

**GÜL İŞLEME ATIKLARININ KOMPOSTLAŞTIRILMASINDA  
OPTİMUM C/N ORANLARININ BELİRLENMESİ  
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

**Emrah ONURSAL**

**Danışman  
Doç. Dr. Kamil EKİNCİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
TARIM MAKİNALARI ANABİLİMDALİ**

**ISPARTA – 2006**

**GÜL İŞLEME ATIKLARININ KOMPOSTLAŞTIRILMASINDA  
OPTİMUM C/N ORANLARININ BELİRLENMESİ  
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

**Emrah ONURSAL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
TARIM MAKİNALARI ANABİLİMDALI  
ISPARTA – 2006**

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜL İŞLEME ATIKLARININ KOMPOSTLAŞTIRILMASINDA  
OPTİMUM C/N ORANLARININ BELİRLENMESİ  
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

**Emrah ONURSAL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
TARIM MAKİNALARI ANABİLİMDALI  
ISPARTA – 2006**

## İÇİNDEKİLER

|  |     |
|--|-----|
| İÇİNDEKİLER.....   | i   |
| ÖZET.....  | iii |
| ABSTRACT.....  | iv  |
| TEŞEKKÜR.....  | v   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....                                    | vi  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....   | vii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....   | x   |
| 1. GİRİŞ.....  | 1   |
| 1.1. Kompostlaştırma işlemi ve aşamaları.....                          | 1   |
| 2. KAYNAK BİLGİSİ.....   | 5   |
| 2.1. Laboratuar ve pilot ölçekli kompostlaştırma sistemleri.....       | 12  |
| 3. MATERYAL ve METOT.....  | 15  |
| 3.1. Materyal.....   | 15  |
| 3.2. Metot.....  | 17  |
| 3.2.1. Kompost karışımlarının hazırlanması.....                        | 17  |
| 3.2.2. Deney düzeneği.....   | 21  |
| 3.2.2.1. Sıcaklık ölçümü.....  | 21  |
| 3.2.2.2. Havalandırma.....   | 22  |
| 3.2.2.3. CO <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> konsantrasyonları ölçümü..... | 23  |
| 3.2.3. Kompost nem içeriği.....  | 23  |
| 3.2.4. Kompost kül içeriği ve organik madde miktarı.....               | 24  |
| 3.2.5. Kompost karbon içeriği.....                                     | 24  |
| 3.2.6. Kompost azot içeriği.....                                       | 24  |
| 3.2.7. Kompost kütle kaybı.....  | 24  |
| 3.2.8. Ağır metal içeriği.....   | 25  |
| 3.2.9. Kompost karışımının serbest hava oranı (FAS).....               | 25  |
| 3.2.10. Kompostlaştırma kinetiği.....                                  | 26  |
| 3.2.10.1. Kompost denge kütlesi (me) değerinin belirlenmesi.....       | 27  |
| 3.2.10.2. Kinetik parametrelerin (k ve β) belirlenmesi:.....           | 27  |
| 3.2.11. İstatistiksel değerlendirme.....                               | 29  |

|   |    |
|---|----|
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA .....  | 30 |
| 4.1. Ağır Metal Analizleri .....  | 30 |
| 4.2. Serbest boşluk oranı .....   | 30 |
| 4.3. I. Deneme Sonuçları.....   | 31 |
| 4.3.1. Kompost sıcaklığı .....  | 31 |
| 4.3.2. Kompost nem içeriği .....  | 35 |
| 4.1.3. Organik maddedeki değişim .....  | 38 |
| 4.3.4. pH ve EC .....   | 40 |
| 4.1.5. Kuru madde kaybı .....   | 44 |
| 4.1.6. mR değerleri .....   | 45 |
| 4.2. II. Deneme sonuçları .....   | 46 |
| 4.2.1. Sıcaklık .....   | 46 |
| 4.2.2. Nem Oranı .....  | 50 |
| 4.2.3. Organik madde miktarı.....   | 53 |
| 4.2.4. Kuru Madde Kaybı.....  | 56 |
| 4.2.5. II. Deneme pH ve EC ölçüm sonuçları.....                                   | 59 |
| 4.2.6. O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> miktarlarındaki değişimler .....         | 63 |
| 4.2.6. k, $\beta$ ve mR değerleri .....   | 67 |
| 5. SONUÇLAR.....  | 69 |
| 6. KAYNAKLAR .....  | 73 |
| 7. EKLER .....  | 77 |
| EK-1 Kompost karışımlarının hazırlanmasında kullanılan Excel çalışma sayfası..... | 77 |
| EK-2 k ve $\beta$ değerlerinin hesaplanması .....                                 | 81 |
| 8. ÖZGEÇMİŞ.....  | 82 |

**ÖZET****GÜL İŞLEME ATIKLARININ KOMPOSTLAŞTIRILMASINDA  
OPTİMUM C/N ORANLARININ BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR  
ARAŞTIRMA**

Isparta bölgesine özgü bir atık olan gül işleme atıkları, kompostlaştırma ile faydalı bir ürün haline getirilebilir. Böylece hem bu atıkların bertarafı sağlanırken, hem de toprak iyileştirici organik materyale dönüştürülmüş olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; (1) gül posası ile tavuk gübresi karışımının C/N oranı açısından dengeleyecek karbon (C) kaynağını (saman veya talaş) belirlemek; (2) en iyi C kaynağı belirlendikten sonra maksimum kompostlaştırmayı sağlayacak optimum başlangıç C/N oranını birinci dereceden kompost kinetiği modelini kullanarak belirlemektir. Birinci deneme’de kullanılan başlangıç C/N oranları; 10 (kontrol), 15 ve 20, II. Deneme de ise 15, 20, 25, 30 ve 35 değerleridir. Kompostlaştırma işlemi, I. ve II. Deneme için sırasıyla 30 ve 28 gün sürmüştür. Araştırmada nem içeriği (% y.b.), kül içeriği (%), pH, EC, toplam N değerleri ile, O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> üretimi; kompost sıcaklıkları ve kuru madde kayıpları ölçülmüştür.

Araştırmanın I. Deneme sonuçlarına göre, gül işleme atıkları tavuk gübresi ve her iki karbon kaynağı; talaş ve saman ile başarılı bir şekilde kompostlaştırılabildiği, saman ilaveli karışımların organik madde içeriği, kuru madde kaybı ve kompost olgunluk oranı (mR) değeri açısından istatistiksel olarak daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

II. deneme sonuçlarına göre, başlangıç C/N oranı yaklaşık 30 olan karışım organik maddedeki azalma, kuru madde kayıpları ve mR değerlerine göre en iyi sonucu vermiştir. C/N oranının fonksiyonu olarak en yüksek ayrışma ise 0.0319 gün<sup>-1</sup> değeri ile C/N=30.24 olduğunda elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kompostlaştırma, C/N Oranı, Gül İşleme Atıkları

**ABSTRACT****A RESEARCH ON DETERMINATION OF OPTIMUM C/N RATIO OF COMPOSTING OF ROSE PROCESSING WASTES**

Rose processing wastes, which is unique to the Isparta Region, could be transformed to a useful product. In this way, this waste is eliminated with a treatment and transformed to a organic substance which is a great soil conditioner.

The aims of this study are: (1)to determine best amendment (straw or sawdust) which balances the mixture of rose processing waste and poultry manure (2) to determine maximum decomposition rate as a function of C/N ratio of compost mixes by means of first order model. For the I. Trial, used initial C/N ratios were 10 (control), 15 and 20; and for the II. Trial 15, 20, 25, 30 and 35. Composting trials lasted 30 and 28 days respectively. Compost moisture, O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> release, pH, EC, total N, compost temperatures and dry matter loss were measured.

