde tüketilen toplam enerji miktarı çıkarıldıktan sonra, sadece biyokütle miktarı dikkate alındığında, birim üretim alanından (ha), 154391.27 MJ net enerji kazanılmaktadır.

Monti ve Venturi (2003) tarafından Kuzey İtalya’da yapılan bir çalışmada, tatlı sorgum yetiştirilmesi için net enerji üretimi 121500 MJ/ha olarak belirlenmiştir. Venturi ve Venturi (2003) tarafından yapılan bir çalışmada da, Avrupa ülkeleri için tatlı sorgum üretiminin net enerji üretimi 225000-409000 MJ/ha arasında saptanmıştır.

Mevcut çalışmada ise tatlı sorgum üretiminde net enerji üretimi, 184144.22 MJ/ha olarak hesaplanmıştır. Avrupa ülkeleri için bulunan net enerji üretimi değerine göre düşük çıkmış fakat Kuzey İtalya’da yapılan çalışmaya göre de oldukça yüksek bir değer elde edilmiştir.

#### **4.3. Çevresel Etkilere İlişkin Bulgular**

Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinde, elde edilen ürünlerin ekonomik değerine göre yapılan tahsisat sonucunda; tatlı sorgum tohumu için % 62, tatlı sorgum biyokütlesi için % 38 değeri hesaplanmıştır.

##### **4.3.1. Yaşam Döngüsü Envanterine İlişkin Bulgular**

###### **4.3.1.1. Doğrudan Saha Emisyonları**

Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesi sırasında atılan gübreden dolayı oluşan havaya emisyonları içerisinde en fazla emisyon, birim üretim alanından (ha) salınan 1.61 kg NH<sub>3</sub> değeri ile hem asitleşme hem de ötrofikasyona

sebebi olan amonyak tarafından olduğu belirlenmiştir. İklim değişikliğine sebebi olan dinitrojenmonoksit değeri de (1.46 kg N<sub>2</sub>O/ha) yüksek hesaplanmıştır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Doğrudan Saha Emisyonları (kg/ha)

|                                                             | Uygulama   | Tohum      | Biyokütle  |
|-------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|
| <b>Havaya emisyonlar</b>                                    |            |            |            |
| Amonyak (NH <sub>3</sub> )                                  | 4.24       | 2.63       | 1.61       |
| Dinitrojenmonoksit (N <sub>2</sub> O)                       | 3.85       | 2.39       | 1.46       |
| Nitrojen oksit (NO <sub>x</sub> )                           | 0.81       | 0.50       | 0.31       |
| <b>Suya emisyonlar</b>                                      |            |            |            |
| Fosfor (nehre) (P)                                          | 0.19       | 0.12       | 0.07       |
| Nitrat (yer altı suyuna) (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )    | 68.00      | 42.16      | 25.84      |
| <b>Toprağa emisyonlar</b>                                   |            |            |            |
| Kadmiyum (Cd)                                               | 0.001821   | 0.001129   | 0.000692   |
| Bakır (Cu)                                                  | - 0.004952 | - 0.003070 | - 0.001882 |
| Kurşun (Pb)                                                 | 0.040657   | 0.025207   | 0.015450   |
| Çinko (Zn)                                                  | 0.001945   | 0.001206   | 0.000739   |
| Nikel (Ni)                                                  | 0.006971   | 0.004322   | 0.002649   |
| Krom (Cr)                                                   | 0.008792   | 0.005451   | 0.003341   |
| <b>Biyokütlede enerji içeriği ve CO<sub>2</sub> bağlama</b> |            |            |            |
| CO <sub>2</sub> bağlama                                     |            | 1.35       | 1.75       |
| Enerji içeriği (MJ/kg)                                      |            | 14.27      | 18.53      |

Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesi sırasında atılan gübreden dolayı suya olan emisyonlar içerisinde en fazla emisyon, birim üretim alanından (ha) salınan 25.84 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> değeri ile ötrofikasyona sebebi olan nitrat tarafından olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.13). Ayrıca, kolayca nitrite dönüştüğü için de nitratın kanserojen bir etkisi de olmaktadır.

Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesi sırasında atılan gübreden ve elde edilen biyokütleden dolayı toprağa olan emisyonlar içerisinde en fazla emisyon, birim üretim alanına (ha) salınan 0.015 kg Pb değeri ile kurşun tarafından olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bakır emisyonu negatif bir değer olarak (- 0.002 kg Cu/ha) hesaplanmıştır ve bundan dolayı bakırın elde edilen biyokütle ürününde daha çok bulunduğu saptanmıştır (Çizelge 4.13).

Ayrıca, biyokütle ürününün atmosfere 1.75 kg/ha, iklim değişikliğinin en önemli emisyonlarından biri olan, CO<sub>2</sub> saldıgı da belirlenmiştir (Çizelge 4.13).

#### 4.3.1.2. Tarım Makinaları Envanteri

**a) Makina Üretim Miktarı:** Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesi sırasında kullanılan tarım makinaları içerisinde en yüksek makina üretim miktarı, pnömatik ekim makinası (1.68 kg/ha) için hesaplanmıştır. Pnömatik ekim makinasını sırasıyla, pulluk (1.18 kg/ha) ve goble diskaro (0.88 kg/ha) takip etmektedir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Makina Üretim Miktarları

| Kültürel İşlem               | Tarım Makinası                | MÜM (kg/ha) |
|------------------------------|-------------------------------|-------------|
| Toprak işleme, pulluk        | Traktör                       | 0.73        |
|                              | Pulluk                        | 1.18        |
| Toprak işleme, goble diskaro | Traktör                       | 0.30        |
|                              | Goble Diskaro                 | 0.88        |
| Toprak işleme, tapan         | Traktör                       | 0.12        |
|                              | Tapan                         | 0.21        |
| Ekim                         | Traktör                       | 0.50        |
|                              | Pnömatik Ekim Makinası        | 1.68        |
| Çapalama ve gübreleme        | Traktör                       | 0.23        |
|                              | Gübreli Ara Çapa Makinası     | 0.36        |
| Hasat                        | Traktör                       | 0.32        |
|                              | Tamburlu Çayır Biçme Makinası | 0.26        |

Toprak işleme sırasında pulluğu çeken traktör için makina üretim miktarı, diğer kültürel işlemlerde kullanılan traktörlerin makina üretim miktarlarına göre en yüksek değer olarak, 0.73 kg/ha hesaplanmıştır. Bunu sırasıyla ekimde kullanılan traktör (0.50 kg/ha) ve hasatta kullanılan traktör (0.32 kg/ha) takip etmektedir. En az makina üretim miktarı, tapanla toprağın düzleştirilmesinde kullanılan traktör (0.12 kg/ha) için belirlenmiştir (Çizelge 4.14).

**b) Yakıt Tüketimi:** Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesi sırasında, uygulanan kültürel işlemlerde kullanılan tarım makinalarının tükettiği yakıt miktarları içerisinde, en yüksek yakıt tüketiminin pullukla toprak işleme sırasında (31.00 kg<sub>yakıt</sub>/ha) gerçekleşmektedir. Pullukla toprak işlemeyi sırasıyla, goble diskaro ile 2. sınıf toprak işleme (14.62 kg<sub>yakıt</sub>/ha) ve ekim (11.17 kg<sub>yakıt</sub>/ha) takip etmektedir.

En az yakıt tüketimi tapanla toprağın düzleştirilmesi (5.88 kg<sub>yakıt</sub>/ha) sırasında gerçekleşmektedir (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15. Yakıt Miktarları

| <b>Kültürel İşlem</b>        | <b>M<sub>yakıt</sub> (kg<sub>yakıt</sub>/ha)</b> |
|------------------------------|--------------------------------------------------|
| Toprak işleme, pulluk        | 31.00                                            |
| Toprak işleme, goble diskaro | 14.62                                            |
| Toprak işleme, tapan         | 5.88                                             |
| Ekim                         | 11.17                                            |
| Çapalama ve gübreleme        | 6.72                                             |
| Hasat                        | 8.40                                             |

**c) Havaya ve Toprağa Olan Emisyonlar:** Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesi sırasında uygulanan kültürel işlemlerde kullanılan traktörün tükettiği yakıtın yanmasından dolayı havaya olan emisyonlar Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Yakıtın Yanmasından Dolayı Havaya Olan Emisyonlar

| <b>AG<br/>(kg/ha)</b>           | <b>Kültürel İşlemler</b>             |                                                 |                                     |             |                                      |              |
|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------|--------------------------------------|--------------|
|                                 | <b>Toprak<br/>işleme,<br/>pulluk</b> | <b>Toprak<br/>işleme,<br/>goble<br/>diskaro</b> | <b>Toprak<br/>işleme,<br/>tapan</b> | <b>Ekim</b> | <b>Çapalama<br/>ve<br/>gübreleme</b> | <b>Hasat</b> |
| NM VOC                          | 0.0500770                            | 0.0134921                                       | 0.0031746                           | 0.0132275   | 0.0119048                            | 0.0167189    |
| NO <sub>x</sub>                 | 0.9437596                            | 0.3087302                                       | 0.0488889                           | 0.1732804   | 0.2006270                            | 0.2591432    |
| CO                              | 0.1906779                            | 0.0611111                                       | 0.0044444                           | 0.0145503   | 0.0236851                            | 0.0264716    |
| CO <sub>2</sub>                 | 96.71                                | 45.60                                           | 18.35                               | 34.86       | 20.97                                | 26.21        |
| SO <sub>2</sub>                 | 0.0313059                            | 0.0147622                                       | 0.0059388                           | 0.0112837   | 0.0067872                            | 0.0084840    |
| CH <sub>4</sub>                 | 0.0039985                            | 0.0018855                                       | 0.0007585                           | 0.0014412   | 0.0008669                            | 0.0010836    |
| C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>   | 0.0002263                            | 0.0001067                                       | 0.0000429                           | 0.0000816   | 0.0000491                            | 0.0000613    |
| PM <sub>2.5</sub>               | 0.1329243                            | 0.0405204                                       | 0.0040520                           | 0.0143313   | 0.0108187                            | 0.0351199    |
| Cd                              | 0.0000003                            | 0.0000001                                       | 0.0000001                           | 0.0000001   | 0.0000001                            | 0.0000001    |
| Cr                              | 0.0000016                            | 0.0000007                                       | 0.0000003                           | 0.0000006   | 0.0000003                            | 0.0000004    |
| Cu                              | 0.0000527                            | 0.0000248                                       | 0.0000100                           | 0.0000190   | 0.0000114                            | 0.0000143    |
| N <sub>2</sub> O                | 0.0037195                            | 0.0017539                                       | 0.0007056                           | 0.0013406   | 0.0008064                            | 0.0010080    |
| Ni                              | 0.0000022                            | 0.0000010                                       | 0.0000004                           | 0.0000008   | 0.0000005                            | 0.0000006    |
| Zn                              | 0.0000310                            | 0.0000146                                       | 0.0000059                           | 0.0000112   | 0.0000067                            | 0.0000084    |
| C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> | 0.0000009                            | 0.0000004                                       | 0.0000002                           | 0.0000003   | 0.0000002                            | 0.0000003    |
| PAH                             | 0.0001020                            | 0.0000481                                       | 0.0000193                           | 0.0000368   | 0.0000221                            | 0.0000276    |
| NH <sub>3</sub>                 | 0.0006199                            | 0.0002923                                       | 0.0001176                           | 0.0002234   | 0.0001344                            | 0.0001680    |
| Se                              | 0.0000003                            | 0.0000001                                       | 0.0000001                           | 0.0000001   | 0.0000001                            | 0.0000001    |

Pullukla toprağın işlenmesi sırasında, kullanılan traktörün yakıtının yanmasından dolayı oluşan bütün hava emisyonlarında birim üretim alanı (ha) başına en yüksek değerler hesaplanmıştır. Pullukla toprak işleme uygulamasını takip eden diğer kültürel uygulamalar için, hava emisyon değerlerinin büyükten küçüğe doğru bir sıralaması yapıldığında, her bir hava emisyonu için aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 4.16):

- NMVOC emisyonu için; hasat, goble diskaro ve ekim.
- NO<sub>x</sub> emisyonu için; goble diskaro, hasat ve çapalama-gübreleme.
- CO emisyonu için; goble diskaro, hasat ve çapalama-gübreleme.
- CO<sub>2</sub> emisyonu için; goble diskaro, ekim ve hasat.
- SO<sub>2</sub> emisyonu için; goble diskaro, ekim ve hasat.
- CH<sub>4</sub> emisyonu için; goble diskaro, ekim ve hasat.
- C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> emisyonu için; goble diskaro, ekim ve hasat.
- PM<sub>2.5</sub> emisyonu için; goble diskaro, hasat ve ekim.
- Cd emisyonu için; hepsi eşittir.
- Cr emisyonu için; goble diskaro, ekim ve hasat.
- Cu emisyonu için; goble diskaro, ekim ve hasat.
- N<sub>2</sub>O emisyonu için; goble diskaro, ekim ve hasat.
- Ni emisyonu için; goble diskaro, ekim ve hasat.
- Zn emisyonu için; goble diskaro, ekim ve hasat.
- C<sub>20</sub>H<sub>12</sub> emisyonu için; goble diskaro, ekim ve hasat eşit.
- PAH emisyonu için; goble diskaro, ekim ve hasat.
- NH<sub>3</sub> emisyonu için; goble diskaro, ekim ve hasat.
- Se emisyonu için; hepsi eşittir.

Bütün hava emisyonları içinde en az hava emisyonları, tapanla toprağın düzleştirilmesi sırasında gerçekleşmektedir.

Tarım makinalarının tekerleklerinin aşınmasından dolayı toprağa olan emisyonlar (Zn, Pb ve Cd) için, en yüksek emisyon değerleri pullukla toprak işleme sırasında gerçekleşmektedir. Pullukla toprak işlemeyi sırasıyla, ekim ve hasat işlemleri takip etmektedir (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17. Tekerleğin Aşınmasından Dolayı Toprağa Olan Emisyonlar

| Kültürel İşlem               | AME (kg/ha) |           |           |
|------------------------------|-------------|-----------|-----------|
|                              | Zn          | Pb        | Cd        |
| Toprak işleme, pulluk        | 0.0013140   | 0.0002135 | 0.0000493 |
| Toprak işleme, goble diskaro | 0.0005414   | 0.0000880 | 0.0000203 |
| Toprak işleme, tapan         | 0.0002166   | 0.0000352 | 0.0000081 |
| Ekim                         | 0.0011501   | 0.0001869 | 0.0000431 |
| Çapalama ve gübreleme        | 0.0004129   | 0.0000671 | 0.0000155 |
| Hasat                        | 0.0005799   | 0.0000942 | 0.0000217 |

**d) Atık Isı:** Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesi sırasında uygulanan kültürel işlemlerde kullanılan traktörlerin tükettiği yakıtın yanmasından dolayı oluşan en fazla atık ısı, pullukla toprak işleme (1333 MJ/ha) sırasında gerçekleşmektedir. Pullukla toprak işlemeyi sırasıyla, goble diskaro ile 2. Sınıf toprak işleme (628 MJ/ha) ve ekim (480 MJ/ha) takip etmektedir. En az atık ısı tapanla toprağın düzleştirilmesi (253 MJ/ha) sırasında ortaya çıkmaktadır (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18. Atık Isı Miktarları

| Kültürel İşlem               | AI (MJ/ha) |
|------------------------------|------------|
| Toprak işleme, pulluk        | 1333       |
| Toprak işleme, goble diskaro | 628        |
| Toprak işleme, tapan         | 253        |
| Ekim                         | 480        |
| Çapalama ve gübreleme        | 289        |
| Hasat                        | 361        |

#### 4.3.2. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesine İlişkin Bulgular

Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin yaşam döngüsü envanter analizi sonucunda elde edilen bulgular (Çizelge 4.19) doğrultusunda CML 2001 modeline göre SimaPro 7 bilgisayar yazılımında yaşam döngüsü etki değerlendirmesi yapıldıktan sonra Çizelge 4.20'deki karakterizasyon ve Çizelge 4.21'deki normalleştirme değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.19. Yaşam Döngüsü Envanter Analizi Sonucunda Elde Edilen Bulgular

|                                                             | Birim            | Tane        | Biyokütle   | Yöntem             |
|-------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-------------|--------------------|
| <b>Doğadan Bilinen Girdiler (Kaynaklar)</b>                 |                  |             |             |                    |
| Havada CO <sub>2</sub>                                      | kg               | 1.35        | 1.75        | Karbon dengesinden |
| Biyokütlede HHV                                             | MJ               | 14.27       | 18.53       | Enerji dengesinden |
| İşlenebilir alanda yapılan iş                               | m <sup>2</sup> a | 1.2419873   | 0.1733261   | Birim alan         |
| İşlenebilir alandan taşıma                                  | m <sup>2</sup>   | 2.9807692   | 0.4159825   | Birim alan         |
| İşlenebilir alana taşıma                                    | m <sup>2</sup>   | 2.9807692   | 0.4159825   | Birim alan         |
| <b>Teknosferden Bilinen Girdiler (Materyaller/Yakıtlar)</b> |                  |             |             |                    |
| Toprak işleme, pulluk                                       | ha               | 0.0002980   | 0.0000416   | Birim alan         |
| Toprak işleme, goble diskaro                                | ha               | 0.0002980   | 0.0000416   | Birim alan         |
| Toprak işleme, tapan                                        | ha               | 0.0002980   | 0.0000416   | Birim alan         |
| Ekim                                                        | ha               | 0.0002980   | 0.0000416   | Birim alan         |
| Çapalama ve gübreleme                                       | ha               | 0.0002980   | 0.0000416   | Birim alan         |
| Hasat                                                       | ha               | 0.0002980   | 0.0000416   | Birim alan         |
| 20-20-0                                                     | kg               | 0.0119231   | 0.0016639   | Gübre girdisi      |
| Amonyum Nitrat (% 33)                                       | kg               | 0.0393462   | 0.0054909   | Gübre girdisi      |
| Sulama                                                      | m <sup>3</sup>   | 0.2026923   | 0.0282868   | Sulama girdisi     |
| <b>Havaya Emisyonlar</b>                                    |                  |             |             |                    |
| Amonyak                                                     | kg               | 0.0012639   | 0.0001763   | Gübrelemeden       |
| Dinitrojen monoksit                                         | kg               | 0.0011476   | 0.0001602   | Gübrelemeden       |
| Nitrojen oksit                                              | kg               | 0.0002414   | 0.0000337   | Gübrelemeden       |
| <b>Suya Emisyonlar</b>                                      |                  |             |             |                    |
| Fosfor (nehre)                                              | kg               | 0.0000574   | 0.0000080   | Gübrelemeden       |
| Nitrat (yeraltı suyuna)                                     | kg               | 0.0202692   | 0.0028287   | Gübrelemeden       |
| <b>Toprağa emisyonlar</b>                                   |                  |             |             |                    |
| Kadmiyum                                                    | kg               | 0.0000005   | 0.0000001   | Gübrelemeden       |
| Bakır                                                       | kg               | - 0.0000014 | - 0.0000002 | Gübrelemeden       |
| Kurşun                                                      | kg               | 0.0000121   | 0.0000017   | Gübrelemeden       |
| Çinko                                                       | kg               | 0.0000006   | 0.0000001   | Gübrelemeden       |
| Nikel                                                       | kg               | 0.0000021   | 0.0000003   | Gübrelemeden       |
| Krom                                                        | kg               | 0.0000026   | 0.0000004   | Gübrelemeden       |

Çizelge 4.20. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi Sonucunda Elde Edilen Karakterizasyon Değerleri (x10<sup>-5</sup>)

| Etki Kategorisi               | Abiyotik Bozunma<br>(kg Sb-ey / kgazparite) | Asitleşme Potansiyeli<br>(kg SO <sub>2</sub> -ey / kgazparite) | Deñiz Canlılarının<br>Zehirlemesi (20 yıl)<br>(kg 1,4DCB-ey / kgazparite) | Fotokimyasal<br>Oksidasyon<br>(kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -ey / kgazparite) | İklim Değişikliği (20 yıl)<br>(kg CO <sub>2</sub> -ey / kgazparite) | İnsan Zehirlemesi<br>(20 yıl)<br>(kg 1,4DCB-ey / kgazparite) | Kara Canlılarının<br>Zehirlemesi (20 yıl)<br>(kg 1,4DCB-ey / kgazparite) | Ötorelasyon Potansiyeli<br>(kg PO <sub>4</sub> -ey / kgazparite) | Stratosferdeki Ozon<br>Azalması (20 yıl)<br>(kg CFCl <sub>3</sub> -ey / kgazparite) | Temiz Su Canlılarının<br>Zehirlemesi (20 yıl)<br>(kg 1,4DCB-ey / kgazparite) |
|-------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Kültürel Uygulamalar</b>   |                                             |                                                                |                                                                           |                                                                                   |                                                                     |                                                              |                                                                          |                                                                  |                                                                                     |                                                                              |
| Toprak işleme, pulluk         | 3.44                                        | 2.90                                                           | 30.36                                                                     | 0.07                                                                              | 547.60                                                              | 361.38                                                       | 0.01                                                                     | 0.69                                                             | 0.00007                                                                             | 33.62                                                                        |
| Toprak işleme, göblet diskaro | 1.66                                        | 1.10                                                           | 16.39                                                                     | 0.03                                                                              | 263.37                                                              | 185.28                                                       | 0.01                                                                     | 0.26                                                             | 0.00003                                                                             | 19.35                                                                        |
| Toprak işleme, tapan          | 0.65                                        | 0.28                                                           | 5.51                                                                      | 0.01                                                                              | 102.90                                                              | 66.33                                                        | 0.002                                                                    | 0.06                                                             | 0.00001                                                                             | 5.96                                                                         |
| Ekim                          | 1.45                                        | 0.79                                                           | 18.31                                                                     | 0.03                                                                              | 224.37                                                              | 163.48                                                       | 0.01                                                                     | 0.21                                                             | 0.00003                                                                             | 24.45                                                                        |
| Çapalama ve gübreleme         | 0.78                                        | 0.63                                                           | 7.91                                                                      | 0.01                                                                              | 122.67                                                              | 86.38                                                        | 0.003                                                                    | 0.15                                                             | 0.00002                                                                             | 9.56                                                                         |
| Hasat                         | 0.95                                        | 0.80                                                           | 8.12                                                                      | 0.02                                                                              | 149.65                                                              | 92.67                                                        | 0.004                                                                    | 0.19                                                             | 0.00002                                                                             | 8.76                                                                         |
| 20-20-0 (DAP)                 | 1.56                                        | 1.64                                                           | 58.02                                                                     | 0.03                                                                              | 226.38                                                              | 86.22                                                        | 0.43                                                                     | 0.58                                                             | 0.00003                                                                             | 60.52                                                                        |
| Amonyum Nitrat (%33)          | 14.71                                       | 13.25                                                          | 363.39                                                                    | 0.14                                                                              | 4573.92                                                             | 1127.70                                                      | 0.26                                                                     | 3.72                                                             | 0.00032                                                                             | 331.69                                                                       |
| Sulama                        | 6.45                                        | 3.28                                                           | 210.57                                                                    | 0.17                                                                              | 806.84                                                              | 711.50                                                       | 0.08                                                                     | 1.72                                                             | 0.00004                                                                             | 355.44                                                                       |
| <b>Çıkın</b>                  |                                             |                                                                |                                                                           |                                                                                   |                                                                     |                                                              |                                                                          |                                                                  |                                                                                     |                                                                              |
| Tatlı sığmum biyokütlesi      | 0.00                                        | 29.89                                                          | 0.12                                                                      | 0.00                                                                              | 4405.50                                                             | 14.03                                                        | 0.45                                                                     | 37.34                                                            | 0.00                                                                                | 0.46                                                                         |
| <b>TOPLAM</b>                 | 31.63                                       | 54.56                                                          | 718.71                                                                    | 0.50                                                                              | 11423.21                                                            | 2894.97                                                      | 1.26                                                                     | 44.93                                                            | 0.00056                                                                             | 850.01                                                                       |

Çizelge 4.21. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi Sonucunda Elde Edilen Normalleştirme Değerleri ( $\times 10^{-17}$ )

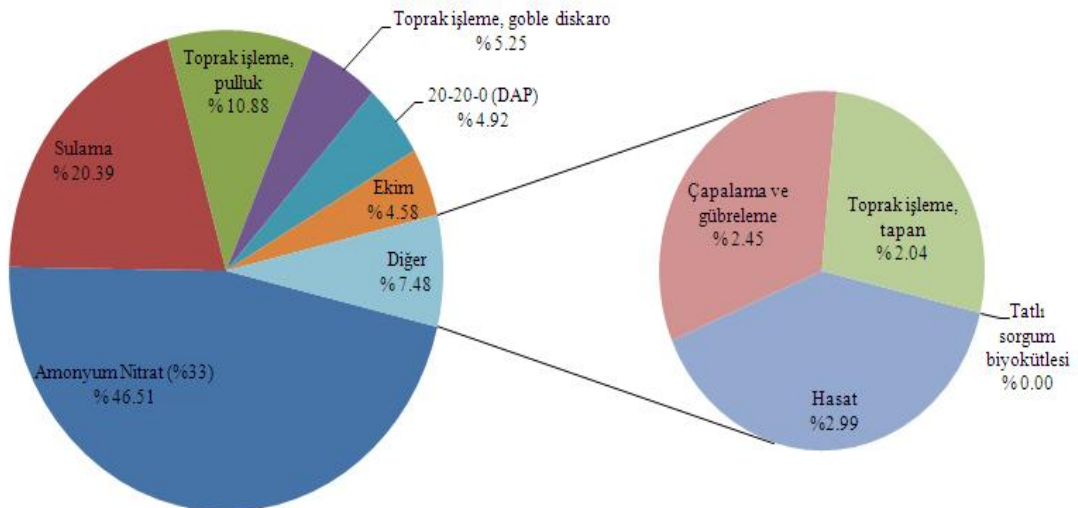
| Etki Kategorisi              | Abiyotik Bozunma | Asitleşme Potansiyeli | Deniz Canlılarının Zehirlenmesi (20 yıl) | Fotokimyasal Oksidasyon | İklim Değişikliği (20 yıl) | İnsan Zehirlenmesi (20 yıl) | Kara Canlılarının Zehirlenmesi (20 yıl) | Ötrofikasyon Potansiyeli | Stratosferdeki Ozon Azalması (20 yıl) | Temiz Su Canlılarının Zehirlenmesi (20 yıl) |
|------------------------------|------------------|-----------------------|------------------------------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>Kültürel Uygulamalar</b>  |                  |                       |                                          |                         |                            |                             |                                         |                          |                                       |                                             |
| Toprak işleme, pulbuk        | 21.98            | 9.01                  | 62.84                                    | 0.82                    | 10.13                      | 6.36                        | 0.10                                    | 5.22                     | 0.11                                  | 18.79                                       |
| Toprak işleme, globe diskaro | 10.61            | 3.42                  | 33.94                                    | 0.36                    | 4.87                       | 3.26                        | 0.05                                    | 1.97                     | 0.05                                  | 10.93                                       |
| Toprak işleme, tapan         | 4.13             | 0.86                  | 11.41                                    | 0.09                    | 1.90                       | 1.17                        | 0.02                                    | 0.45                     | 0.02                                  | 3.33                                        |
| Ekim                         | 9.25             | 2.46                  | 37.89                                    | 0.31                    | 4.15                       | 2.88                        | 0.06                                    | 1.56                     | 0.04                                  | 13.67                                       |
| Çapalama ve gübreleme        | 4.96             | 1.97                  | 16.38                                    | 0.16                    | 2.27                       | 1.52                        | 0.03                                    | 1.17                     | 0.03                                  | 5.34                                        |
| Hasat                        | 6.04             | 2.48                  | 16.82                                    | 0.18                    | 2.77                       | 1.63                        | 0.03                                    | 1.45                     | 0.03                                  | 4.89                                        |
| 20-20-0 (DAP)                | 9.94             | 5.10                  | 120.11                                   | 0.29                    | 4.19                       | 1.52                        | 3.22                                    | 4.37                     | 0.04                                  | 33.83                                       |
| Amonyum Nitrat (%33)         | 94.00            | 41.21                 | 752.21                                   | 1.67                    | 84.62                      | 19.85                       | 1.92                                    | 28.13                    | 0.52                                  | 185.41                                      |
| Sulama                       | 41.22            | 10.21                 | 435.88                                   | 1.92                    | 14.93                      | 12.52                       | 0.59                                    | 13.01                    | 0.07                                  | 198.69                                      |
| <b>Okla</b>                  |                  |                       |                                          |                         |                            |                             |                                         |                          |                                       |                                             |
| Tatlı sığmı bıyokütlesi      | 0.00             | 92.97                 | 2.56                                     | 0.00                    | 81.50                      | 0.24                        | 3.30                                    | 282.32                   | 0.00                                  | 0.26                                        |
| <b>TOPLAM</b>                |                  |                       |                                          |                         |                            |                             |                                         |                          |                                       |                                             |
|                              | 202.13           | 169.69                | 1487.74                                  | 5.79                    | 211.33                     | 50.95                       | 9.31                                    | 339.66                   | 0.93                                  | 473.15                                      |

#### 4.3.2.1. Karakterizasyon Değerlerine İlişkin Bulgular

**a) Abiyotik Bozunma:** Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin abiyotik bozunma etkisi, 0.0003163 kg Sb-eş/kg<sub>biyokütle</sub> (2.89 kg Sb-eş/ha) olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.22). Sutter ve Jungbluth (2007), tatlı sorgum yetiştirilmesinin abiyotik bozunma etkisini 0.0001188 kg Sb-eş/kg (5.74 kg Sb-eş/ha) olarak hesaplamışlardır.

Çizelge 4.22. Biyokütle Üretimi Amacıyla Tatlı Sorgum Yetiştirilmesinin Abiyotik Bozunma Etkisi

| Uygulamalar                  | kg Sb-eş/kg <sub>biyokütle</sub> | kg Sb-eş/ha | %             |
|------------------------------|----------------------------------|-------------|---------------|
| Toprak işleme, pulluk        | 0.0000344                        | 0.31        | 10.88         |
| Toprak işleme, goble diskaro | 0.0000166                        | 0.15        | 5.25          |
| Toprak işleme, tapan         | 0.0000065                        | 0.06        | 2.04          |
| Ekim                         | 0.0000145                        | 0.13        | 4.58          |
| Çapalama ve gübreleme        | 0.0000078                        | 0.07        | 2.45          |
| Hasat                        | 0.0000095                        | 0.09        | 2.99          |
| 20-20-0 (DAP)                | 0.0000156                        | 0.14        | 4.92          |
| Amonyum Nitrat (%33)         | 0.0001471                        | 1.34        | 46.51         |
| Sulama                       | 0.0000645                        | 0.59        | 20.39         |
| Tatlı sorgum biyokütlesi     | 0.0000000                        | 0.00        | 0.00          |
| <b>TOPLAM</b>                | <b>0.0003163</b>                 | <b>2.89</b> | <b>100.00</b> |



Şekil 4.9. Abiyotik bozunma etkisinin yüzdelik dağılımı

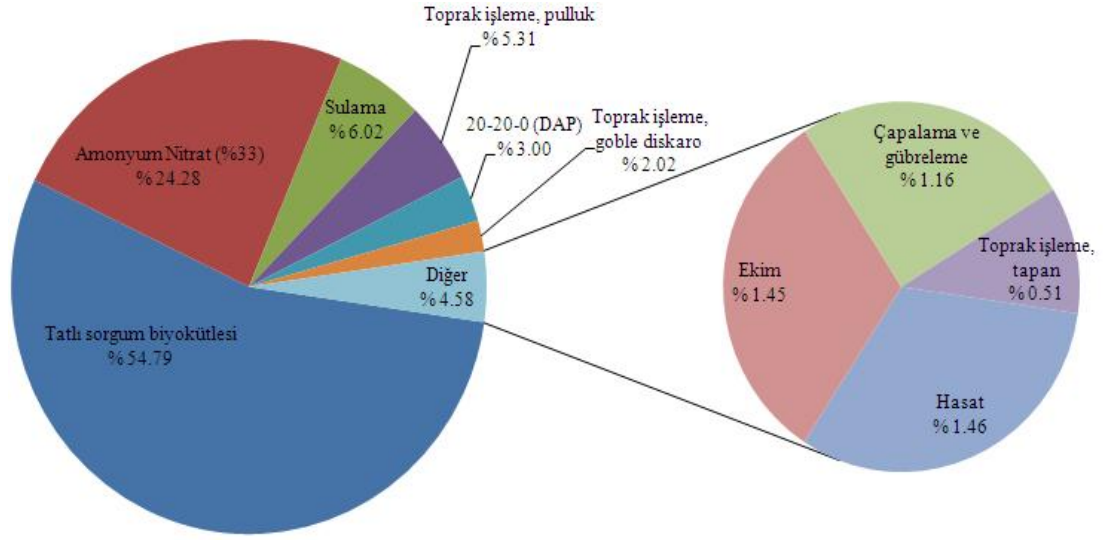
Şekil 4.9 incelendiğinde, abiyotik bozunma etkisi en fazla olan uygulama, % 46.51’lik bir oranla % 33’lük amonyum nitrat gübre uygulaması olduğu görülmektedir. % 33’lük amonyum nitrat gübre uygulamasını, sırasıyla, sulama uygulaması (% 20.39) ve pullukla toprak işleme uygulaması (% 10.88) takip etmektedir. Tatlı sorgum biyokütlesinin abiyotik bozunmaya hiçbir etkisi olmamaktadır.