According to I. Trial results; rose processing wastes could be composted with poultry litter and both sawdust and straw as carbon resource. When considering degradation rate straw amended mixes are successful then sawdust amended ones, and degradation of C/N ratio = 20 was found statistically higher among all other C/N ratios.

According to II. Trial results; compost mix with C/N ratio  $\approx 30$  gave significantly higher results regarding organic matter increase (21.14), dry matter loss (33.37 %) and mR (0.49). Maximum decomposition occurred ( $0.033 \text{ day}^{-1}$ ) in the initial C/N ratio of  $\approx 30.24$ .

**Keywords:** Composting, C/N Ratio, Rose Processing Wastes

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı aşağıda belirtilen kişi ve kuruluşlara içtenlikle teşekkür ederim.

Akdeniz Üniversitesi Tarım Makinaları Bölümü'nde görev yapan Prof Dr. Osman YALDIZ ve ekibine, çalışmamızda alt yapı olanaklarını, cihaz ve sistemlerini kullanmamızı sağladıkları için,

Tez savunma jürisinde yer alan Yrd. Doç. Dr. Ali ÇOŞKAN' a katkıları için,

Araş. Gör. Recep KÜLCÜ 'ye yardım, destek ve katkıları için,

Araş. Gör. Ebru ONURSAL'a bir eşten fazlası olduğu için,

Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü'ne ve Yük. Jeoloji Müh. Hüseyin ŞENOL'a laboratuvar olanakları ve analizlere sağladıkları yardım için,

SDÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne proje sağladıkları maddi kaynak için (Bu araştırma SDÜ-BAP tarafından 05-YL-1044 numaralı proje ile desteklenmiştir),

SDÜ Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölüm Başkanlığı'na tez çalışmasının bir bölümünün Akdeniz Üniversitesi'nde gerçekleştirilmesini sağladıkları için,

Son olarak ve en önemlisi, danışman hocam Doç.Dr. Kamil EKİNCİ'ye tez çalışmasının her aşamasında sağladığı destek, ilgi ve sabrı için teşekkür ederim. O olmasaydı bu çalışmanın gerçekleşmesi mümkün olmayacaktı.



**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

|               |  |
|---------------|--|
| A             | Alan ( $m^2$ )   |
| BD            | Mayeryalin hacm ağırlığı ( $kg/m^3$ )                    |
| C             | Karbon   |
| C/N           | Karbon / Azot oranı                                      |
| EC            | Elektriksel iletkenlik (mS/cm)                           |
| FAS,          | Serbest boşluk oranı (free air space %)                  |
| GP            | Gül posası   |
| k             | Kompost materyali en yüksek ayrışma oranı ( $gün^{-1}$ ) |
| $m_c(\theta)$ | Kompost kuru kütlesi (kg)                                |
| $m_c(0)$      | Başlangıç kompost kuru kütlesi (kg)                      |
| $m_e$         | Kompost denge kütlesi (kg)                               |
| mR            | Kompost olgunluk oranı                                   |
| N             | Azot   |
| OM            | Organik madde  |
| Q             | Hava debisi  |
| S             | Saman  |
| SG            | Materyalin özgül ağırlığı ( $kg/m^3$ )                   |
| T             | Talaş  |
| TG            | Tavuk gübresi  |
| $t_{ortam}$   | Ortam sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )                          |
| V             | Hacim $m^3$  |
| $W_o$         | Kabın boş ağırlığı (kg)                                  |
| $W_{oc}$      | Kap + kompost ağırlığı (kg)                              |
| $W_{ocw}$     | Su ilave edilmiş kap+kompost+su ağırlığı (kg)            |
| $W_{ow}$      | Kabın su dolu ağırlığı (kg)                              |
| X             | Kurutmadan önceki örnek ağırlığı (kg)                    |
| Y             | Kurutmadan sonraki örnek ağırlığı (kg)                   |
| $\beta$       | Kinetik parametre  |
| $\theta$      | Kompostlaşma süresi (gün)                                |
| $\rho$        | Materyalin özgül ağırlığı ( $kg/m^3$ )                   |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 1.1. Basitleştirilmiş kompostlaştırma işlemi (Keener vd., 2000). .....                  | 2  |
| Şekil 1.2. Kompostlaştırma işleminin aşamaları (Keener vd., 2000). .....                      | 3  |
| Şekil 1.3. Alışlagelmiş kompostlaştırma işleminde materyal akışı (Keener vd.,<br>2000). ..... | 4  |
| Şekil 3.1. Gül işleme atıklarından bir görünüm .....  | 15 |
| Şekil 3.2. Denemede kullanılan materyaller A. Talaş B. Saman C. Gül posası.....               | 16 |
| Şekil 3.3. Kompostlaştırma reaktörü .....   | 21 |
| Şekil 3.4. Labview yazılımında geliştirilen program.....                                      | 22 |
| Şekil 4.1. GP+TG-10 karışım reaktörlerinde sıcaklığın zamanla değişimi. ....                  | 32 |
| Şekil 4.2. GP+TG+T-15 karışımında reaktörlere ait sıcaklığın zamanla değişimi. ....           | 32 |
| Şekil 4.3. GP+TG+S-15 karışımında reaktörlere ait sıcaklığın zamanla değişimi.....            | 33 |
| Şekil 4.4. GP+TG+T-20 karışımında reaktörlere ait sıcaklığın zamanla değişimi ....            | 33 |
| Şekil 4.5. GP+TG+S-20 karışımında reaktörlere ait sıcaklığın zamanla değişimi ....            | 34 |
| Şekil 4.6. GP+TG-10 karışımında, kompost nemindeki değişme .....                              | 36 |
| Şekil 4.7. GP+TG+T-15 karışımında, kompost nemindeki değişme .....                            | 36 |
| Şekil 4.8. GP+TG+S-15 karışımında, kompost nemindeki değişme.....                             | 37 |
| Şekil 4.9. GP+TG+T-20 karışımında, kompost nemindeki değişme .....                            | 37 |
| Şekil 4.10 GP+TG+S-20 karışımında, kompost nemindeki değişme.....                             | 37 |
| Şekil 4.11. GP+TG-10 karışımında organik maddedeki değişim.....                               | 38 |
| Şekil 4.12. GP+TG+T-15 karışımında organik maddedeki değişim.....                             | 38 |
| Şekil 4.13. GP+TG+S-15 karışımında organik maddedeki değişim .....                            | 39 |
| Şekil 4.14. GP+TG+T-20 karışımında organik maddedeki değişim .....                            | 39 |
| Şekil 4.15. GP+TG+S-20 karışımında organik maddedeki değişim .....                            | 39 |
| Şekil 4.16. GP+TG+10 karışımında ortalama pH nın zamanla değişimi .....                       | 41 |
| Şekil 4.17. GP+TG+T-15 karışımında ortalama pH nın zamanla değişimi.....                      | 41 |
| Şekil 4.18. GP+TG+S-15 karışımında ortalama pH nın zamanla değişimi .....                     | 41 |
| Şekil 4.19. GP+TG+T-20 karışımında ortalama pH nın zamanla değişimi.....                      | 42 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 4.20. GP+TG+S-20 karışımında ortalama pH nin zamanla değişimi .....                       | 42 |
| Şekil 4.21. GP+TG karışımında ortalama EC nin zamanla değişimi .....                            | 43 |
| Şekil 4.22. GP+TG+T-15 karışımında ortalama EC nin zamanla değişimi.....                        | 43 |
| Şekil 4.23. GP+TG+S-15 karışımında ortalama EC nin zamanla değişimi.....                        | 43 |
| Şekil 4.24. GP+TG+T-20 karışımında ortalama EC nin zamanla değişimi.....                        | 44 |
| Şekil 4.25. GP+TG+S-20 karışımında ortalama EC nin zamanla değişimi.....                        | 44 |
| Şekil 4.26. GP+TG+S-20-2 reaktörüne ait mR değerinin zamana bağlı olarak<br>değişimi .....      | 46 |
| Şekil 4.27. GP+TG-15 karışımında kompost sıcaklığının zamanla değişimi .....                    | 47 |
| Şekil 4.28. GP+TG+S-20 karışımında kompost sıcaklığının zamanla değişimi.....                   | 48 |
| Şekil 4.29. GP+TG+S-25 karışımında kompost sıcaklığının zamanla değişimi.....                   | 48 |
| Şekil 4.30. GP+TG+S-30 karışımında kompost sıcaklığının zamanla değişimi.....                   | 49 |
| Şekil 4.31. GP+TG+S-35 karışımında kompost sıcaklığının zamanla değişimi.....                   | 49 |
| Şekil 4.32. GP+TG+S-15 karışımında kompost neminin değişimi. ....                               | 50 |
| Şekil 4.33. GP+TG+S-20 karışımında kompost neminin değişimi. ....                               | 51 |
| Şekil 4.34. GP+TG+S-25 karışımında kompost neminin değişimi. ....                               | 51 |
| Şekil 4.35. GP+TG+S-30 karışımında kompost neminin değişimi. ....                               | 52 |
| Şekil 4.36 GP+TG+S-35 karışımında kompost neminin değişimi. ....                                | 52 |
| Şekil 4.37. GP+TG+S-15 karışımında organik maddenin (%) haftalık değişimi. ....                 | 53 |
| Şekil 4.38. GP+TG+S-20 karışımında organik maddenin (%) haftalık değişimi. ....                 | 53 |
| Şekil 4.39. GP+TG+S-25 karışımında organik maddenin (%) haftalık değişimi. ....                 | 54 |
| Şekil 4.40. GP+TG+S-30 karışımında organik maddenin (%) haftalık değişimi. ....                 | 54 |
| Şekil 4.41. GP+TG+S-35 karışımında organik maddenin (%) haftalık değişimi. ....                 | 55 |
| Şekil 4.42. GP+TG+S-15 karışımında ortalama kuru madde miktarlarının haftalık<br>değişimi ..... | 56 |
| Şekil 4.43. GP+TG+S-20 karışımında ortalama kuru madde miktarının haftalık<br>değişimi .....    | 57 |
| Şekil 4.44. GP+TG+S-25 karışımında ortalama kuru madde miktarının haftalık<br>değişimi .....    | 57 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 4.45. GP+TG+S-30 karışımında ortalama kuru madde miktarının haftalık değişimi .....             | 58 |
| Şekil 4.46. GP+TG+S-35 karışımında ortalama kuru madde miktarının haftalık değişimi .....             | 58 |
| Şekil 4.47. GP+TG+S-15 karışımında pH nın zamanla değişimi .....                                      | 60 |
| Şekil 4.48. GP+TG+S-20 karışımında pH nın zamanla değişimi .....                                      | 60 |
| Şekil 4.49. GP+TG+S-25 karışımında pH nın zamanla değişimi .....                                      | 60 |
| Şekil 4.50. GP+TG+S-30 karışımında pH nın zamanla değişimi .....                                      | 61 |
| Şekil 4.51. GP+TG+S-35 karışımında pH nın zamanla değişimi .....                                      | 61 |
| Şekil 4.52. GP+TG+S-15 karışımında EC nin zamanla değişimi .....                                      | 62 |
| Şekil 4.53. GP+TG+S-20 karışımında EC nin zamanla değişimi .....                                      | 62 |
| Şekil 4.54. GP+TG+S-25 karışımında EC nin zamanla değişimi .....                                      | 62 |
| Şekil 4.55. GP+TG+S-30 karışımında EC nin zamanla değişimi .....                                      | 63 |
| Şekil 4.56. GP+TG+S-35 karışımında EC nin zamanla değişimi .....                                      | 63 |
| Şekil 4.57. GP+TG+S-15 karışımında ortalama O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> konsantrasyonları ..... | 64 |
| Şekil 4.58. GP+TG+S-20 karışımında ortalama O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> konsantrasyonları ..... | 65 |
| Şekil 4.59. GP+TG+S-30 karışımında ortalama O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> konsantrasyonları ..... | 66 |
| Şekil 4.60. C/N oranına bağlı olarak ayrışma hızının değişimi .....                                   | 68 |

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

|  |    |
|--|----|
| Çizelge 2.1 Tosun vd., (2003) çalışmalarında kullandıkları karışım oranları.....                               | 9  |
| Çizelge 3.1. Isparta’da hasat edilen gül çiçeğinin ve oluşan posanın yıllara göre dağılımı (Tosun, 2003) ..... | 16 |
| Çizelge 3.2. Denemede kullanılan materyallerin özellikleri .....   | 17 |
| Çizelge 3.3. I. Deneme’de hazırlanan karışım oranları .....  | 18 |
| Çizelge 3.4. I. Deneme karışımlarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....                               | 19 |
| Çizelge 3.5. II. Deneme’ de hazırlanan karışım oranları .....  | 20 |
| Çizelge 3.6. II. Deneme başlangıç karışımlarının çeşitli özellikleri.....                                      | 20 |
| Çizelge 4.1. Gül posasının ağır metal içerikleri .....   | 30 |
| Çizelge 4.2. Organik madde miktarlarındaki toplam azalma.....  | 40 |
| Çizelge 4.3. I. Deneme için kuru madde miktarındaki azalma .....   | 45 |
| Çizelge 4.4. I. Deneme’ de hesaplanan mR değerleri.....  | 45 |
| Çizelge 4.5. Elektrik kesintilerinden dolayı sıcaklık verilerinin alınamadığı süre.....                        | 47 |
| Çizelge 4.6. Organik madde miktarlarındaki toplam azalma (%).....  | 55 |
| Çizelge 4.7. Kuru madde miktarlarındaki toplam azalma (%).....   | 59 |
| Çizelge 4.8. II Denemeye ait kinetik parametreler ve mR.....   | 67 |