**b) Asitleşme Potansiyeli:** Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin asitleşme potansiyeli etkisi, 0.0005456 kg SO<sub>2</sub>-eş/kg<sub>biyokütle</sub> (4.98 kg SO<sub>2</sub>-eş/ha) olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.23). Sutter ve Jungbluth (2007), tatlı sorgum yetiştirilmesinin asitleşme potansiyeli etkisini 0.0002426 kg SO<sub>2</sub>-eş/kg (11.71 kg SO<sub>2</sub>-eş/ha) olarak hesaplamışlardır.

Çizelge 4.23. Biyokütle Üretimi Amacıyla Tatlı Sorgum Yetiştirilmesinin Asitleşme Potansiyeli Etkisi

| Uygulamalar                  | kg SO <sub>2</sub> -eş/kg <sub>biyokütle</sub> | kg SO <sub>2</sub> -eş/ha | %             |
|------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------|---------------|
| Toprak işleme, pulluk        | 0.0000290                                      | 0.26                      | 5.31          |
| Toprak işleme, goble diskaro | 0.0000110                                      | 0.10                      | 2.02          |
| Toprak işleme, tapan         | 0.0000028                                      | 0.03                      | 0.51          |
| Ekim                         | 0.0000079                                      | 0.07                      | 1.45          |
| Çapalama ve gübreleme        | 0.0000063                                      | 0.06                      | 1.16          |
| Hasat                        | 0.0000080                                      | 0.07                      | 1.46          |
| 20-20-0 (DAP)                | 0.0000164                                      | 0.15                      | 3.00          |
| Amonyum Nitrat (%33)         | 0.0001325                                      | 1.21                      | 24.28         |
| Sulama                       | 0.0000328                                      | 0.30                      | 6.02          |
| Tatlı sorgum biyokütlesi     | 0.0002989                                      | 2.73                      | 54.79         |
| <b>TOPLAM</b>                | <b>0.0005456</b>                               | <b>4.98</b>               | <b>100.00</b> |

Asitleşme potansiyeline % 54.79’luk bir oranla tatlı sorgum biyokütlesi en fazla sebep olmaktadır. Tatlı sorgum biyokütlesinin asitleşme potansiyeli etkisini, sırasıyla, % 33’lük amonyum nitrat gübre uygulaması (% 24.28) ve sulama uygulaması (% 6.02) takip etmektedir. Asitleşme potansiyeli etkisi en az olan uygulama, tapanla toprak işleme uygulamasıdır (% 0.51) (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Asitleşme potansiyeli etkisinin yüzdelik dağılımı

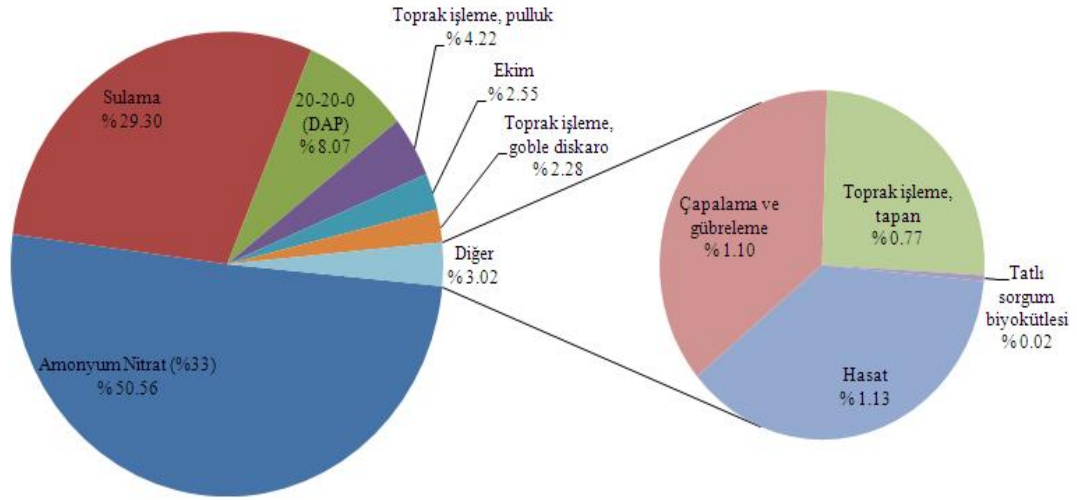
**c) Deniz Canlılarının Zehirlenmesi (20 Yıl):** Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin deniz canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisi, 0.0071871 kg 1.4-DCB-eş/kg<sub>biyokütle</sub> (65.65 kg 1.4-DCB-eş/ha) olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.24). Sutter ve Jungbluth (2007), tatlı sorgum yetiştirilmesinin deniz canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisini 0.0035266 kg 1.4-DCB-eş/kg (170.21 kg 1.4-DCB-eş /ha) olarak hesaplamışlardır.

Çizelge 4.24. Biyokütle Üretimi Amacıyla Tatlı Sorgum Yetiştirilmesinin Deniz Canlılarının Zehirlenmesi (20 Yıl) Etkisi

| Uygulamalar                  | kg 1.4-DCB-eş/kg <sub>biyokütle</sub> | kg 1.4-DCB-eş/ha | %             |
|------------------------------|---------------------------------------|------------------|---------------|
| Toprak işleme, pulluk        | 0.0003036                             | 2.77             | 4.22          |
| Toprak işleme, goble diskaro | 0.0001639                             | 1.50             | 2.28          |
| Toprak işleme, tapan         | 0.0000551                             | 0.50             | 0.77          |
| Ekim                         | 0.0001831                             | 1.67             | 2.55          |
| Çapalama ve gübreleme        | 0.0000791                             | 0.72             | 1.10          |
| Hasat                        | 0.0000812                             | 0.74             | 1.13          |
| 20-20-0 (DAP)                | 0.0005802                             | 5.30             | 8.07          |
| Amonyum Nitrat (%33)         | 0.0036339                             | 33.20            | 50.56         |
| Sulama                       | 0.0021057                             | 19.24            | 29.30         |
| Tatlı sorgum biyokütlesi     | 0.0000012                             | 0.01             | 0.02          |
| <b>TOPLAM</b>                | <b>0.0071871</b>                      | <b>65.65</b>     | <b>100.00</b> |

Deniz canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisi en fazla olan uygulama, % 50.56'lık bir oranla % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulamasıdır. % 33'lük

amonyum nitrat gübre uygulamasını, sırasıyla, sulama uygulaması (% 29.30) ve 20-20-0 (DAP) gübre uygulaması (% 8.07) takip etmektedir. En az etkiye tatlı sorgum biyokütlesi (% 0.02) neden olmaktadır (Şekil 4.11).



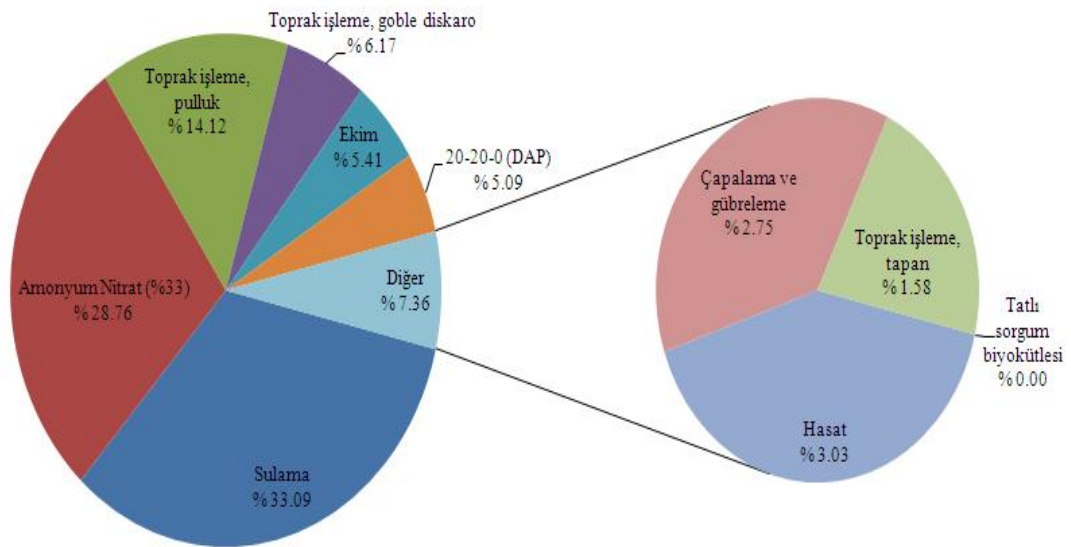
Şekil 4.11. Deniz canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisinin yüzdelik dağılımı

**d) Fotokimyasal Oksidasyon:** Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin fotokimyasal oksidasyon etkisi, 0.00000503 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-eş/kg<sub>biyokütle</sub> (0.046 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-eş/ha) olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.25). Sutter ve Jungbluth (2007), tatlı sorgum yetiştirilmesinin fotokimyasal oksidasyon etkisini 0.00000261 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-eş/kg (0.13 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-eş/ha) olarak hesaplamışlardır.

Çizelge 4.25. Biyokütle Üretimi Amacıyla Tatlı Sorgum Yetiştirilmesinin Fotokimyasal Oksidasyon Etkisi

| Uygulamalar                  | kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eş/kg <sub>biyokütle</sub> | kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eş/ha | %             |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------|
| Toprak işleme, pulluk        | 0.00000071                                                   | 0.006                                   | 14.12         |
| Toprak işleme, goble diskaro | 0.00000031                                                   | 0.003                                   | 6.17          |
| Toprak işleme, tapan         | 0.00000008                                                   | 0.001                                   | 1.58          |
| Ekim                         | 0.00000027                                                   | 0.002                                   | 5.41          |
| Çapalama ve gübreleme        | 0.00000014                                                   | 0.001                                   | 2.75          |
| Hasat                        | 0.00000015                                                   | 0.001                                   | 3.03          |
| 20-20-0 (DAP)                | 0.00000026                                                   | 0.002                                   | 5.09          |
| Amonyum Nitrat (%33)         | 0.00000145                                                   | 0.013                                   | 28.76         |
| Sulama                       | 0.00000167                                                   | 0.015                                   | 33.09         |
| Tatlı sorgum biyokütlesi     | 0.00000000                                                   | 0.000                                   | 0.00          |
| <b>TOPLAM</b>                | <b>0.00000503</b>                                            | <b>0.046</b>                            | <b>100.00</b> |

Fotokimyasal oksidasyon etkisi en fazla olan uygulama, % 33.09'luk bir oranla sulama uygulamasıdır. Sulama uygulamasını, sırasıyla, % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulaması (% 28.76) ve pullukla toprak işleme uygulaması (% 14.22) takip etmektedir. Tatlı sorgum biyokütlesinin fotokimyasal oksidasyona hiçbir etkisi olmamaktadır (Şekil 4.12).



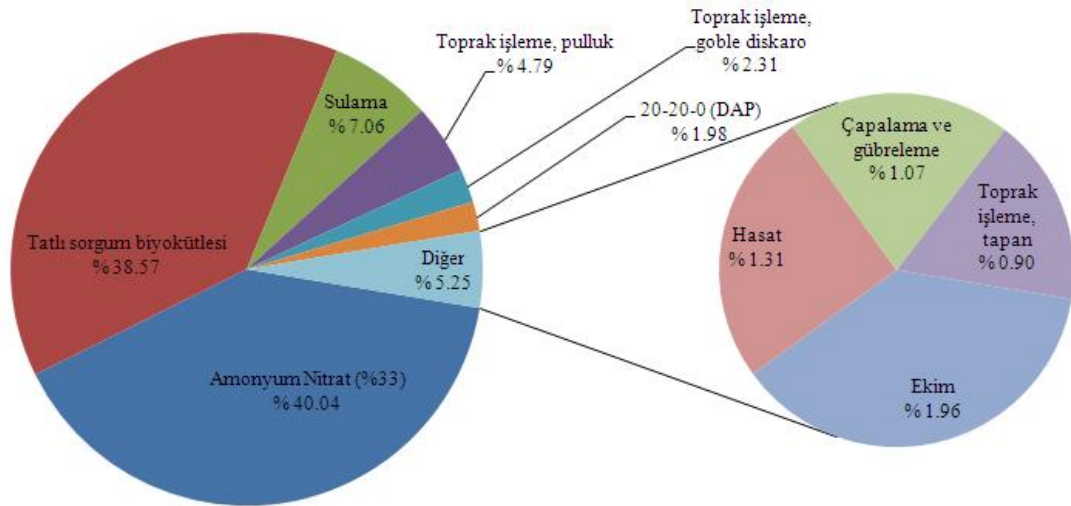
Şekil 4.12. Fotokimyasal oksidasyon etkisinin yüzdelik dağılımı

**e) İklim Değişikliği (20 Yıl):** Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin iklim değişikliği (20 yıl) etkisi, 0.1142321 kg CO<sub>2</sub>-eş/kg<sub>biyokütle</sub> (1043.51 kg CO<sub>2</sub>-eş/ha) olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.26). Sutter ve Jungbluth (2007), tatlı sorgum yetiştirilmesinin iklim değişikliği (20 yıl) etkisini 0.03120701 kg CO<sub>2</sub>-eş/kg (1506.14 kg CO<sub>2</sub>-eş/ha) olarak hesaplamışlardır. Ayrıca, Hanegraaf ve arkadaşları (1998), yaptıkları bir çalışmada tatlı sorgum için iklim değişikliği etkisini 3800 kg CO<sub>2</sub>-eş/ha olarak saptamışlardır.

İklim değişikliği (20 yıl) etkisi en fazla olan uygulama, % 40.04'lük bir oranla % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulamasıdır. % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulamasını, sırasıyla, tatlı sorgum biyokütlesi (% 38.57) ve sulama uygulaması (% 7.06) takip etmektedir. İklim değişikliğine (20 yıl) en az etki eden uygulama, tapanla toprak işleme uygulaması (% 0.90) olmaktadır (Şekil 4.13).