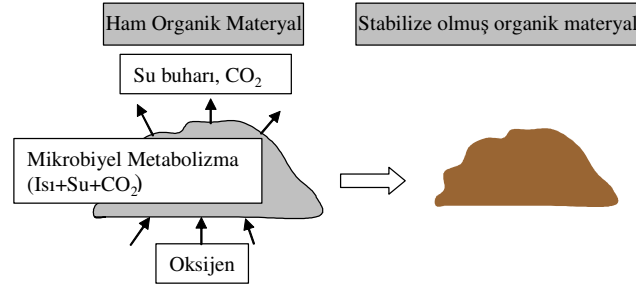
## 1. GİRİŞ

Son yıllardaki endüstriyel gelişmeler çevresel atık problemini de beraberinde getirmiştir. Çevresel atıkların (endüstriyel, evsel ve tarımsal) yok edilmesi veya değerlendirilmesi, günümüz toplumları için kaçınılmaz hale gelmiştir. Örneğin, Isparta iline ait katı atıklar; gül işleme atıkları, meyve ve sebze atıkları, hayvan gübresi, şehirsels atıklar, atık su arıtma çamurları, mezbaha atıkları olarak sıralanabilir. Birçok gelişmiş ülkede katı atıklar, kompostlaştırma işlemi ile yararlı, kullanılabilir ve ekonomik ürünlere dönüştürülmektedir. Ancak ülkemizde ne yeterli sayıda büyük ölçekli kompost tesisi ne de yeterli sayıda kompostlaştırma işlemi konusunda araştırma bulunmaktadır. Bunun yanında var olan büyük ölçekli kompost tesislerinin de ekonomik olarak işletildiği söylenemez. Bu sistemlerin ekonomik olarak işletilmesi hem yatırımcı hem de üretici açısından çok önemlidir. Kompostlaştırma, fiziksel, biyolojik ve kimyasal bir işlem olduğundan etkili birçok faktör bulunmaktadır (Rynk, 1992). Özellikle bu faktörlerden; sıcaklık, havalandırma, nem kontrolü, yığın yüksekliği, başlangıç nemi ve organik materyale ait kinetik parametreler kompostlaştırma işleminin ekonomik olarak yürütülmesinde büyük öneme sahiptirler. Kompost üreten işletmelerin ekonomik olarak işletilmesi için kompostlaştırma işlemine etki eden bu faktörlerin optimum noktada olması gerekir (Haug, 1993). Bu faktörlerin büyük ölçekli kompost tesislerinde optimizasyonunu sağlamak mümkün değildir. Kompostlaştırma işlemine etki eden faktörleri veya kompostlaştırma işlemi esnasında meydana gelen problemleri laboratuvar koşullarında araştırılıp sonuçların endüstriye aktarılması en uygun görülen yöntemdir.

### 1.1. Kompostlaştırma işlemi ve aşamaları

Kompostlaştırma; aerobik, yani oksijen gerektiren bir işlemdir ve kontrollü koşullarda organik maddelerin ayrışmasına denir. Kompostlaştırma işlemi sırasında mikroorganizmalar organik materyal ayrıştırırken oksijen kullanır. Aktif kompostlaştırma sırasında önemli ölçüde ısı, karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve su buharı (H<sub>2</sub>O) üretilmektedir. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve su buharı (H<sub>2</sub>O) üretiminin miktarı başlangıç

materyal ağırlığının yarısı kadar olabilir. Kompostlaştırma da işlem sırası şöyledir: biyokimyasal reaksiyonun gerçekleşebilmesi için mikroorganizma  $O_2$ 'yi kullanır ve bunun sonucu olarak ısı enerjisi üretir. Üretilen ısı enerjisi ortamdaki suyu buharlaştırarak uzaklaştırır ve kompost materyalinin yavaş yavaş kurumasını sağlar. Bu işlem sonucu oluşan kompost; toprak iyileştirici, organik gübre veya toprak kökenli mikroorganizmaların kontrolü için kullanılabilir (Keener vd., 2000). Kompostlaştırma işleminin uygun bir şekilde kontrol edilmesiyle patojenik mikroorganizmalar yok edilmekte ve organik atıkların kütlesinde ve hacminde azalma meydana gelmektedir (Rynk, 1992). Etkif bir kompostlaştırma işlemiyle (fiziksel, biyolojik ve kimyasal faktörlerin aynı zamanda kontrol edilmesiyle) sistemde oluşan kötü koku ve toz önlenmektedir (Ekinci vd., 2004). Basitleştirilmiş bir kompostlaştırma işleminin safhaları Şekil 1.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Basitleştirilmiş kompostlaştırma işlemi (Keener vd., 2000).

Kontrollü koşullarda kompostlaştırma işlemi kompostlaştırma ve olgunlaşma aşaması olmak üzere iki ana aşamadan meydana gelir (Chen ve Inbar, 1993). Bu aşamalar Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Kompostlaştırma aşaması ise üç alt aşamadan meydana gelir.

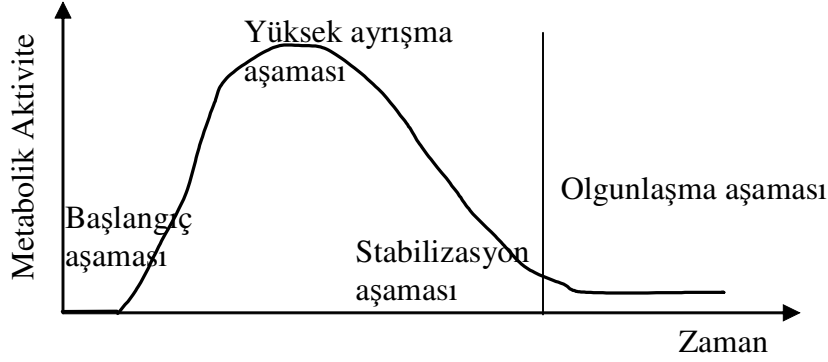
1) Başlangıç aşaması: Bu aşama 1-3 gün sürer. Basit şeker, nişasta ve protein gibi bileşikler mezofilik mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılır. Sıcaklık çok hızlı bir şekilde yükselir.

2) Yüksek ayrışma aşaması: Bu aşama 10-100 gün sürer. Yağlar, hemiselüloz, selüloz, ve bazı ligninler termofilik mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılır.

Sıcaklık 40 °C nin üzerine çıkar ve bu aşamada patojenik mikroorganizmalar yok edilir. Oksijen tüketimi ve CO<sub>2</sub> üretimi en yüksek noktaya çıkar. Eğer kompostlaştırma işlemi iyi bir şekilde kontrol edilemezse yüksek miktarlarda NH<sub>3</sub>-N gazı ve diğer gazların çıkışı olur.

3) Stabilizasyon aşaması: Bu aşama da 10-100 gün sürer. Hemiselüloz, selüloz, ve bazı ligninler ayrışmaya devam eder ve sıcaklık düşer.

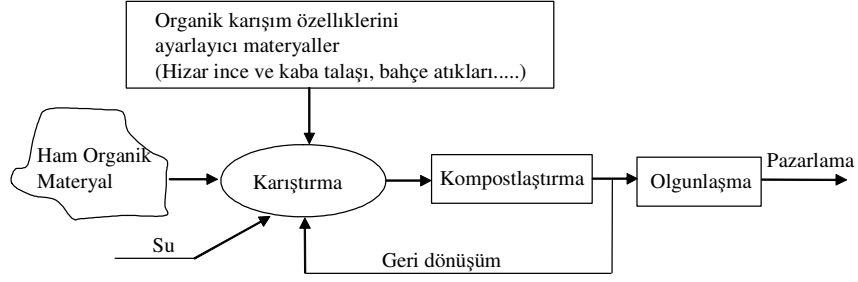
Olgunlaşma aşamasında mezofilik mikroorganizmalar yeniden koloni oluştururlar. Olgunlaşma aşaması en az 1 ay, genellikle 3-6 ay sürmektedir. Herhangi bir aşamanın süresi, kompostlaştırılacak organik materyal, karbon/azot oranı (C/N oranı), parçacık büyüklüğü, karıştırma sıklığı ve diğer bir çok faktöre bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 1.2. Kompostlaştırma işleminin aşamaları (Keener vd., 2000).