Çizelge 4.26. Biyokütle Üretimi Amacıyla Tatlı Sorgum Yetiştirilmesinin İklim Değişikliği (20 Yıl) Etkisi

| Uygulamalar                  | kg CO <sub>2</sub> -eş/kg <sub>biyokütle</sub> | kg CO <sub>2</sub> -eş/ha | %             |
|------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------|---------------|
| Toprak işleme, pulluk        | 0.0054760                                      | 50.02                     | 4.79          |
| Toprak işleme, goble diskaro | 0.0026337                                      | 24.06                     | 2.31          |
| Toprak işleme, tapan         | 0.0010290                                      | 9.40                      | 0.90          |
| Ekim                         | 0.0022437                                      | 20.50                     | 1.96          |
| Çapalama ve gübreleme        | 0.0012267                                      | 11.21                     | 1.07          |
| Hasat                        | 0.0014965                                      | 13.67                     | 1.31          |
| 20-20-0 (DAP)                | 0.0022638                                      | 20.68                     | 1.98          |
| Amonyum Nitrat (%33)         | 0.0457392                                      | 417.83                    | 40.04         |
| Sulama                       | 0.0080684                                      | 73.71                     | 7.06          |
| Tatlı sorgum biyokütlesi     | 0.0440550                                      | 402.44                    | 38.57         |
| <b>TOPLAM</b>                | <b>0.1142321</b>                               | <b>1043.51</b>            | <b>100.00</b> |



Şekil 4.13. İklim değişikliği (20 yıl) etkisinin yüzdelik dağılımı

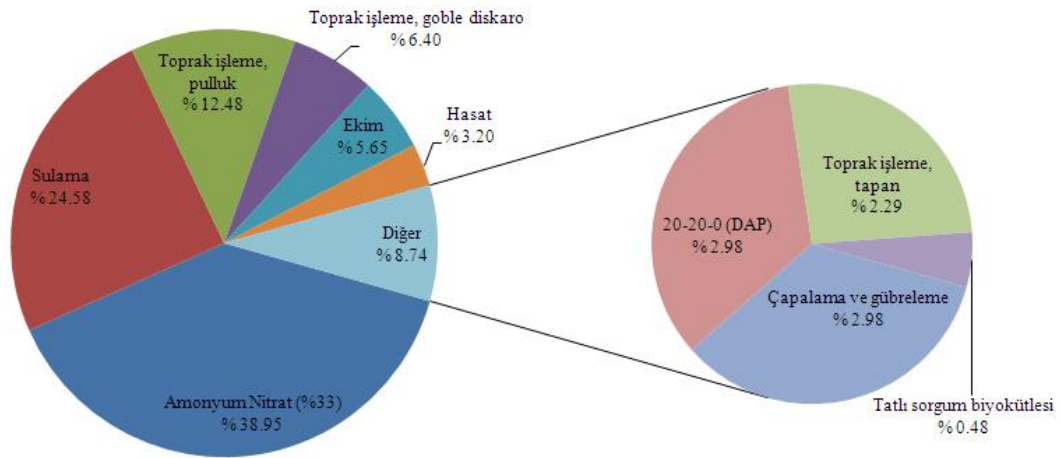
**f) İnsan Zehirlenmesi (20 Yıl):** Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin insan zehirlenmesi (20 yıl) etkisi, 0.0289497 kg 1.4-DCB-eş/kg<sub>biyokütle</sub> (264.46 kg 1.4-DCB-eş/ha) olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.27). Sutter ve Jungbluth (2007), tatlı sorgum yetiştirilmesinin insan zehirlenmesi (20 yıl) etkisini 0.0120729 kg 1.4-DCB-eş/kg (582.67 kg 1.4-DCB-eş/ha) olarak hesaplamışlardır.

İnsan zehirlenmesi (20 yıl) etkisi en fazla olan uygulama, % 38.95'lik bir oranla % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulamasıdır. % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulamasını, sırasıyla, sulama uygulaması (% 24.58) ve pullukla toprak

işleme uygulaması (% 12.48) takip etmektedir. En az etkiye tatlı sorgum biyokütlesi (% 0.48) neden olmaktadır (Şekil 4.14).

Çizelge 4.27. Biyokütle Üretimi Amacıyla Tatlı Sorgum Yetiştirilmesinin İnsan Zehirlenmesi (20 Yıl) Etkisi

| Uygulamalar                  | kg 1.4-DCB-eş/kg <sub>biyokütle</sub> | kg 1.4-DCB-eş/ha | %             |
|------------------------------|---------------------------------------|------------------|---------------|
| Toprak işleme, pulluk        | 0.0036138                             | 33.01            | 12.48         |
| Toprak işleme, goble diskaro | 0.0018528                             | 16.93            | 6.40          |
| Toprak işleme, tapan         | 0.0006633                             | 6.06             | 2.29          |
| Ekim                         | 0.0016348                             | 14.93            | 5.65          |
| Çapalama ve gübreleme        | 0.0008638                             | 7.89             | 2.98          |
| Hasat                        | 0.0009267                             | 8.47             | 3.20          |
| 20-20-0 (DAP)                | 0.0008622                             | 7.88             | 2.98          |
| Amonyum Nitrat (%33)         | 0.0112770                             | 103.02           | 38.95         |
| Sulama                       | 0.0071150                             | 65.00            | 24.58         |
| Tatlı sorgum biyokütlesi     | 0.0001403                             | 1.28             | 0.48          |
| <b>TOPLAM</b>                | <b>0.0289497</b>                      | <b>264.46</b>    | <b>100.00</b> |



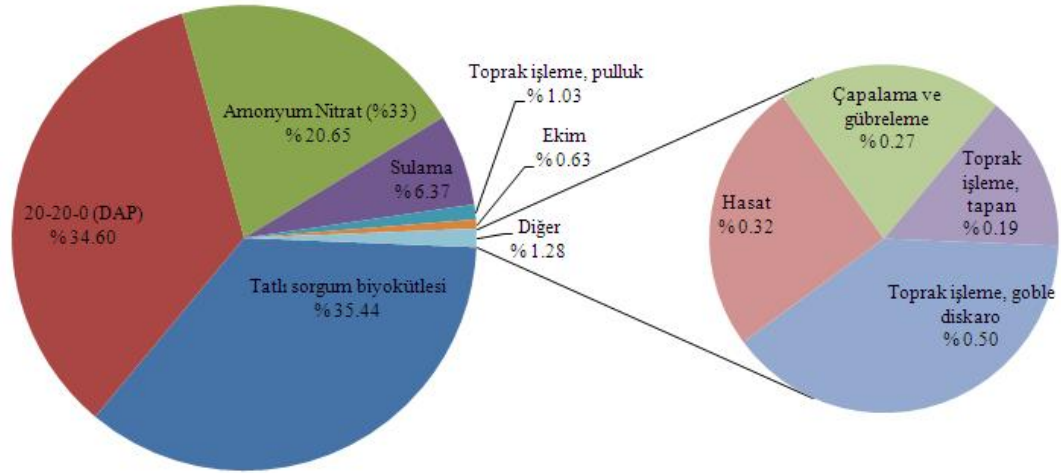
Şekil 4.14. İnsan zehirlenmesi (20 yıl) etkisinin yüzdelik dağılımı

**g) Kara Canlılarının Zehirlenmesi (20 Yıl):** Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin kara canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisi, 0.00001257 kg 1.4-DCB-eş/kg<sub>biyokütle</sub> (0.1148 kg 1.4-DCB-eş/ha) olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.28). Sutter ve Jungbluth (2007), tatlı sorgum yetiştirilmesinin kara canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisini 0.00007133 kg 1.4-DCB-eş/kg (3.44 kg 1.4-DCB-eş/ha) olarak hesaplamışlardır.

Çizelge 4.28. Biyokütle Üretimi Amacıyla Tatlı Sorgum Yetiştirilmesinin Kara Canlılarının Zehirlenmesi (20 Yıl) Etkisi

| Uygulamalar                  | kg 1.4-DCB-eş/kg <sub>biyokütle</sub> | kg 1.4-DCB-eş/ha | %            |
|------------------------------|---------------------------------------|------------------|--------------|
| Toprak işleme, pulluk        | 0.00000013                            | 0.0012           | 1.03         |
| Toprak işleme, goble diskaro | 0.00000006                            | 0.0006           | 0.50         |
| Toprak işleme, tapan         | 0.00000002                            | 0.0002           | 0.19         |
| Ekim                         | 0.00000008                            | 0.0007           | 0.63         |
| Çapalama ve gübreleme        | 0.00000003                            | 0.0003           | 0.27         |
| Hasat                        | 0.00000004                            | 0.0004           | 0.32         |
| 20-20-0 (DAP)                | 0.00000435                            | 0.0397           | 34.60        |
| Amonyum Nitrat (%33)         | 0.00000260                            | 0.0237           | 20.65        |
| Sulama                       | 0.00000080                            | 0.0073           | 6.37         |
| Tatlı sorgum biyokütlesi     | 0.00000445                            | 0.0407           | 35.44        |
| <b>TOPLAM</b>                | <b>0.00001257</b>                     | <b>0.1148</b>    | <b>100.0</b> |

Kara canlılarının zehirlenmesine (20 yıl), % 35.44'lük bir oranla tatlı sorgum biyokütlesi en fazla sebep olmaktadır. Tatlı sorgum biyokütlesini, sırasıyla, 20-20-0 (DAP) gübre uygulaması (% 34.60) ve % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulaması (% 20.65) takip etmektedir. Kara canlılarının zehirlenmesine (20 yıl) en az etki eden uygulama, tapanla toprak işleme uygulaması (% 0.19) olmaktadır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Kara canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisinin yüzdelik dağılımı

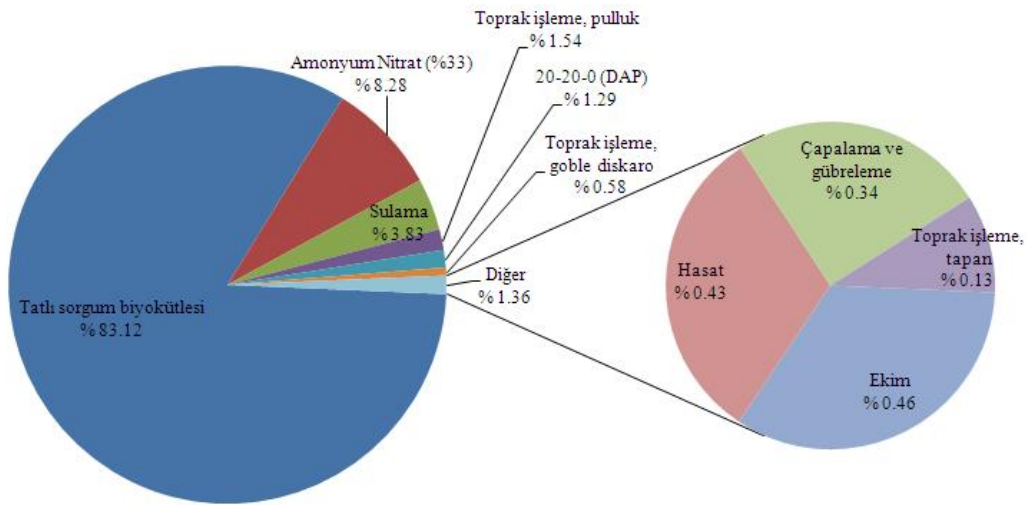
**h) Ötrofikasyon Potansiyeli:** Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin ötrofikasyon potansiyeli etkisi, 0.0004493 kg PO<sub>4</sub>-eş/kg<sub>biyokütle</sub> (4.10 kg PO<sub>4</sub>-eş/ha) olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.29). Sutter ve Jungbluth (2007),

tatlı sorgum yetiştirilmesinin ötrofikasyon potansiyeli etkisini 0.0002601 kg PO<sub>4</sub>-eş/kg (12.56 kg PO<sub>4</sub>-eş/ha) olarak hesaplamışlardır.

Çizelge 4.29. Biyokütle Üretimi Amacıyla Tatlı Sorgum Yetiştirilmesinin Ötrofikasyon Potansiyeli Etkisi

| Uygulamalar                  | kg PO <sub>4</sub> -eş/kg <sub>biyokütle</sub> | kg PO <sub>4</sub> -eş/ha | %             |
|------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------|---------------|
| Toprak işleme, pulluk        | 0.0000069                                      | 0.06                      | 1.54          |
| Toprak işleme, goble diskaro | 0.0000026                                      | 0.02                      | 0.58          |
| Toprak işleme, tapan         | 0.0000006                                      | 0.01                      | 0.13          |
| Ekim                         | 0.0000021                                      | 0.02                      | 0.46          |
| Çapalama ve gübreleme        | 0.0000015                                      | 0.01                      | 0.34          |
| Hasat                        | 0.0000019                                      | 0.02                      | 0.43          |
| 20-20-0 (DAP)                | 0.0000058                                      | 0.05                      | 1.29          |
| Amonyum Nitrat (%33)         | 0.0000372                                      | 0.34                      | 8.28          |
| Sulama                       | 0.0000172                                      | 0.16                      | 3.83          |
| Tatlı sorgum biyokütlesi     | 0.0003734                                      | 3.41                      | 83.12         |
| <b>TOPLAM</b>                | <b>0.0004493</b>                               | <b>4.10</b>               | <b>100.00</b> |

Ötrofikasyon potansiyeli, % 83.12'lik bir oranla tatlı sorgum biyokütlesi en fazla sebep olmaktadır. Tatlı sorgum biyokütlesini, sırasıyla, % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulaması (% 8.28) ve sulama uygulaması (% 3.83) takip etmektedir. Ötrofikasyon potansiyeline en az etki eden uygulama, tapanla toprak işleme uygulaması (% 0.13) olmaktadır (Şekil 4.16).

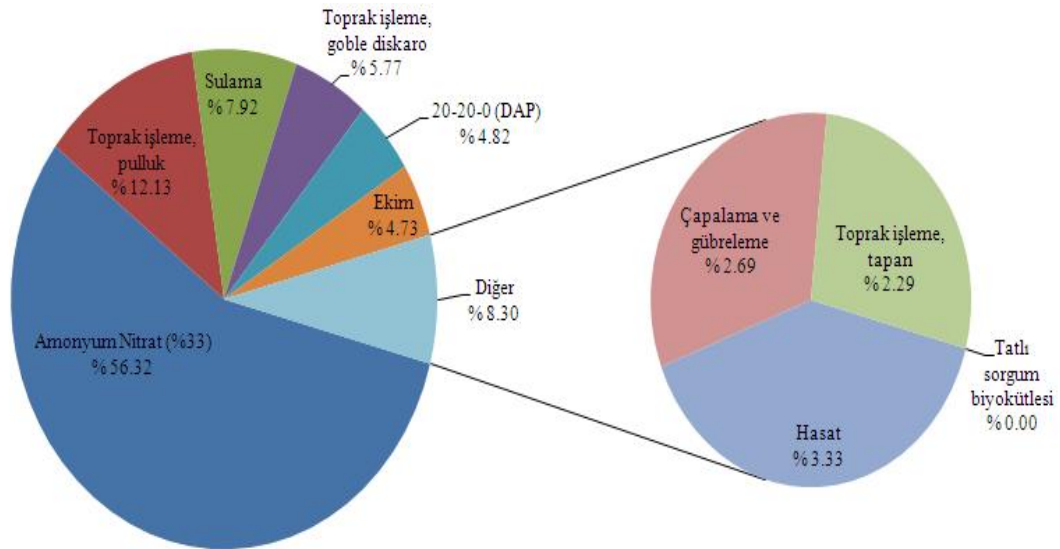


Şekil 4.16. Ötrofikasyon potansiyeli etkisinin yüzdelik dağılımı

**i) Stratosferdeki Ozon Azalması (20 Yıl):** Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin stratosferdeki ozon azalması (20 yıl) etkisi, 0.00000000561 kg CFC11-eş/kg<sub>biyokütle</sub> (0.000051 kg CFC11-eş/ha) olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.30). Sutter ve Jungbluth (2007), tatlı sorgum yetiştirilmesinin stratosferdeki ozon azalması (20yıl) etkisini 0.00000000211 kg CFC11-eş/kg (0.000102 kg CFC11-eş/ha) olarak hesaplamışlardır.