Şekil 1.3'de alışlagelmiş kompostlaştırma sistemlerinde materyal akışı verilmiştir. C/N oranı, nem, pH gibi faktörler dikkate alınarak bir karışım hazırlamak için ana materyal, karışım ayarlayıcılar (amendment), geri dönüştürülmüş kompost materyali (recycled compost material) karıştırılır. Daha sonra, kompostlaştırmanın başlaması için yığın yapılır veya reaktöre doldurulur. Kullanılan kompost sistemine bağlı olarak, günlük, her 3 veya 4 günde bir, haftalık veya aylık periyotlarda karıştırılır. Oluşan komposttan çok az veya hiç ısı çıkışı gözlenmezse materyal stabilize olmuş demektir ve olgunlaşma aşamasına geçilir (Ekinci vd., 2004).





Şekil 1.3. Alışılmış kompostlaştırma işleminde materyal akışı (Keener vd., 2000).

Kompostlaştırma sistemleri statik yığın, havalı statik yığın, çevrilen namlu, havalı çevrilen namlu, reaktör ve tünel kompost sistemleri olarak sınıflandırılabilir. En iyi teknolojiyi temsil eden sistem seçimi kompostlaştırılacak materyal çeşidine, çevresel ve ekonomik faktörlere bağlıdır. Bunun yanında, başarılı bir kompostlaştırma sadece ve sadece kompostlaştırma sistemlerinin iyi yönetilmesiyle gerçekleştirilebilir (Keener vd., 2000).

Isparta ilinde, gül yağı işlemeden dolayı meydana gelen yıllık atık miktarı yaklaşık 27 000 ton civarındadır (Tosun, 2003). Bu atık, yukarıda bahsedilen kompostlaştırma teknolojisi ile yararlı, kullanılabilir, ekonomik ve çevre dostu bir ürün olan komposta dönüştürülebilir. Tavuk gübresi, tarım sektörünün önemli bir atığıdır ve çevresel risk (hava kirliliği, toprak kirliliği vb.) taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı; (1) gül posası ile tavuk gübresi karışımının C/N oranı açısından dengeleyecek karbon (C) kaynağını (saman veya talaş) belirlemek; (2) en iyi C kaynağı belirlendikten sonra maksimum kompostlaştırmayı sağlayacak optimum başlangıç C/N oranını birinci dereceden tek parçalı kompost kinetiği modelini kullanarak belirlemektir.

## 2. KAYNAK BİLGİSİ

Vuorinen ve Saharinen (1997), süt sğırı gübresi ve arpa samanı karışımını, sürekli tambur kompostlaştırma sisteminde dört seri halinde kompostlaştırma işlemine yürütmüşlerdir. Deney, aktif ve üç ay süren stabilizasyon aşamasından oluşmaktadır. Deney süresince, yukarıda bahsedilen aşamalarda komposta ait mikrobiyolojik ve kimyasal özellikler ölçülmüştür. Fekal koliform ve fekal streptokokkinin yok edilmesiyle belirlenen hijenleştirme, kompostlaştırmanın ilk yedi gününde gerçekteşmiştir. Kompostlaştırma süresince C/N oranı 22.6-28.5 den 12.7-13.6 ya kadar düşmüştür. Yaklaşık olarak 7 günlük aktif kompostlaştırma periyodunda başlangıç toplam karbon içeriğinin %11-27 lik kısmı azalırken, tüm kompostlaştırma süresince ise %63-66 azalma kaydedilmiştir. Araştırmacılar toplam N de ise %13-23 ile %23-37 azalma bildirmişlerdir

Ekinci vd. (2000), kağıt imalat işleminin atık ürünü olan kısa lifli kağıt atıkları (SPF) ile tavuk gübresinin (BL) kompostlaştırılmasında, başlangıç C/N oranlarının ve pH seviyelerinin amonyak emisyonuna olan etkilerini, 208 l hacmindeki laboratuvar ölçekli sistemde araştırmışlardır. SPF sahip olduğu yüksek C/N oranı (>200:1) nedeniyle, yüksek miktarda azot içeren BL (C/N < 12:1) ile değişik C/N oranlarını sağlamak amacıyla karışımlar hazırlanmıştır. Toplamda yedi seri (27 test) olarak yürütülen bu çalışmada, pH yı istenilen seviyelerde ayarlamak için alüminyum sülfat ve sülfirik asit kullanılmıştır. Bu sistemde; reaktör sıcaklıkları, O<sub>2</sub> cıkışı ve CO<sub>2</sub> retimi, NH<sub>3</sub> cıkışı ve kuru madde kayıpları incelenmiştir. Araştırma da 5 farklı C/N oranı (17, 20, 30, 44, ve 49) kullanılmıştır. Deney sistemlerinde varil içindeki kompost sıcaklığı iki aşamalı fan ayarlaması ile kompostlaştırma işlemi süresince 60°C de kontrol edilmiş, materyalin başlangıç nem içeriği %50-55 arasında ve pH değeri 7-8 arasında olacak şekilde ayarlanmıştır. Her bir deneme, NH<sub>3</sub>-N kayıplarının sıfıra ulaştığı zamana bağlı olarak 11, 14 ve 17 gün sürdürülmüş ve haftada iki kez karıştırma yapılmıştır. Amonyak emisyonlarının başlangıç C/N oranı ve pH nın fonksiyonu olarak incelenmesinin sonucunda; (1) başlangıç C/N oranının artması ile NH<sub>3</sub>-N kayıplarının azaldığı ve (2) başlangıç pH sı 7 nin altında olduğunda NH<sub>3</sub>-N kayıplarının azaldığı ve başlangıç pH sı 8 in üzerinde olduğunda NH<sub>3</sub>-N kayıplarının arttığı tespit edilmiştir.

Larsen ve McCartney (2000), farklı başlangıç C/N oranlarının (20, 30, 50, 90) kağıt fabrikası atıklarının küçük ölçekli sistemlerde kompostlaştırılması üzerine etkilerini araştırmışlardır. Deneyler 10 cm çapında ve 30 cm yüksekliğinde 4 adet reaktörde gerçekleştirilmiştir. Reaktörler, izole edilmiş bir kutu içerisine yerleştirilmiş ve daha sonra bu kutuda ortam sıcaklığı (35°C) kontrol edilebilen izole edilmiş kabinlere yerleştirilmiştir. Reaktörlere hava, devir kontrollü hava pompası ile saniyede 15 ml debi ile bir saatte 5 dakika süre ile sağlamıştır. Kâğıt fabrikası atıkları, ticari gübre (azot miktarını dengelemek için) ve ağaç kabuğu (tekstür sağlamak amacıyla 1 kg yaş ağırlıktaki biokütle için 0.75 kg ağaç kabuğu) karıştırılmıştır. Deney başlangıcında yapılan analiz sonuçlarına göre hedeflenen (90, 50, 30 ve 20) ve gerçek C/N (107, 55, 29, 18) oranları arasında farklılık ortaya çıkmıştır. Veriler C/N oranı ile ısı üretimi arasında ve C/N oranı ile uçucu katı madde kayıpları arasında güçlü bir negatif lineer ilişki ( $R^2=0.98$  ve  $0.84$ , sırasıyla) ayrıca C/N oranı ile N tutulması arasında güçlü bir doğrusal olmayan bir ilişki ( $\% \text{ tutulma} = 101 (1 - 0.92^{C/N})$ ;  $r^2 = 0.71$ ;  $n=12$ ) göstermiştir.

Eiland vd. (2001), başlangıç C/N oranlarının, samanın uzun dönem kompostlaştırılmasında, kimyasal ve mikrobiyel kompozisyon üzerine etkilerini incelemişlerdir. Parçalanmış samanın domuz sıvı gübresi ile çeşitli oranlarda karıştırılması ile farklı C/N oranları (11, 35, 47, 50 ve 54) elde edilmiştir. Kompostlaştırma işlemi üst ve alt yüzeyleri pasif havalandırma amacıyla açık bırakılmış, diğer yüzeylerinde ise ısı yalıtımı sağlanmış 800 L lik kasalarda gerçekleştirilmiştir. Kompostlaştırma işlemi 12 ay sürdürülmüştür. Çalışmada, düşük C/N oranlarının, kompostlaştırmanın ilk üç ayı sonunda liflerin hızlı olarak ayrışmasına neden olduğu (hemiselüloz % 50-80 ve selüloz % 40-60) yüksek C/N oranlarının ise hem hemiselüloz hem de selülozun % 10- 20 oranlarında ayrışması ile sonuçlandığını belirtmişlerdir.

Tiquia ve Tam (2001), tavuk gübresi ile ağaç rende talaşı, besi atıkları ve tüy karışımı havalandırılmalı statik yığın sisteminde kompostlaştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre; tavuk gübresinin Cu, Zn, P, K ve  $\text{NO}_x\text{-N}$  içeriklerinde göreceli olarak artış gözlenirken; mikrobiyel populasyon, C, OM ve suda çözünebilir Cu, Zn,

ve  $\text{NH}_4\text{-N}$  içeriklerinde azalma kaydedilmiştir. Araştırmada yığın sıcaklıklarının ortam sıcaklıklarına ulaşması kompostlaştırma işleminin 128. gününde gerçekleştiği bildirilmiştir. Başlangıç N miktarının % 58 lik kısmı kompostlaştırma işleminde kaybedilmiş ve tavuk gübresi kompostunun gübre değerini azaltmıştır. Fakat kompost, kompostlaştırılmayan tavuk gübresi ile karşılaştırıldığında daha yüksek organik madde değerine sahip olduğu ve kompostlaştırma ile çözünebilir besin elementlerini daha stabil organik formlarına dönüştürerek tarım alanlarına uygulanmasının kolaylaştırıldığı bildirilmiştir.

Wong vd. (2001), soya fasulyesi artıkları ile yapraklarının kompostlaştırılmasını ve karıştırma sıklığının kompost kalitesine etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla soya fasulyesi küspesi ile yaprakları talaş ile yaş ağırlık bazında 1:1:3 oranında karıştırılarak C/N oranı yaklaşık 30 olan karışım elde etmişlerdir. Yaklaşık 4 m<sup>3</sup> hacminde 3 yığında yürütülen çalışmada; yığın A, her gün karıştırılırken, yığın B her üç günde bir ve yığın C haftalık olarak karıştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, değişik karıştırma sıklıkları kompostlaştırma süresince pH değerlerini etkilememiştir. Yüksek karıştırma sıklığı düşük elektriksel iletkenliğe ve daha kısa termofilik faza sebep olmuştur. En yüksek C ayrışması ise % 4 lük değer ile 3 günlük karıştırma sıklığında elde edilmiştir. Değişik karıştırma sıklığına sahip tüm uygulamalar suda çözünebilir organik karbon, C/N oranı ve çimlenme indeksiyle belirlenen olgunluk seviyelerine gün 63 de ulaşmışlardır. Araştırmacılar, sabit ve değişken işletme giderlerini dikkate alarak en uygun karıştırma sıklığının bu materyal için 3 gün olarak belirlemişlerdir.

Ekinci vd. (2002), çalışmalarında, kısa lifli kağıt atıkları (SPF) ile tavuk gübresinin (BL) kompostlaştırılmasında değişik başlangıç C/N oranları ve karışım oranlarının optimizasyonunu incelemişlerdir. Bu amaçla, kinetik parametreler; kompost denge değeri ve ayrışma hızı, değişik C/N oranları ve karışım oranlarında hesaplanmıştır. Araştırmacılar, deneylerinde 208 L hacminde izole edilmiş paslanmaz çelik variller kullanmışlardır. Yaklaşık 9 ay süren denemeler 5 seri (19 test) olarak yürütülmüştür. Araştırmada 5 farklı C/N oranı (17, 20, 30, 44, ve 49) kullanılmıştır. Deney sistemlerinde varil içindeki kompost sıcaklığı iki aşamalı fan ayarlaması ile

kompostlaştırma işlemi süresince 60 °C de kontrol edilmiş, materyalin başlangıç nem içeriği %50-55 arasında ve pH değeri 7-8 arasında olacak şekilde ayarlanmıştır. Her bir deneme, NH<sub>3</sub>-N kayıplarının sifira ulaştığı zamana bağlı olarak 11, 14 ve 17 gün sürdürülmüş ve haftada iki kez karıştırma yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, kuru madde kaybına dayanarak maksimum ayrışma C/N oranı 30–38 aralığında ortaya çıkmıştır. Maksimum ayrışma birinci derece kinetik modele göre 0.11 kg kg<sup>-1</sup> gün<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Kısa lifli kağıt atıklarının kompostlaştırılmasında en uygun karışım oranı 0.7 (7 kısım SPF ve 3 kısım BL ) olduğu ve bu değer C/N oranının yaklaşık 35 olduğu noktaya karşılık geldiğini tespit etmişlerdir.

Ingliš vd. (2002), 83 sığır kapasiteli tesisin gübrelerinin havalandırmalı statik yığın sisteminde, talaş ve saman ilave ederek kompostlaştırılmasını sıcaklık geri beslemeli havalandırma kontrolü ile sağlamışlardır. Çalışmalarında, bu tür sistemler için geliştirdikleri bilgisayarlı kontrol sisteminin avantajlarını ve dezavantajlarını ortaya koymayı amaçlamışlardır. Sistemlerinde 2.4x12.2x1.8 m boyutlarındaki 12 adet yığının sıcaklık ayar noktasını 60°C olarak ayarlamışlardır. Araştırmacılar geleneksel metin tabanlı programlama dillerine göre öğrenilmesi daha kolay olan görsel programlama yazılım olarak LabVIEW 6i programını tercih etmişlerdir. Sistemlerinin sürekli olarak çalıştığı ilk sekiz aylık bölümde hemen hemen sorunsuz olarak çalışabildiğini ve sistemin ilk yatırım maliyetinin ticari otomatik kontrol sistemleri ile karşılaştırarak, ekonomik açıdan uygunluğunu ortaya koymuşlardır.

Sadaka ve El-Taweel (2003), Mısır' da evsel atıkların kompostlaştırılmasında C/N oranları ve havalandırma miktarlarının etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar tarafından 40x40x40 cm boyutlarında izole edilmiş ve tabanında delikli plaka bulunduran 3 ahşap reaktör, 9 eşit parçaya bölünerek 27 deneysel birim elde edilmiştir. Bu çalışmada üç farklı havalandırma oranı (0.000 0.003 ve 0.006 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>), üç farklı C/N oranıyla (11, 26 ve 39) üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Materyalin C/N oranlarını ayarlamak için talaş kullanılmıştır. Araştırmacılar; kompostlaştırma işleminin ikinci ve üçüncü haftaları arasında sıcaklıkların termofilik faza ulaştığını ve en yüksek sıcaklık değerini (68 °C) C/N oranı 26 ve havalandırma oranı 0.003 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>kg<sup>-1</sup> olan birimde elde edilmiştir. Nem içeriğinin kompostlaştırma

süresince tüm birimlerde azaldığı ve bu azalmanın C/N oranlarına bağlı olarak değişimi önemsiz bulunurken; C/N oranlarındaki maksimum azalmanın (%33) C/N oranının 39 ve havalandırma oranının  $0.006 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{kg}^{-1}$  olduğu birimde elde edildiği belirtilmiştir.