Çizelge 4.30. Biyokütle Üretimi Amacıyla Tatlı Sorgum Yetiştirilmesinin Stratosferdeki Ozon Azalması (20 Yıl) Etkisi

| Uygulamalar                  | kg CFC11-eş/kg <sub>biyokütle</sub> | kg CFC11-eş/ha  | %             |
|------------------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------|
| Toprak işleme, pulluk        | 0.00000000068                       | 0.000006        | 12.13         |
| Toprak işleme, goble diskaro | 0.00000000032                       | 0.000003        | 5.77          |
| Toprak işleme, tapan         | 0.00000000013                       | 0.000001        | 2.29          |
| Ekim                         | 0.00000000027                       | 0.000002        | 4.73          |
| Çapalama ve gübreleme        | 0.00000000015                       | 0.000001        | 2.69          |
| Hasat                        | 0.00000000019                       | 0.000002        | 3.33          |
| 20-20-0 (DAP)                | 0.00000000027                       | 0.000002        | 4.82          |
| Amonyum Nitrat (%33)         | 0.00000000316                       | 0.000029        | 56.32         |
| Sulama                       | 0.00000000044                       | 0.000004        | 7.92          |
| Tatlı sorgum biyokütlesi     | 0.00000000000                       | 0.000000        | 0.00          |
| <b>TOPLAM</b>                | <b>0.00000000561</b>                | <b>0.000051</b> | <b>100.00</b> |



Şekil 4.17. Stratosferdeki ozon azalması (20 yıl) etkisinin yüzdelik dağılımı

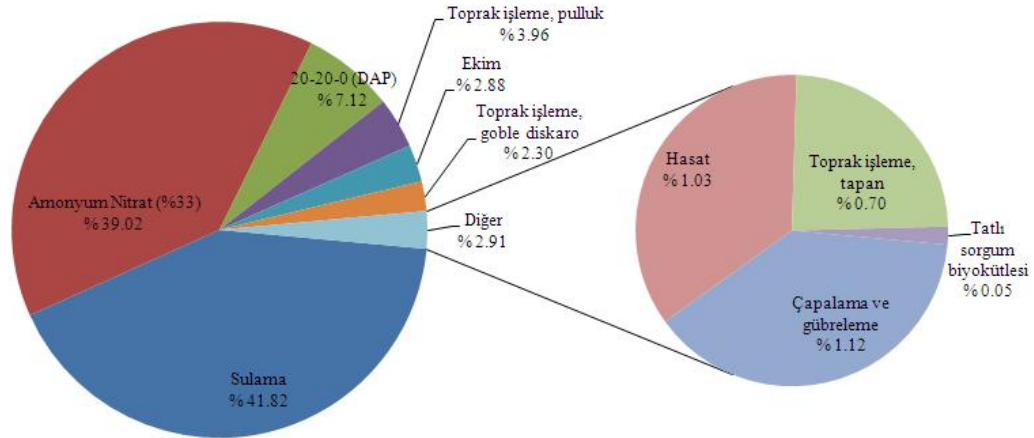
Şekil 4.17 incelendiğinde stratosferdeki ozon azalması (20 yıl) etkisi en fazla olan uygulamanın, % 56.32’lik bir oranla % 33’lük amonyum nitrat gübre uygulaması olduğu görülmektedir. % 33’lük amonyum nitrat gübre uygulamasını, sırasıyla, pullukla toprak işleme uygulaması (% 12.33) ve sulama uygulaması (% 7.92) takip etmektedir. Tatlı sorgum biyokütlesinin stratosferdeki ozon azalmasına (20 yıl) hiçbir etkisi olmamaktadır.

**j) Temiz Su Canlılarının Zehirlenmesi (20 Yıl):** Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin temiz su canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisi, 0.0085001 kg 1.4-DCB-eş/kg<sub>biyokütle</sub> (77.65 kg 1.4-DCB-eş/ha) olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.31). Sutter ve Jungbluth (2007), tatlı sorgum yetiştirilmesinin temiz su canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisini 0.0155878 kg 1.4-DCB-eş/kg (752.31 kg 1.4-DCB-eş/ha) olarak hesaplamışlardır.

Çizelge 4.31. Biyokütle Üretimi Amacıyla Tatlı Sorgum Yetiştirilmesinin Temiz Su Canlılarının Zehirlenmesi (20 Yıl) Etkisi

| Uygulamalar                  | kg 1.4-DCB-eş/kg <sub>biyokütle</sub> | kg 1.4-DCB-eş/ha | %             |
|------------------------------|---------------------------------------|------------------|---------------|
| Toprak işleme, pulluk        | 0.0003362                             | 3.07             | 3.96          |
| Toprak işleme, goble diskaro | 0.0001955                             | 1.79             | 2.30          |
| Toprak işleme, tapan         | 0.0000596                             | 0.54             | 0.70          |
| Ekim                         | 0.0002445                             | 2.23             | 2.88          |
| Çapalama ve gübreleme        | 0.0000956                             | 0.87             | 1.12          |
| Hasat                        | 0.0000876                             | 0.80             | 1.03          |
| 20-20-0 (DAP)                | 0.0006052                             | 5.53             | 7.12          |
| Amonyum Nitrat (%33)         | 0.0033169                             | 30.30            | 39.02         |
| Sulama                       | 0.0035544                             | 32.47            | 41.82         |
| Tatlı sorgum biyokütlesi     | 0.0000046                             | 0.04             | 0.05          |
| <b>TOPLAM</b>                | <b>0.0085001</b>                      | <b>77.65</b>     | <b>100.00</b> |

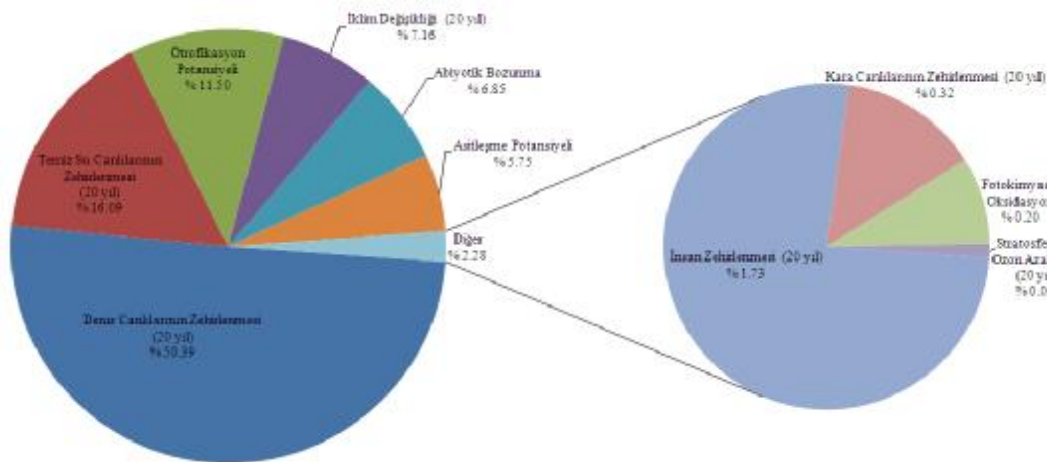
Temiz su canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisi en fazla olan uygulama, % 41.82’lik bir oranla sulama uygulamasıdır. Sulama uygulamasını, sırasıyla, % 33’lük amonyum nitrat gübre uygulaması (% 39.02) ve 20-20-0 (DAP) gübre uygulaması (% 7.12) takip etmektedir. En az etkiye tatlı sorgum biyokütlesi (% 0.05) neden olmaktadır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Temiz su canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisinin yüzdelik dağılımı

#### 4.3.2.2. Normalleştirme Değerlerine İlişkin Bulgular

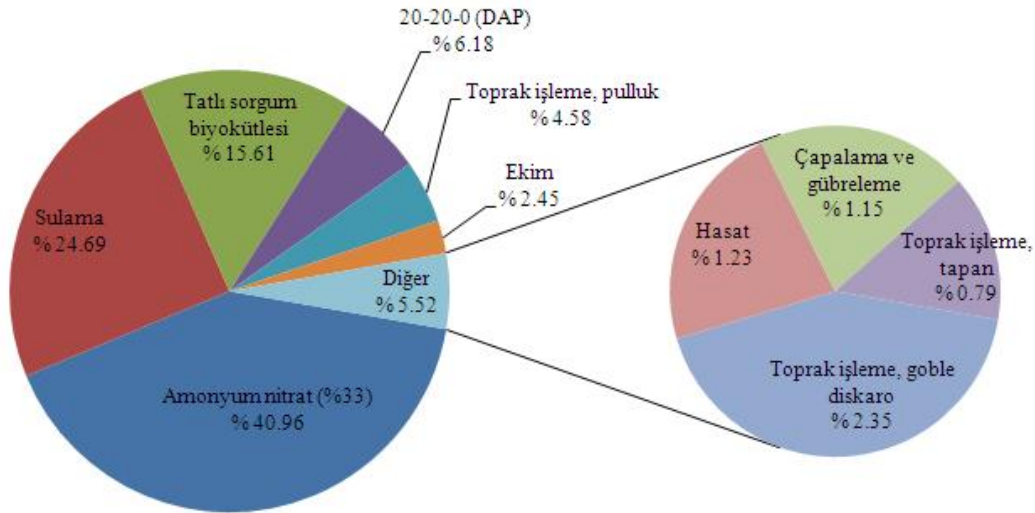
Elde edilen normalleştirilme değerleri (Çizelge 4.21) sonucunda etki kategorileri arasında en fazla çevresel etki, deniz canlılarının zehirlenmesine (20 yıl) (% 50.39) sebep olmaktadır. Deniz canlılarının zehirlenmesini (20 yıl) sırasıyla, temiz su canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) (% 16.09) ve ötrofikasyon potansiyli (% 11.50) takip etmektedir. En az çevresel etki ise stratosferdeki ozon azalmasına (20 yıl) (% 0.03) olmaktadır. Stratosferdeki ozon azalmasını (20 yıl) ise fotokimyasal oksidasyon (% 0.20) takip etmektedir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Normalleştirme sonucunda etki kategorilerinin çevresel etkilerinin yüzdelik dağılımı

Sutter ve Jungbluth (2007) ise tatlı sorgum yetiştirilmesi sırasında en fazla çevresel etkinin temiz su canlılarının zehirlenmesine (20 yıl) (% 46.43) sebep olduğunu belirlemişlerdir. Sutter ve Jungbluth (2007)'a göre temiz su canlılarının zehirlenmesini (20 yıl), sırasıyla, deniz canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) (% 28.41) ve ötrofikasyon potansiyelinin (% 10.38) takip ettiğini, en az çevresel etkinin stratosferdeki ozon azalması (% 0.01) olduğunu, stratosferdeki ozon azalmasını (20 yıl) ise fotokimyasal oksidasyonun (% 0.15) takip ettiğini belirlemişlerdir.

Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin uygulamalarının çevresel etkileri birbirleriyle kıyaslandığında, en fazla çevresel etkiye, % 40.96'lık oranla % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulaması sebep olmaktadır. % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulamasını sırasıyla, sulama uygulaması (% 24.69) ve tatlı sorgum biyokütlesi (% 15.61) takip etmektedir. En az etkiye tapanla toprak işleme uygulaması (% 0.79) sebep olmaktadır. Tapanla toprak işleme uygulamasını, çapalama ve gübreleme uygulaması (% 1.16) takip etmektedir (Şekil 4.20)



Şekil 4.20. Uygulamaların çevresel etkisinin yüzdelik dağılımı

Sutter ve Jungbluth (2007) ise tatlı sorgum yetiştirilmesi uygulamaları içerisinde en fazla çevresel etkiye % 52'lik bir oranla tatlı sorgum bitkisinin sebep olduğunu, bunu sulama uygulamalarının (% 20) ve gübre uygulamalarının (% 16) takip ettiğini belirlemişlerdir.

### 4.3.3. Yorumlama

#### 4.3.3.1. Küresel Etki

Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin karakterizasyon değerlendirmesine göre iklim değişikliği etkisi 1043.51 kg CO<sub>2</sub>-eş/ha, stratosferdeki ozon azalması etkisi 0.000051 kg CFC11-eş/ha ve abiyotik bozunma etkisi 2.89 kg Sb-eş/ha olarak hesaplanmıştır.

Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin normalleştirme değerlendirmesine göre iklim değişikliği etkisi  $2.11 \times 10^{-15}$  (% 7.16), stratosferdeki ozon azalması etkisi  $9.32 \times 10^{-18}$  (% 0.03) ve abiyotik bozunma etkisi  $2.02 \times 10^{-15}$  (% 6.85) olarak hesaplanmıştır.

Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinde, küresel bir etkiye sebep olan etki kategorileri kendi aralarında değerlendirildiğinde, iklim değişikliği etkisinin (% 51.00) küresel etkiye en fazla sebep olduğu saptanmıştır. % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulaması (% 40.04), iklim değişikliğinin artmasına neden olmuştur. Bu nedenle; kutuplarda erime, toprakta nem kaybı, mevsimlerde farklılık, rüzgar ve okyanus hareketlerinde değişimler olabilir. Küresel etkiye oldukça yüksek oranda sebep olan diğer bir etkide, abiyotik bozunma (% 48.78) etkisidir. Abiyotik bozunmaya da % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulaması (% 46.51) neden olmuştur. Bu nedenle; gelecek nesillere aktarılacak olan doğal kaynaklar azalabilir. Hem iklim değişikliği hem de abiyotik bozunma etkisini yani küresel etkileri azaltmak amacıyla, gübreleme topraktaki besin miktarına göre yapılmalıdır.

Stratosferdeki ozon azalmasının küresel etkiye etkisi, göz ardı edilebilecek bir seviyede (% 0.22) saptanmıştır.

#### 4.3.3.2. Bölgesel Etki

Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin karakterizasyon değerlendirmesine göre fotokimyasal oksidasyon etkisi 0.046 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-eş/ha ve asitleşme potansiyeli etkisi 4.98 kg SO<sub>2</sub>-eş/ha olarak hesaplanmıştır.

Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin normalleştirme değerlendirmesine göre fotokimyasal oksidasyon etkisi  $5.79 \times 10^{-17}$  (% 0.20) ve asitleşme potansiyeli etkisi  $1.69 \times 10^{-15}$  (% 5.75) olarak hesaplanmıştır.

Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinde, bölgesel bir etkiye sebep olan etki kategorileri kendi aralarında değerlendirildiğinde, asitleşme potansiyeli etkisinin, bölgesel etkiyi oldukça yüksek bir oranda (% 96.7) etkilediği belirlenmiştir. Tatlı sorgum biyokütlesi (% 54.79), asitleşme potansiyelinin artmasına neden olmuştur. Bu nedenle; biyokütlenin yetiştirildiği bölgede asit yağmurları, korozyon ve sulu alanlarda asitleşme olabilir.

Fotokimyasal oksidasyonun bölgesel etkiye etkisi, % 3.30 olarak saptanmıştır.

#### 4.3.3.3. Yerel Etki

Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin karakterizasyon değerlendirmesine göre insan zehirlenmesi etkisi 264.46 kg 1.4-DCB-eş/ha, kara canlılarının zehirlenmesi etkisi 0.1148 kg 1.4-DCB-eş/ha, deniz canlılarının zehirlenmesi etkisi 65.65 kg 1.4-DCB-eş/ha, temiz su canlılarının zehirlenmesi etkisi 77.65 kg 1.4-DCB-eş/ha ve ötrofikasyon potansiyeli etkisi 4.10 kg PO<sub>4</sub>-eş/ha olarak hesaplanmıştır.

Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin normalleştirme değerlendirmesine göre insan zehirlenmesi etkisi  $5.09 \times 10^{-16}$  (% 1.73), kara canlılarının zehirlenmesi etkisi  $9.31 \times 10^{-17}$  (% 0.32), deniz canlılarının zehirlenmesi etkisi  $1.49 \times 10^{-14}$  (% 50.39), temiz su canlılarının zehirlenmesi etkisi  $4.75 \times 10^{-15}$  (% 16.09) ve ötrofikasyon potansiyeli etkisi  $3.39 \times 10^{-15}$  (% 11.50) olarak hesaplanmıştır.

Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinde, yerel bir etkiye sebep olan etki kategorileri kendi aralarında değerlendirildiğinde, deniz canlılarının zehirlenmesi etkisinin (% 62.96) yerel etkiye en fazla sebep olduğu saptanmıştır. % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulaması (% 50.56), deniz canlılarının zehirlenmesi etkisinin artmasına neden olmuştur. Bu nedenle; biyokütlenin

yetiştirildiği yerdeki deniz canlılarında ve biyoçeşitlilikte azalma olabilir. Yerel etkiyi en fazla artıran deniz canlılarının zehirlenmesi etkisi dışındaki, temiz su canlılarının zehirlenmesi etkisi ve ötrofikasyon potansiyeli etkisi de yüksek oranlarda (sırasıyla, % 20.11 ve % 14.38) yerel etkiyi arttırmaktadırlar. Temiz su canlılarının zehirlenmesi etkisinin artmasına sulama uygulaması (% 41.82) ve % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulaması (% 39.02) neden olmuştur. Bu nedenle; biyokütlenin yetiştirildiği yerdeki temiz su canlıları ve ticari veya hobi balıkçılığı azalabilir. Ötrofikasyon potansiyeli etkisine, tatlı sorgum biyokütlesi oldukça yüksek oranda (% 83.12) neden olmuştur. Aşırı nitrat süzülmesi nedeniyle; biyokütlenin yetiştirildiği yerdeki göllerde ve ya nehirlerde aşırı bitki büyümesi ve fazla oksijen tüketimi olabilir.

İnsan ve kara canlılarının zehirlenmesinin yerel etkiye etkileri, sırasıyla, % 2.16 ve % 0.39 olarak saptanmıştır.

Bütün etkiler incelendiğinde, biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin, % 80.02 oranıyla en fazla yerel etkiye sebep olduğu belirlenmiştir. Küresel etkisi % 14.04 ve bölgesel etkisi de % 5.94 olarak belirlenmiştir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Çukurova Bölgesinde biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin yaşam döngüsünün enerji etkinliği ve çevresel etkileri belirlenmiştir. Tatlı sorgum bitkisi, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü deneme alanında yetiştirilmiştir. Elde edilen tatlı sorgum biyokütlesinin elementel ve kısa analizleri TÜBİTAK-MAM araştırma merkezinde yapılmıştır. Çevresel etkiler ise yaşam döngüsü değerlendirme yönteminden faydalanarak CML 2001 metoduna göre SimaPro 7 programının kullanılmasıyla saptanmıştır.

### 5.1. Enerji Etkinliğine İlişkin Sonuçlar ve Öneriler

Tatlı sorgum üretiminde, enerji etkinliğine ilişkin belirlenen sonuçlar ve enerji etkinliğinin artırılabilmesi için uygulanabilecek öneriler aşağıda verilmiştir.

#### Sonuçlar:

\*Tatlı sorgum üretiminde birim alan (ha) için toplam 3304.89 MJ yakıt enerjisi tüketilmektedir. Yakıt enerjisi girdisinin, üretimde kullanılan toplam enerji girdisine oranı, % 22.21 olarak belirlenmiştir.

\*Yakıt enerjisi girdisi, üretimde kullanılan diğer girdi oranlarına kıyasla gübre kullanımından sonra ikinci sıradadır.

\*Tatlı sorgum üretiminde kullanılan toplam enerjinin % 8.85'i, pullukla toprak işleme sırasında yakıt enerjisi (36.90 L/ha ve 1316.96 MJ/ha) olarak tüketilmektedir.

\*Tatlı sorgum üretiminde yakıt enerjisi tüketimi bakımından, pullukla toprak işlemeyi sırasıyla, goble diskaro ile 2. sınıf toprak işleme (17.40 L/ha ve 621.01 MJ/ha) ve pnömatik ekim makinası ile ekim uygulaması (13.30 L/ha ve 474.68 MJ/ha) izlemektedir.

\*Tatlı sorgum üretiminde birim alan (ha) için toplam 441.62 MJ makina enerjisi tüketilmektedir. Makina enerjisi girdisinin, üretimde kullanılan toplam enerji girdisine oranı, % 2.97 olarak belirlenmiştir.

\*Tatlı sorgum üretiminde, en fazla makina kullanımı, traktör kullanımı sırasında gerçekleşmektedir. Traktör kullanımı sırasında, 163.77 MJ/ha makina enerjisi tüketilmektedir.

\*Tatlı sorgum üretiminde birim alan (ha) için toplam 8060.00 MJ gübre enerjisi tüketilmektedir. Gübre enerjisi girdisinin, üretimde kullanılan toplam enerji girdisine oranı, % 54.17 olarak belirlenmiştir.

\*Tatlı sorgum üretiminde birim alan (ha) için toplam 2856.00 MJ sulama enerjisi tüketilmektedir. Sulama enerjisi girdisinin, üretimde kullanılan toplam enerji girdisine oranı, % 19.19 olarak belirlenmiştir.

\*Sulama enerjisi girdisi, gübreleme ve yakıt enerjisi girdilerinden sonra üçüncü sırada gelmektedir.

\*Tatlı sorgum üretiminde birim alan (ha) için toplam 200.00 MJ tohumluk enerjisi tüketilmektedir. Tohumluk enerjisi girdisinin, üretimde kullanılan toplam enerji girdisine oranı, % 1.34 olarak belirlenmiştir.

\*Tatlı sorgum üretimi için doğrudan (3307.32 MJ/ha) ve dolaylı (11572.96 MJ/ha) enerji tüketimlerinin toplamı 14880.28 MJ/ha olarak hesaplanmıştır.

\*Toplam enerji tüketiminin; % 22.23'ünü doğrudan, % 77.77'sini ise dolaylı enerji tüketimleri oluşturmaktadır.

\*Tatlı sorgum üretiminde toplam enerji çıktısı; sadece biyokütle verimi dikkate alındığında 169271.55 MJ/ha, tohum (29752.95 MJ/ha) ve biyokütle verimleri birlikte dikkate alındığında ise toplam 199024.55 MJ/ha olarak hesaplanmıştır.

\*Sadece tatlı sorgum biyokütle enerji çıktısı (169271.55 MJ/ha), tatlı sorgum üretiminde, toplam enerji çıktısının % 85.05'ini oluşturmaktadır.

\*Tatlı sorgum üretiminde, 9135 kg/ha biyokütle verimi için, enerji verimi 11.38 olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, birim üretim alanından (ha) toplam elde edilen ürün olarak biyokütle ve tohum (2085 kg/ha) dikkate alındığında, enerji verimi 13.38 olarak hesaplanmıştır.

\*Tatlı sorgum üretiminde özgül enerji, sadece birim üretim alanından (ha) alınan biyokütle miktarı dikkate alındığında 1.63 MJ/kg, üretim sonucunda kazanılan

toplam çıktı (tohum+biyokütle) miktarı dikkate alındığında ise 1.33 MJ/kg olarak belirlenmiştir.

\*Tatlı sorgum üretiminde enerji üretkenliği, sadece birim üretim alanından (ha) alınan biyokütle miktarı dikkate alındığında 0.61 kg/MJ, üretim sonucunda kazanılan toplam çıktı (tohum+biyokütle) miktarı dikkate alındığında ise 0.75 kg/MJ olarak belirlenmiştir.

\*Tatlı sorgum üretiminde net enerji üretimi, sadece birim üretim alanından (ha) alınan biyokütle miktarı dikkate alındığında 154391.27 MJ/ha, üretim sonucunda kazanılan toplam çıktı (tohum+biyokütle) miktarı dikkate alındığında ise 184144.22 MJ/ha olarak belirlenmiştir. Çukurova bölgesinde tatlı sorgum üretimi işlemlerinde tüketilen toplam enerji miktarı çıkarıldıktan sonra, sadece biyokütle miktarı dikkate alındığında, birim üretim alanından (ha), 154391.27 MJ net enerji kazanılmaktadır.

#### Öneriler:

Ü Üretim işlemlerinde kullanılan tarım makinaları ile çalışma sırasında gerçekleşen yakıt tüketimleri dikkatli bir şekilde izlenmelidir.

Ü Kullanılan tarım makinalarının güç gereksinimleri değerlendirilerek, yakıt tüketimini azaltıcı önlemler alınmalıdır.

Ü İşletme için gerekli güç optimizasyonu sağlanmalıdır. Güç kaynağına uygun kapasitede tarım makinası kullanılmalıdır. Örneğin, daha az güç gerektiren işlemler daha büyük güçlü traktörlerle gerçekleştirilmemelidir.

Ü Tarım makinaları tam yükte ve verimli olarak çalıştırılmalıdır.

Ü Tarımsal üretimde uygulanan gübrelerden beklenen yararın elde edilebilmesi için gübrelerin genel karakteristik özelliklerini bilmek ve etkili bir şekilde kullanmak, gübre kullanım zamanlarını ve tekniğini bilmek, gübreleme programını gübre kullanım etkinliğine yön veren faktörlere göre ayarlamak son derece önemlidir.

Ü Tatlı sorgum üretimi yapılacak arazilerde doğru bir şekilde toprak analizi yapılarak, bitki isteklerine yeterli miktarda besin elementi verilmeli ve gübreleme programları dikkatli bir şekilde oluşturulmalıdır.

Ü Bilinçsiz ve yanlış yapılan gübreleme toprağın fiziksel ve kimyasal yapısını bozmaktadır. Doğru gübre kullanımı konusunda gerekli eğitim ve yayım faaliyetleri yapılmalıdır.

Ü Tarımsal üretimde uygulanan sulama işlemlerinde ürünün yetiştirme dönemindeki su ihtiyacı iyi belirlenmelidir.

Ü Sulamada kullanılan teknolojiler geliştirilerek, enerji tüketimi azaltıcı iyileştirmeler yapılmalıdır.

Ü Üniversite ve araştırma kuruluşlarınca piyasada mevcut tatlı sorgum tohum çeşitlerinin verim denemeleri yapılmalıdır.

Ü Bölgeye adaptasyon çalışmaları yapılarak sonuçlar üreticilere aktarılmalıdır.

Ü Tatlı sorgum üretiminde kullanılan doğrudan ve dolaylı enerji girdileri optimum düzeylerde kullanılarak, üretimin verimliliği artırılabilir.

## 5.2. Çevresel Etkilere İlişkin Sonuçlar ve Öneriler

Tatlı sorgum üretiminde, çevresel etkilere ilişkin belirlenen sonuçlar ve çevresel etkilerin azaltılması için uygulanabilecek öneriler aşağıda verilmiştir.

### Sonuçlar:

Ø Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin abiyotik bozunma etkisi, 0.0003163 kg Sb-eş/kg<sub>biyokütle</sub> olarak hesaplanmıştır.

Ø Abiyotik bozunma etkisi en fazla olan uygulama, % 46.51'lik bir oranla % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulaması olmaktadır. % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulamasını, sırasıyla, sulama uygulaması (% 20.39) ve pullukla toprak işleme uygulaması (% 10.88) takip etmektedir. Tatlı sorgum biyokütlesinin abiyotik bozunmaya hiçbir etkisi olmamaktadır.

Ø Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin asitleşme potansiyeli etkisi, 0.0005456 kg SO<sub>2</sub>-eş/kg<sub>biyokütle</sub> olarak hesaplanmıştır.

Ø Asitleşme potansiyeline % 54.79'luk bir oranla tatlı sorgum biyokütlesi en fazla sebep olmaktadır. Tatlı sorgum biyokütlesinin asitleşme potansiyeli etkisini,

sırasıyla, % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulaması (% 24.28) ve sulama uygulaması (% 6.02) takip etmektedir. Asitleşme potansiyeli etkisi en az olan uygulama, tapanla toprak işleme uygulaması (% 0.51) olmaktadır.

Ø Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin deniz canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisi, 0.0071871 kg 1.4-DCB-eş/kg<sub>biyokütle</sub> olarak hesaplanmıştır.

Ø Deniz canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisi en fazla olan uygulama, % 50.56'lık bir oranla % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulaması olmaktadır. % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulamasını, sırasıyla, sulama uygulaması (% 29.30) ve 20-20-0 (DAP) gübre uygulaması (% 8.07) takip etmektedir. En az etkiye tatlı sorgum biyokütlesi (% 0.02) neden olmaktadır.

Ø Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin fotokimyasal oksidasyon etkisi, 0.00000503 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-eş/kg<sub>biyokütle</sub> olarak hesaplanmıştır.

Ø Fotokimyasal oksidasyon etkisi en fazla olan uygulama, % 33.09'luk bir oranla sulama uygulaması olmaktadır. Sulama uygulamasını, sırasıyla, % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulaması (% 28.76) ve pullukla toprak işleme uygulaması (% 14.12) takip etmektedir. Tatlı sorgum biyokütlesinin fotokimyasal oksidasyona hiçbir etkisi olmamaktadır.

Ø Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin iklim değişikliği (20 yıl) etkisi, 0.1142321 kg CO<sub>2</sub>-eş/kg<sub>biyokütle</sub> olarak hesaplanmıştır.

Ø İklim değişikliği (20 yıl) etkisi en fazla olan uygulama, % 40.04'lük bir oranla % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulamasıdır. % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulamasını, sırasıyla, tatlı sorgum biyokütlesi (% 38.57) ve sulama uygulaması (% 7.06) takip etmektedir. İklim değişikliğine (20 yıl) en az etki eden uygulama, tapanla toprak işleme uygulaması (% 0.90) olmaktadır.

Ø Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin insan zehirlenmesi (20 yıl) etkisi, 0.0289497 kg 1.4-DCB-eş/kg<sub>biyokütle</sub> olarak hesaplanmıştır.

Ø İnsan zehirlenmesi (20 yıl) etkisi en fazla olan uygulama, % 38.95'lik bir oranla % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulaması olmaktadır. % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulamasını, sırasıyla, sulama uygulaması (% 24.58) ve pullukla toprak

işleme uygulaması (% 12.48) takip etmektedir. En az etkiye tatlı sorgum biyokütlesi (% 0.48) sebep olmaktadır.

Ø Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin kara canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisi, 0.00001257 kg 1.4-DCB-eş/kg<sub>biyokütle</sub> olarak hesaplanmıştır.

Ø Kara canlılarının zehirlenmesine (20 yıl), % 35.44'lük bir oranla tatlı sorgum biyokütlesi en fazla sebep olmaktadır. Tatlı sorgum biyokütlesini, sırasıyla, 20-20-0 (DAP) gübre uygulaması (% 34.60) ve % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulaması (% 20.65) takip etmektedir. Kara canlılarının zehirlenmesine (20 yıl) en az etki eden uygulama, tapanla toprak işleme uygulaması (% 0.19) olmaktadır.

Ø Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin ötrofikasyon potansiyeli etkisi, 0.0004493 kg PO<sub>4</sub>-eş/kg<sub>biyokütle</sub> olarak hesaplanmıştır.

Ø Ötrofikasyon potansiyeline, % 83.12'lik bir oranla tatlı sorgum biyokütlesi en fazla sebep olmaktadır. Tatlı sorgum biyokütlesini, sırasıyla, % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulaması (% 8.28) ve sulama uygulaması (% 3.83) takip etmektedir. Ötrofikasyon potansiyeline en az etki eden uygulama, tapanla toprak işleme uygulaması (% 0.13) olmaktadır.

Ø Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin stratosferdeki ozon azalması (20 yıl) etkisi, 0.00000000561 kg CFC11-eş/kg<sub>biyokütle</sub> olarak hesaplanmıştır.

Ø Stratosferdeki ozon azalması (20 yıl) etkisi en fazla olan uygulama, % 56.32'lik bir oranla % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulamasıdır. % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulamasını, sırasıyla, pullukla toprak işleme uygulaması (% 12.33) ve sulama uygulaması (% 7.92) takip etmektedir. Tatlı sorgum biyokütlesinin stratosferdeki ozon azalmasına (20 yıl) hiçbir etkisi olmamaktadır.

Ø Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin temiz su canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisi, 0.0085001 kg 1.4-DCB-eş/kg<sub>biyokütle</sub> olarak hesaplanmıştır.

Ø Temiz su canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) etkisi en fazla olan uygulama, % 41.82'lik bir oranla sulama uygulamasıdır. Sulama uygulamasını, sırasıyla, % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulaması (% 39.02) ve 20-20-0 (DAP) gübre

uygulaması (% 7.12) takip etmektedir. En az etkiye tatlı sorgum biyokütlesi (% 0.05) neden olmaktadır.