Sasaki vd. (2003), atık yağların kompostlaştırılmasında C/N oranlarının ve pH değerlerinin etkilerini araştırmışlardır. Denemelerinde ticari olarak kullanılan bir kompostlaştırma sistemi, materyal olarak ise soya fasulyesi yağı, talaş, ve işlem süresince pH'yı kontrol edebilmek için çeşitli kimyasallar kullanmışlardır. Araştırmada yağların ayrışması esnasında pH'nın kontrol edilmediği durumda, pH'nın 2 ye kadar düştüğü ve yağların ayrışmasının durduğu, bu nedenle pH'nın çeşitli ilavelerle 7 seviyesinde tutulması gerektiği belirtilmiştir. Denemelerde C/N oranları 5, 10, 20, 40 ve 80 oranlarında ayarlanmış ve yağların ayrıştırılması için C/N oranlar 10, 20 ve 40 arasında önemli bir farklılık olmadığı, ancak bu değerlerde 5 ve 80 lik oranlardaki yağ ayrışmasına göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Başlangıç yağ içeriğine göre ayrışma oranının % 83.5'e kadar ulaştığı gözlenmiştir. Araştırmacılar sonuç olarak, yağların ayrışmasında en uygun C/N oranlarının 10 ile 40 arasında olduğunu ve bu geniş aralığın hassas kontrollerin olmadığı basit sistemler için avantaj olabileceğini bildirmişlerdir.

Tosun vd. (2003), çalışmalarında gül posasının kompostlaştırılmasında aşı ve gözenek malzemesinin etkilerini araştırmışlardır. Aşı malzemesi olarak ise ayrılmış posa ve evsel katı atık kompostu kullanılmıştır. Gözenek malzemesi ise  $2 \times 2 \times 1.5 \text{ cm}$  boyutlarında gürgenden yapılmış malzeme kullanılmıştır. Bu amaçla araştırmacılar laboratuvar ölçekli 65 l hacminde, cam yünü ile izolasyonu sağlanmış 3 adet reaktör kullanmışlardır. Araştırmacıların kullandıkları karışımlar Çizelge 2.1 de verilmiştir:

Çizelge 2.1 Tosun vd., (2003) çalışmalarında kullandıkları karışım oranları

| Reaktör No | Posa<br>Kg (%) | Aşı<br>Kg (%)                     | Gözenek<br>Kg (%) |
|------------|----------------|-----------------------------------|-------------------|
| R1         | 3 (%60)        | 1 (%20) Ayrılmış posa             | 1 (%20.0)         |
| R2         | 3 (%50)        | 1(%16.7) Evsel Katı Atık kompostu | 2 (%33.3)         |
| R3         | 3 (%50)        | 1 (%16.7)Ayrılmış posa            | 2 (%33.3)         |

Parantez içindeki değerler % olarak karışımdaki oranı belirtmektedir.

Kompostlaştırma süresince her bir reaktörde oluşan sıcaklık profilleri farklı seyretmiştir. Maksimum sıcaklık seviyelerine (60-70 °C) 3-4 günde ulaşılmış ve yaklaşık 45 günde stabilizasyonun tamamlandığı tespit edilmiştir. Her bir karıştırma sonrasında ulaşılan maksimum sıcaklıklar bir öncekinden daha düşük seviyede kalmıştır. Kompostlaştırma sonunda organik madde miktarı %70 den %60 seviyesine düşmüştür. Karışımların C/N oranı ise 12-15 civarında iken, kompostlaştırma ilerledikçe 6-6,5 seviyelerine düşmüştür.

Ekinci vd. (2004), kağıt değirmen atıkları (PS) ile tavuk gübresi (BL) karışımının kompostlaştırılmasında, kompostlaştırma sıcaklığı ve başlangıç kompost neminin ayrışma hızına olan etkilerini laboratuvar ölçekli bioreaktör-inkübatör sisteminde araştırmışlardır. Denemeler 10 adet 4 L hacmindeki reaktör ile, 5 farklı kompostlaştırma sıcaklığında (35, 45, 55, 60 ve 65 °C) ve 5 farklı nem değerinde (30, 35, 40, 45 ve 50 % y.b.) iki tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Ayrışma hızlarının hesaplanabilmesi için her bir reaktörden alınan hava, 200 ml 3 N NaOH içerisinden geçirilerek tutulan CO<sub>2</sub> miktarı 0.7 N HCl ile titre edilerek hesaplanmıştır. Mikrobiyel ayrışmanın kompostlaştırma sıcaklığı ve nem içeriğine göre yapılan regresyon analizine göre; ayrışmanın en yüksek olduğu noktanın 58°C sıcaklıkta ve % 44 nem içeriği seviyesinde ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Huang vd. (2004), domuz gübresinin talaş ile kompostlaştırılmasında C/N oranının etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada kullanılan talaş miktarını minimize edebilmek amacıyla düşük C/N oranlarında, domuz gübresi-talaş karışımının ayrışmasını incelenmiştir. Başlangıç C/N oranı 30 (Yığın A) ve 15 (Yığın B) olacak şekilde, domuz gübresi ve talaş karışımlarını (sırasıyla yaş ağırlık bazında 3:2 ve 4:1 oranlarında) 2 adet havalandırılmalı statik yığında kompostlaştırmışlardır. Deney sonucunda, Yığın A'ya göre daha fazla domuz gübresi içeren Yığın B' de sıcaklıkların daha yavaş arttığı, maksimum sıcaklığın daha düşük olduğu ve termofilik fazın daha kısa sürdüğü gözlenmiştir. Kimyasal ve biyolojik analizler sonucunda Yığın A'nın 49. gün sonunda olgunluğa eriştiği ancak Yığın B'nin (daha fazla miktarda N içerdiği için) 63. gün sonunda dahi bu olgunluğa erişmediği

belirtilmiştir.

Iranzo vd. (2004), yaptıkları çalışmada pirinç samanı ile arıtma çamurunun kompostlaştırma işlemine uygunluğunu araştırmışlardır. Araştırmacılar, yörelerinde (Valencis, İspanya) bulunan, her sonbaharda yaklaşık 100 milyon kg miktarındaki çeltik kavuzunun bertarafı için yine problemlili bir atık olan arıtma çamuru ile birlikte kompostlaştırılmasını araştırmışlardır. Bu amaçla, bu atıkların fiziksel, biyolojik ve mikrobiyolojik özelliklerini incelemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre; arıtma çamurunun düşük C/N oranı yüksek miktarda N ve P içeriği bu atığı tarımsal amaçlı kullanım için değerli bir ürün olabileceğini ortaya koyarken, atığın içerdiği ağır metal içeriğinin yüksek miktarda olduğu ancak yine de yürürlükte olan sınır limitlerini aşmadığı belirtilmiştir. Bu atığın kompostlaştırma işlemine uygun hale getirmek amacıyla C/N oranı ve nem içeriğinin kabul edilebilir seviyelere ayarlanması için strüktür sağlayıcı bir materyal ile karıştırılması gerektiği vurgulanmıştır. Araştırmacılar ham materyal karışımlarından üç farklı C/N oranında (17, 24 ve 40) hazırladıkları karışımları kavanozlar içinde mikroorganizmaların solunum aktivitesini incelemişlerdir. Ayrıca 500 g lık karışım materyalinin 43°C de 72 saat ve 62°C de 48 saat inkübe ederek patojen mikroorganizmaları incelemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre C/N oranının pirinç samanı ve arıtma çamuru karışımında, mikrobiyal aktivite üzerinde önemli derecede etkili olduğu ve düşük C/N oranlarında yüksek miktarda O<sub>2</sub> tüketimi olduğunu belirtmişlerdir.