Ø Normalleştirilme sonucunda etki kategorileri arasında en fazla çevresel etki, deniz canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) (% 50.39) olarak görülmektedir. Deniz canlılarının zehirlenmesini (20 yıl), sırasıyla, temiz su canlılarının zehirlenmesi (20 yıl) (% 16.09) ve ötrofikasyon potansiyeli (% 11.50) takip etmektedir.

Ø Normalleştirilme sonucunda etki kategorileri arasında ki en az çevresel etki ise stratosferdeki ozon azalması (20 yıl) (% 0.03) olarak görülmektedir. Stratosferdeki ozon azalmasını ise fotokimyasal oksidasyon (% 0.20) takip etmektedir.

Ø Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin uygulamaları içerisinde en fazla çevresel etkiye, % 40.96'lık oranla % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulaması sebep olmaktadır. % 33'lük amonyum nitrat gübre uygulamasını, sırasıyla, sulama uygulaması (% 24.69) ve tatlı sorgum biyokütlesi (% 15.61) takip etmektedir.

Ø Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin uygulamaları içerisinde en az etkiye tapanla toprak işleme uygulaması (% 0.79) sebep olmaktadır. Tapanla toprak işleme uygulamasını, çapalama ve gübreleme uygulaması (% 1.15) takip etmektedir.

Ø Biyokütle üretimi amacıyla tatlı sorgum yetiştirilmesinin, % 80.02 oranıyla en fazla yerel etkiye sebep olduğu belirlenmiştir. Küresel etkisi % 14.04 ve bölgesel etkisi de % 5.94 olarak hesaplanmıştır.

#### Öneriler:

Ü Gübre uygulamaları en fazla çevre kirleticiler oldukları için, toprak analizleri iyi yapılmalı, gübre uygulamalarını (özellikle de N'lu gübre) azaltıcı önlemler alınmalıdır.

Ü Sulama da çevreyi kirlletmektedir. Bitkinin yetiştirme dönemindeki su ihtiyacı iyi araştırılmalıdır. Sulama teknolojileri çevre kirlletmeyi azaltıcı bir şekilde iyileştirilmelidir.

Ü Birçok literatürde biyokütle ürünlerinin çevreyi kirlletmediği bildirilmektedir. Fakat yapılan değerlendirme sonucunda tatlı sorgum biyokütlesinin,

asitleşme potansiyeline, iklim değişikliğine (20 yıl), kara canlılarının zehirlenmesine (20 yıl) ve ötrofikasyon potansiyeline sebep olduğu görülmüştür. Bu yüzden birçok ürüne ilişkin yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılarak çevresel etkileri belirlenmelidir.

**Ü** Türkiye için tarım ürünleri bazında yaşam döngüsü envanter veri tabanları oluşturulmalıdır.

## KAYNAKLAR

- ALTHAUS, H. J., BAUER, C., DOKA, G., DONES, R., FRISCHKNECHT, R., HELLWEG, S., HUMBERT, S., JUNGBLUTH, N., KOLLNER, T., LOERINCİK, Y., MARGNI, M., NEMECEK, T., 2010. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Ecoinvent report No. 3. Eds. Hirschier, R., Weidema, B.
- ANDERSSON, K., 1998. Life Cycle Assessment (LCA) of Food Products and Production Systems. PhD. Thesis, Chalmers University of Technology. AFR-Report 203. Gothenburg (Sweden).
- ANONİM, 2011. [www.solidworks.com.tr/sustainability/life-cycle-assessment.htm](http://www.solidworks.com.tr/sustainability/life-cycle-assessment.htm) erişim: 21.01.2011
- ASMAN, W.A.H., 1992. Ammonia emission in Europe: Updated Emission and Emission Variations. Rep. 228471008. National Inst. of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven.
- AUDSLEY, E., ALBER, S., CLIFT, R., COWELL, S., CRETIAZ, 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 Life Cycle Assessment For Agriculture. Final Report, Concerted Action AIR3-CT94-2028. European Commission DG VI Agriculture, Silsoe, UK.
- BISHOP, P., 2000. Pollution Prevention: Fundamentals and Practice. McGraw-Hill.
- BRENTROP, F., KUSTERS, J., KUHLMANN, H., LAMMEL, J., 2001. Application of The Life Cycle Assessment Methodology to Agricultural Production: An Example of Sugar Beet Production with Different Forms of Nitrogen Fertilisers. European Journal of Agronomy, 14, 221-233.
- ....., 2004a. Environmental Impact Assessment of Agricultural Production Systems Using The Life Cycle Assessment Methodology I. Theoretical Concept of A LCA Method Tailored to Crop Production. European Journal of Agronomy, 20, 247-264.

- ....., 2004b. Environmental Impact Assessment of Agricultural Production Systems Using The Life Cycle Assessment Methodology II. The Application to N Fertilizier Use in Winter Wheat Production Systems. *European Journal of Agronomy*, 20, 265-279.
- BUXTON, D. R., ANDERSON, I. C., HALLAM, A., 1999. Performance of Sweet Sorghum Grown Continuously, Double Cropped With Winter Rye, or in Rotation with Soybean and Maize. *Agron. J.*, (91), 93-101.
- CANALS, L. M., 2003. Contributions to LCA Methodology for Agricultural Systems. Site-dependency and Soil Degradation Impact Assessment. PhD. Thesis, Universitat Autònoma de Barcelona.
- CEUTERICK, D., 1996. Preprints. International Conference on Application of Life Cycle Assessment in Agriculture, Food and Non-Food Agro-Industry and Forestry: Achievements and Prospects. VITO, Mol (Belgium).
- ....., 1998. Proceedings. International Conference Life Cycle Assessment in Agriculture, Agro-Industry and Forestry. VITO, Mol. Brussels (Belgium), 3-4 December 1998.
- CHANNIWALA, S.A., PARIKH, P.P., 2002. A Unified Correlation for Estimating HHV of Solid, Liquid and Gaseous Fuels. *Fuel* (81), 1051–1063.
- CHIARAMONTI, D., AGTERBERG, A., 2002. Large Bio-Ethanol Project From Sweet Sorghum in China and Italy (ECHIT): Description on Site, Process Schemes and Main Products. 12th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Amsterdam, Netherlands, 1114-1117.
- CHURCHMAN, C. W., 1979. The Systems Approach and Its Enemies. Basic Books Inc., 20-21.
- CLAASSEN, P. A. M., VRIJE, T., BUDDE, M. A. W., KOUKIOS, E. G., GLYNOS, A., RECZEY, K., 2004. Biological Hydrogen Production From Sweet Sorghum By Thermophilic Bacteria. In: 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Rome, Italy.

- COCCHI, M., 2008. Sweet Sorghum as a Feedstock for Combined Production of Biofuel and Green Power Opportunities and Applicability Fort He Restructuring of the Italian Sugar Industry. Renewable Energies, Athens.
- CONSOLI, F., ALLEN, D., BOUSTEAD, I., DE OUDE, N., FAVA, J., FRANKLIN, W., QUAY, B., PARRISH, R., PERRIMAN, R., POSTLETHWAITE, D., SEGUIN, J., VIGON, B., 1993. Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice'. SETAC. Pensacola (USA).
- COWELL, S.J., 1998. Environmental Life Cycle Assessment of Agricultural Systems: Integration Into Decision-Making. Ph.D. dissertation. Centre for Environmental Strategy, University of Surrey. Guildford (UK).
- ....., CLIFT, R., 1997. Impact Assessment for LCAs Involving Agricultural Production. Int. J. LCA 2(2), 99-103.
- ....., 1998. Site-dependency in LCAs Involving Agricultural Production. 8th Annual Meeting of SETAC-Europe. Abstracts. SETAC. 14-18 April 1998.
- COWELL, S.J., 1999. Use of Environmental Life Cycle Assessment to Evaluate Alternative Agricultural Production Systems, A Paper From The 52nd Conference Proceedings (1999) Of The New Zealand Protection Society Incorporated, 40-44, New Zealand.
- ÇED, 2009. Çevresel Göstergeler. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı. Ankara.  
Online: <http://www.cevreorman.gov.tr/belgeler/cg2009.pdf>  
Erişim: 01.11.2010
- ÇOKAYGİL, Z., BANAR, M., 2005. Yaşam Döngüsü Analiz ve Standartlar Açısından Bir Değerlendirme. VI. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 24-26 Kasım 2005, Poster Bildiri, İstanbul.
- ÇUBUK, H., UZUN, D., ERDALLI, Y., 1995. Linyit - Tatlı Sorgum Karışımının Akışkan Yataklı Yakıcıda Yakılması. Çevre ve Enerji Kongresi Bildiriler Kitabı, Sayı: 192, 352-360.
- DALIANIS, C, CHRISTOU, M., SOOTER, S., KYRITISIS, S., ZAFIRIS, SAMIOTAKIS, G., 1992. Seventh European Conference on Biomass for

- Energy and Environment. Agriculture and Industry, P.09.09, Florence-Italy, October 5-9.
- DAURIAT, A., 2000. Penetration Potentialities of New Ethanol Production Routes from Lignocellulosic Biomass. EPFL Lausanne.
- DESAULES, A., STUDER, K., 1993. NABO: Nationales Beobachtungsnetz, Messresultate 1985-1991. Schriftenreihe Umwelt Nr. 200, BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), Bern.
- de VRIES, S. C., van de VEN, G. W. J., van ITTERSUM, M. K., GILLER, K. E., 2010. Resource use Efficiency and Environmental Performance of Nine Major Biofuel Crops, Processed by First-Generation Conversion Techniques. Biomass and Bioenergy, 34, 588-601.
- DJOMO, S. N., BLUMBERGA, D., 2011. Comparative Life Cycle Assessment of Three Biohydrogen Pathways. Bioresource Technology, 102, 2684-2694.
- EJILAH, I.R., ASERE, A.A. 2008. A Comparative Performance and Emission Analysis of Blended Groundnut Oil and Mineral Oil Based Lubricants Using A Spark Ignition Engine. Agricultural Engineering International: The CIGR E journal manuscript EE 07017. Vol. X.
- EL BASSAM, N., 2010. Handbook of Bioenergy Crops A Complete Reference to Species Development and Applications. ISBN: 978-1-84407-854-7
- EREN, Ö., ÖZTÜRK, H. H., 2011. Biyokütle Enerjisi. Doğa Yayıncılık Ltd. Şti., İstanbul. ISBN: 978-975-6263-19-8.
- ETKB, 2010. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı ve İlgili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri (Mavi Kitap2010). Ankara.  
Online: [http://www.enerji.gov.tr/yayinlar\\_raporlar/Mavi\\_Kitap\\_2010.pdf](http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Mavi_Kitap_2010.pdf)  
Erişim: 01.11.2010
- FERNANDO, A. L., DUARTE, M. P., ALMEIDA, J., BOLÉO, S., MENDES, B., 2010. Environmental Impact Assessment of Energy Crops Cultivation in Europe. Biofuels, Bioprod. Bioref., 4: 594–604.
- FLOOD, R. L., CARSON, E. R., 1993. Dealing With Complexity: An Introduction to The Theory and application of Systems Science. Plenum, New York, 40-41.

- FREIERMUTH, R., 2006. Modell zur Berechnung der Schwermetallflüsse in der Landwirtschaftlichen Ökobilanz - SALCA-Schwermetall. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART), 28p.
- FRESE, L. 1994. Yield Potential and Utilization Possibilities of Sugar Crops. Field Crop Abstracts. (47), 3469.
- FRISCHKNECHT, R., BOLLENS, U., BOSSHART, S., CIOT, M., CISERI, L., DOKA, G., DONES, R., GANTNER, U., HIRSCHIER, R., MARTIN, A., 1996. Ökoinventare von Energiesystemen. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Auflage No. 3, Gruppe Energie - Stoffe - Umwelt (ESU), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich und Sektion Ganzheitliche Systemanalysen, Paul Scherrer Institut Villigen/Würenlingen, Schweiz.
- GASOL, C. M., GABARRELL, X., ANTON, A., RIGOLA, M., CARRASCO, J., CIRIA, P., SOLANO, M. L., RIERADEVALL, J., 2007. Life Cycle Assessment of A Brassica Carinata Bioenergy Cropping System in Southern Europe. Biomass and Bioenergy, 31, 543-555.
- ....., 2009. LCA of Poplar Bioenergy System Compared with Brassica Carinata Energy Crop and Natural Gas in Regional Scenario. Biomass and Bioenergy, 33, 119-129.
- GENG, S., HILL, F. J., JOHNSON, S. S., SAH, R. N., 1989. Potential Yields and on Farm Ethanol Production Cost of Corn, Sweet Sorghum, Fodder Beet and Sugar Beet. J. Agron. Crop Sci. (162), 21-29.
- GHAHRAEI, O., KHOSHTAGHAZA, M. H., BIN AHMAD, D., 2008. Design and Development of Special Cutting System for Sweet Sorghum Harvester. Journal Central European Agriculture. (9) 3, 469-474.
- GRASSI, G., 2000. Bioethanol – Industrial World Perspectives. Renewable Energy World.
- ....., 2001. Sweet Sorghum: One of the Best World Food-Feed-Energy Crop. [http://web.etaflorence.it/uploads/media/LAMNET\\_sweet\\_sorghum.pdf](http://web.etaflorence.it/uploads/media/LAMNET_sweet_sorghum.pdf).  
Erişim Tarihi: 01.02.2011

- ....., 2007. Perspectives of Modern Bioenergy and Sustainable Biofuels Production. Vision Estrategica De Las Energia Sostenibles En America Latina YEl Caribe, June 25- 27, Şili
- GUIYING, L., WEIBIN, G., HICKS, A., CHAPMAN, K. R., 2003. A Training Manual for Sweet Sorghum. Development of Sweet Sorghum for Grain, Sugar, Feed, Fiber, and Value-Added By-Products, in The Arid, Saline-Alkaline Regions of China. FAO - TCP/CPR/0066.  
<http://ecoport.org/ep?SearchType=earticleView&earticleId=172&page=2>  
Erişim tarihi: 01.02.2011
- GÜLTEKİN, A. B., 2006. Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi Kapsamında Yapı Ürünlerinin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 7-23.
- HAAS, G., WETTERICH, F., GEIER, U., 2000. Life Cycle Assessment in Agriculture on the Farm Level. Int. J. LCA. 5(6), 345-348.
- HANEGRAAF, M. C., BIEWINGA, E. E., VAN DERBIJL, G., 1998. Assessing The Ecological and Economic Sustainability of Energy Crops. Biomass and Bioenergy, 15 (4-5), 345-355.
- HAYASHI, K., GAILLARD, G., NEMECEK, T., 2005. Life Cycle Assessment of Agricultural Production Systems: Current Issues and Future Perspectives. 98-110.
- HELLER, M. C., KEOLEIAN, G. A., VOLK, T. A., 2003. Life Cycle Assessment of Willow Bioenergy Cropping System. Biomass and Bioenergy, 25, 147-165.
- IEA, 2010. Key World Energy Statistics. International Energy Agency. Paris.  
Online: [www.iea.org](http://www.iea.org) Erişim: 01.11.2010
- ISO, 2000. Environmental Management – Life Cycle Assessment- - Examples of Application of ISO 14041 to Goal and Scope Definition and Inventory Analysis. ISO/TR 14049:2000, Geneva, 1-43.
- ...., 2002. Environmental Management – Life Cycle Assessment- Data Documentation Format. ISO/TR 14048:2002, Geneva, 1-87.

- ....., 2003. Environmental Management – Life Cycle Impact Assessment- Examples of Application of ISO 14042. ISO/TR 14047:2003, Geneva, 1-87.
- ....., 2006a. Environmental Management – Life Cycle Assessment- Principles and Framework. ISO 14040:2006, Geneva, 1-20.
- ....., 2006b. Environmental Management – Life Cycle Assessment- Requirements and Guidelines, ISO 14044:2006, Geneva, 1-46.
- JENSEN, A. A., HOFFMAN L., MOLLER B. T., SCHMIDT A., CHRISTIANSEN K., ELKINGTON J., 1997. Life Cycle Assessment (LCA) – A Guide to Approaches, Experiences and Information Sources. Environmental Issues Series No: 6, European Environment Agency.
- KALLIVROUSSIS, L., NATSIS, A., PAPADAKIS, G. 2002. The Energy Balance of Sunflower Production for Biodiesel in Greece. *Biosystems Engineering*, 81(3), 347–354.
- KIM, S., DALE, B.E., 2005. Life Cycle Assessment of Various Cropping Systems Utilized For Producing Bifuels: Bioethanol And Biodiesel. *Biomass and Bioenergy*, 29, 426-439.
- KOPPEN, S., REINHARDT, G., GÄRTNER, S., 2009. Assessment of Energy and Greenhouse Gas Inventories of Sweet Sorghum for First and Second Generation Bioethanol. *Environment and Natural Resources Management Series*, 30, FAO, Rome.
- KREWITT, W., TRUKENMULLER, A., BACHMANN, T. M., HECK, T., 2001. Country-Specific Damage Factors for Air Pollutants. A Step Towards Site-Dependent Life Cycle Impact Assessment. *Int. J. LCA*, 6(4), 199-210.
- LINDEIJER, E., MULLER-WENK, R., STEEN, B. (EDİTORS), BAITZ, M., BROERS, J., CEDERBERG, C., FINNVEDEN, G., TEN HOUTEN, M., KOLLNER, T., MATTSSON, B., MAY, J., MILÀ, I CANALS, L., RENNER I., WEIDEMA, B. (contributors), 2002. Impact Assessment of resources and land use. Chapter in Udo de Haes H.A., Joliet O., Finnveden G., Goedkoop M., Hauschild M., Hertwich E. G., Hofstetter P., Klöpffer W., Krewitt W., Lindeijer E.W., Müller-Wenk R., Olson

- S.I., Pennington D.W., Potting J., Steen B. Towards best practice in Life Cycle Impact Assessment. Report of the second SETAC-Europe working group on Life Cycle Impact Assessment. SETAC. Pensacola (USA), (forthcoming).
- LIZARAZU, W. Z., MATTEUCCI, D., MONTI, A., 2010. Critical review on energy balance of agricultural systems, *Biofuels*, Bioprod. Bioref. 4, 423–446
- LUESCHEN, W. E., PUTNAM, D. H., KANNE, B. K., HOVERSTAD, T. R., 1993. Agronomic Practices for Production of Ethanol from Sweet Sorghum. *Field Crop Abstracts*. (46), 4166.
- MATTSSON, B., CEDERBERG, C., LJUNG, M., 1998. Principles for Environmental Assessment of Land Use in Agriculture. SIK-Rapport 1998 Nr 642. The Swedish Institute for Food and Biotechnology (SIK), Gothenburg (Sweden).
- McKENDRY, P., 2002. Energy Production from Biomass (Part 1): Overview of Biomass. *Bioresource Technology*. 83, 37–46.
- MIKKOLA, H. J., AHOKAS, J., 2009. Indirect Energy Input of Agricultural Machinery in Bioenergy Production. *Renewable Energy*. 1-6.
- MONTI, A., VENTURI, G., 2003. Comparison of the Energy Performance of Fibre Sorghum, Sweet Sorghum and Wheat Monocultures in Northern Italy. *Uer. J. Agron*, 19, 35-43
- ....., FAZIO, S., VENTURI, G., 2009. Cradle-to-farm Gate Life Cycle Assessment in Perennial Energy Crops. *European Journal of Agronomy*, 31 (2), 77-84.
- MRINI, M., SENHAJI, F., PIMENTEL, D., 2001. Energy Analysis of Sugarcane Production in Morocco. *Environment, Development and Sustainability*. 3, 109-126.
- NASSI, N., NASSO, D., BOSCO, S., DI BENE C., COLI, A. MAZZONCINI, M., BONARI, E., 2010. Energy Efficiency in Long-Term Mediterranean Cropping Systems with Different Management Intensities. *Energy*, In Press, Corrected Proof, Available online 29 July 2010.

- NEMECEK, T., KAGI, T., 2007. Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Ecoinvent Report No:15, December, Zürich.
- ....., VON RICHTHOFEN, J. S., DUBOIS G., CASTA, P., CHARLES, R., PAHL, H., 2008. Environmental Impacts of Introducing Grain Legumes into European Crop Rotations. *European Journal of Agronomy*. 28, 380-393.
- OLSSON, P. (ed.), 1999. LCAnet Food. Final Document. SIK, December 1999. <http://lives.sik.se/sik/affomr/miljo/lcanetf.html>
- ÖZER, Z., 1996. Bitkilerdeki Gizli Güç, Biyokütle Enerjisi. *Bilim ve Teknik Dergisi*. (342), 56-61.
- ÖZTÜRK, H. H., 2010. Tarımsal Üretimde Enerji Yönetimi. Hasad Yayınevi, ISBN 975-8377-78-7.
- PAULSEN, J., 2001. Life Cycle Assessment for Building Products – The Significance of The Usage Phase. Ph.D. Thesis, Kungliga Tekniska Hogskolan, Stockholm, Sweden, 5-44.
- PRASUHN, V., GRÜNIG, K., 2001. Evaluation der Ökomassnahmen Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Bodenerosion. Schriftenreihe der FAL 37, 151p.
- RAJVANSHI, A. K., 1984. Distillation of Ethyl Alcohol from Fermented Sweet Sorghum Solution by Solar Energy. DNCES, New Delhi.
- ....., NIMBKAR, N., 2008. Sweet Sorghum R&D at The Nimbkar Agricultural Research Institute (NARI). Nimbkar Agricultural Research Institute (NARI), India.
- 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.
- REDDY, B. V. S., KUMAR, A. A., REDDY, P. S., 2008. Sweet Sorghum: A Dryland Adapted Bioethanol Feedstock Yielding Both Grain and Fuel. *Proceedings of the 5th International Conference on Biofuels*, New Delhi, India, February 7–8, pp. 50-57.

- RENÓ, M. L. G., LORA, E. E. S., PALACIO, J. C. E., VENTURINI, O. J., BUCHGEISTER, J., ALMAZAN, O., 2011. A LCA (Life Cycle Assessment) of The Methanol Production from Sugarcane Bagasse. *Energy*, 36, 3716-3726.
- RICHNER, W., OBERHOLZER, H.R., FREIERMUTH, R., HUGUENIN, O., WALTHER, U., 2006. Modell zur Beurteilung des Nitratauswaschungspotenzials in Ökobilanzen - SLACA Nitrat. *Agroscope Reckenholz - Tänikon ART*, 25p.
- ROSS, S., EVANS, D., 2002. Excluding Site-Specific Data from the LCA Inventory: How This Affects Life Cycle Impact Assessment. *Int. J. LCA*, 7(3), 141-150.
- SABANCI, A., BAŞÇETİNÇELİK, A., ÖZGÜVEN, F., ÖZTÜRK, H. H., SAY, S. M., 2010. *Tarım Makinaları 1*. (Editör: S. M. SAY), Nobel Kitabevi, ISBN: 978-605-397-05-69.
- SAEFL, 1995. Schadstoffemissionen und Treibstoffverbrauch des Offroad- Sektors - Inventar 1990, Entwicklung 1900-2030. *Umweltmaterialien Nr. 49*. Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL). Bern, Switzerland.
- ....., 2000. *Handbuch Offroad-Datenbank*. Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL), Bern, Switzerland.
- SCHAFFERT, R. E., GOURLEY, L.M., 1982. Sorghum as Energy Source. Sorghum in the Eighties: Proceedings of the International Symposium on Sorghum. 2-7 Nov. 81, ICRISAT Center, India.
- ....., 1992. Sweet Sorghum Substrate for Industrial Alcohol. Utilization of Sorghum and Millets. P.131-137, ICRISAT.
- SCHMID, M., NEFTEL, A., FUHRER, J., 2000. Lachgasemissionen aus der Schweizer Landwirtschaft. *Schriftenreihe der FAL* 33, 131 p.
- SEGADO, S., LOZANO, L. J., DE JUAN GARCÍA, D., GODÍNEZ, C., DE LOS RÍOS, A. P., FERNÁNDEZ, F. Z. H., 2010. Life Cycle Assessment Analysis of Ethanol Production from Carob Pod. *Chemical Engineering Transactions*, 21, 613-618.

- SIK, 2001. Proceedings. International Conference on LCA in Foods. SIK-Dokument 143. Gothenburg (Sweden), 26-27th April 2001.
- SMITH, G. A., BAGBY, M. O., LEWELLEN, R. T., DONEY, D. L., MOORE, P. H., HILLS, F. J., CAMPBELL, L. G., HOGABOAM, G. J., COE, G. E., FREEMAN, K., 1987. Evulation of Sweet Sorghum for Fermentable Sugar Production Potential. *Crop Sci.* (27), 788-793.
- ....., BUXTON, D. R., 1993. Temperate Zone Sweet Sorghum Ethanol Production Potential. *Bioresource Technology.* (43), 71-75.
- SMITH, C. W., FREDERIKSEN, R. A., 2000. *Sorghum; Origin, History, Technology and Production.* Wiley Series in Crop Sciences. Wiley, New York.
- SONNEMAN, G., CASTELLS, F., SCHUHMACHER, M., 2004. *Integrated Life-Cycle and Risk Assessment for Industrial Processes.* Lewis Publishers, Boca Raton, USA.
- STAUFFER, W., PRASUHN, V., SPIESS, E., 2001. Einfluss unterschiedlicher Fruchtfolgen auf die Nitratauswaschung. In: *Neue Erkenntnisse zu Stickstoffflüssen im Ackerbau*, FAL-Tagung 6.4.2001, 8p.
- STYLES, D., JONES, M.B., 2007. Energy Crops in Ireland: Quantifying The Potetial Life-Cycle Greenhouse Gas Reductions of Energy-Crop Electricity. *Biomass and Bioenergy*, 31, 759-772.
- SURBECK, A., LEU, D., 1998. Toxikologische Beurteilung von Nitrat im Trinkwasser. In: Scholz R.W., Bösch S., Mieg H.A. und Stünzi J. (eds.): *Region Klettgau - Verantwortungsvoller Umgang mit Boden.* ETH-UNS-Fallstudie '97, Verlag Rüegger, Zürich. 203-205.
- SUTTER, J., JUNGBLUTH, N., 2007. Sweet Sorghum, Production in China. *Life Cycle Inventories of Bioenergy*, Ecoinvent Report No: 17, 162-173.
- ŞAHİN, M. 2009. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) ve Türkiye. Rio Sözleşmeleri Kapsamında Türkiye'nin Kapasitesinin Değerlendirilmesi Projesi (NCSA). 23 Şubat 2009. Ankara.

- TAŞYÜREK, M., ACAROĞLU, M., 2007. Biyoyakıtlarda (Biyomotorinde) Emisyon Azaltımı ve Küresel Isınmaya Etkisi. Uluslararası Küresel İklim Değişikliği ve Çevresel Etkileri Konferansı. Konya.
- THIEL, C., SEPPELT, R., MÜLLER-PIETRALLA, W., RICHTER, O., 1999. An Integrated Approach for Environmental Assessments. Linking and Integrating LCI, Environmental Fate Models and Ecological Impact Assessment Using Fuzzy Expert Systems. Int. J. LCA, 4(3), 151-160.
- TILLMAN, D.A., 1978. Wood as an Energy Resource. Academic Pres.
- TMMOB, 2008. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Oda Raporu. TMMOB Makine Mühendisleri Odası. Yayın No: MMO/2008/479
- TSE, 2007a. Çevre Yönetimi – Hayat Boyu Değerlendirme- İlkeler ve Çerçeve. TS EN ISO 14040:2007, Ankara, 1-20.
- ....., 2007b. Çevre Yönetimi – Hayat Boyu Değerlendirme – Gerekler ve Kılavuz. TS EN ISO 14044:2007, Ankara, 1-46.
- TUCHSCHMID, M., 2007. Life Cycle Assessment of Differen Biomass Fuels. 2<sup>nd</sup> European Summer Scholl on Renewable Motor Fuels, 1-13, Warsaw, Poland.
- TÜİK, 2010. Türkiye İstatistik Kurumu Çevre İstatistikleri. Ankara.  
Online: [www. tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr) Erişim: 01.11.2010
- UDO DE HAES, H. A., JOLLIET A., 1999. How Does ISO/IDIS 14042 on Life Cycle Impact Assessment Accomodate Current Best Available Practice. The International Journal of Life Cycle Assessment, 4 (2), 75-80.
- ....., FINNVEDEN, G., GOEDKOOP, M., HAUSCHILD, M., HERTWICH, E. G., HOFSTETTER, P., KLOPFER, W., KREWITT, W., LINDEIJER, E. W., MÜLLER-WENK, R., OLSON, S. I., PENNINGTON, D. W., POTTING, J., STEEN, B., 2002. *Towards best practice in Life Cycle Impact Assessment*. Report of the second SETAC-Europe working group on Life Cycle Impact Assessment. SETAC.

- ÜLTANIR, 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.
- VASSILEV, S.V., BAXTER, D., ANDERSEN, L.K., VASSILEVA, C.G.. 2010. An Overview of The Chemical Composition of Biomass. *Fuel* (89), 913-933.
- VENTURI, P., VENTURI, G., 2003. Analysis of Energy Comparison for Crops in European Agricultural Systems. *Biomass and Bioenergy*, 25, 235-255.
- WEIDEMA, B.P. (ed.), 1993. Life Cycle Assessments of Food Products. Proceedings of the 1st European Invitational Expert Seminar on LCAs of Food Products. Technical University of Denmark. Lyngby (Denmark), 22-23 November 1993.
- ....., MEEUSEN, M. J. G. (editors), 2000. Agricultural Data for Life Cycle Assessments. Vol. 1: 195 pp. vol. 2: 155 pp. LEI (Agricultural Economics Research Institute), The Hague (The Netherlands).
- WENZEL, H., 1998. Application Dependency of LCA Methodology: Key Variables and Their Mode of Influencing the Method. *Int. J. LCA* 3(5) 281-288.
- WOLFENBERGER, U., DINKEL, F., 1997. Beurteilung nachwachsender Rohstoffe in der Schweiz in den Jahren 1993-1996. FAT und Carbotech, im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft, Bern.
- WOODS, J., 2000. Integrating Sweet Sorghum and Sugarcane for Bioenergy: Modelling the Potential for Electricity and Ethanol Production in SE Zimbabwe. PhD thesis, Division of Life Sciences King's College London University of London.
- XUNMIN, O., XILIANG, Z., SHIYAN, C., QINGFANG, G., 2009. Energy Consumption and GHG Emissions of Six Biofuel Pathways by LCA in (The) People's Republic of China. *Applied Energy*. 86, 197-208.
- YAŞAR, B., 2009. Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel Üretim ve Kullanım Olanaklarının Türkiye Tarımı Ve AB Uyum Süreci Açısından Değerlendirilmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Adana.
- YIN, C. Y., 2011. Prediction of Higher Heating Values of Biomass from Proximate and Ultimate Analyses. *Fuel*. 90, 1128-1132.

ZIMMERMANN, A., 2002. Ökoinventare für die Bereitstellung von landwirtschaftlichen Maschinen. Internal working paper. Swiss Federal Research Station for Agricultural Economics and Engineering (FAT), Taenikon, Ettenhausen, Switzerland.

## ÖZGEÇMİŞ

31/05/1977 yılında Çatalağzı (ZONGULDAK)'nda doğdu. İlk ve orta öğrenimini Çaycuma (ZONGULDAK)'da, lise öğrenimini 1994 yılında MERSİN'de tamamladı. 1995 yılında başladığı Mersin Üniversitesi, Mersin Meslek Yüksek Okulu, Endüstriyel Elektronik Programını 1.'likle 1997 yılında bitirdi. 1997 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü'nden 2001 yılında fakülte 3.'sü, bölüm 1.'si olarak mezun oldu. Aynı yıl Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2002 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisansa başladı. Buradan 2005 yılında Yüksek Mühendis olarak mezun oldu. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalında Doktora başladı ve bu bölüme 35. maddeye göre Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen aynı yerde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve 1 çocuk babasıdır.