Suzuki vd. (2004), orman arazilerinin imara açılması ile ortaya çıkan ağaç atıklarının, geleneksel olarak yakılarak yok edilmesi yerine, kompostlaştırılarak değerlendirme olanaklarını araştırmışlardır. Bu çalışmalarında, kaba talaşın (wood chip) çeşitli organik ve inorganik (tavuk gübresi, yemek atıklarından elde edilen kompost, kömür uçucu külü, kömür cüruf külü, volkanik kül ve mangal kömürü (charcoal) ile karıştırılarak kompostlaştırma olanaklarını araştırmışlardır.. Kompostlaştırma; 6 m<sup>3</sup> hacminde 2,2 m çapında 1.6 m yüksekliğinde ticari reaktörde 5 aylık sürede gerçekleşmiştir. Kompostlaşma işleminden sonra reaktörler boşaltılmış ve kompost 6 ay olgunlaşma fazında bırakılmıştır. Araştırmacılar, kompostlaştırma işleminin başarı göstergesi olarak aşağıdaki özellikleri



kullanmışlardır: pH, EC, toplam C, toplam N, C/N oranı, CEC, % kül içeriği, % humik asit içeriği (PQ) ve olgunluk göstergesi olarak Çin lahanası (*Brassica campestris*) tohumlarının fide gelişimini göz önüne almışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, ağaç atıklarının değişik materyaller ile kompostlaştırılabilir olarak bulunmuştur. Araştırmacılar bu amaçla tavuk gübresinin daha uygun olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, bu materyallerden hazırlanmış olan kompostun olgunluk göstergesi olarak C/N oranının <14 olması ve PQ değerinin >65 olması gerektiğini bildirmişlerdir.

Zhang ve He (2005), domuz gübresinin değişik oranları ile çam talaşının birlikte kompostlaştırılmasını incelemişlerdir. Araştırmacılar kompostlaştırma işleminde çeşitli fiziko-kimyasal parametreleri (yığın sıcaklığı, pH, elektriksel iletkenlik (EC, nem içeriği, toplam organik madde, toplam azot ve toplam fosfor) incelemişlerdir. Araştırmacılar sistem olarak 100.5 l hacminde kaya yünü ile ısı izolasyonu sağlanmış 4 adet reaktör kullanmışlardır. Reaktör tabanından 100 mm yükseklikte delikli plaka yerleştirilmiştir. Uygulanan havalandırma miktarı ise 0,3 m<sup>3</sup>/dak dır. Domuz gübresi karışıma %0-20-30 ve 40 oranlarında karıştırılmıştır. Böylece 48.9, 40.2, 34.5 ve 68.3 oranlarında C/N oranları elde edilmiştir. Ayrıca her karışıma %5 miktarında çay atığı ve yine % 5 bahçe atıkları ilave edilmiştir. 29 günlük kompostlaştırma süresinin 12. gününde ise karıştırma yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, % 30 domuz gübresi içeren karışımın (C/N=40) fiziki-kimyasal özelliklerine göre (EC=642 µs/cm, OM=%81.05, TN=1, TP=0.67) daha uygun olduğu belirlenmiştir.

### **2.1. Laboratuvar ve pilot ölçekli kompostlaştırma sistemleri**

Alan (on-site) araştırmaları pahalı, yoğun işgücü gerektiren ve kontrol edilmesi zor denemelerdir. Ticari anlamda, kompostlaştırma işlemleri çoğunlukla büyük ölçekli açık ve kapalı sistemlerde yapılmaktadır. Açıkta tam ölçekli yapılan kompostlaştırma işleminde en büyük iki problem materyalin heterojen karışımı ve kontrol edilemeyen çevre koşullarıdır. Kompostlaştırma işlemini karakterize etmek için çok sayıda örnekleme yapılması zorunludur. Bu nedenle, endüstriyel tesislerde, istenilen şartlarda fakat açık ve kapalı sistemlerin zorlukları olmadan kompostlaştırma

çalışmalarına olanak sağlayan araçların geliştirilmesi gerekli olmuştur. Bu laboratuvar ve pilot ölçekli kompostlaştırma reaktörlerinin geliştirilmesine yol açmıştır (Petiot ve Guardia, 2004).

Kompostlaştırma ile ilgili çalışmalarda çok sayıda laboratuvar ölçekli kompost reaktörleri tanımlanmıştır. Bu bölümde, laboratuvar ve pilot ölçekli reaktörler ile ilgili çalışmaların bir kısmı sunulmaktadır.

Pilot ölçekli kompostlaştırma sistemlerinde, ortam içerisinde ısı birikimi yeterli değilse, ısı kaybına bağlı olarak, arzu edilen kompost sıcaklıklarına ulaşamayacaktır. Üretilen ısının miktarı kullanılan biyolojik olarak ayrışabilir madde ile ve bu nedenle materyal hacmi ile üssel ilişkilidir. Diğer bir yandan, bir kısım konduksiyon ve radyasyon ısı kayıpları dış yüzey alanı ile ilişkilidir ki bu, yüzey alanı-hacim oranını ( $A/V$ ) dikkate almaya neden olur (VanderGheynst vd., 1997).

$A/V$  oranı sadece hacimle değil şekil ile de değişiklik göstermektedir. Verilen bir hacim için, en düşük  $A/V$  oranı bir küre ile elde edilir ve bir sonraki düşük değer ise yüksekliği çapına eşit olan silindirik reaktördür. Pratik gerekçeler yüzünden silindirik şekilli reaktörler literatürde tanımlananlar içinde en fazla sayıdadır. Bu tip reaktörlerde temel olarak,  $A/V$  hacmin artması ile  $V^{-1/3}$  azalmaktadır. Örneğin 10 L hacminde bir reaktör için dış yüzeyden olan ısı kaybı 200 L olana göre 2,7 kat daha fazla olacaktır (aynı çap-yükseklik oranı olduğu kabul edilerek). Acak, 200 L hacim ile ısı kaybının azaltılmasına rağmen,  $A/V$  oranı 9.5 olan reaktörlerde, ısı kaybı halen 8-9 kat daha fazla olmaktadır (VanderGheynst vd., 1997).

Bazı araştırmacılar laboratuvar ölçekli çalışma amacıyla çok büyük reaktörleri tercih etmişlerdir. De Bertoldi vd., (1988), 2.5 m<sup>3</sup> hacminde paralel Plexiglas silindirlerini delikli taban ile birlikte inşa etmiştir. Schwab vd., (1994), 1.8 m<sup>3</sup> hacminde izole edilmemiş dönen paslanmaz çelikten silindir kullanmışlardır. VanderGheynst vd., (1997), 770 l lik izoleli sütun reaktör kullanmışlardır ve bu sistemin  $A/V$  oranı 7.4 tür. Aynı hacimdeki silindir için yüksekliği çapına eşit ise  $A/V$  oranı 6 olacaktır.

Pilot ölçekli reaktörlerde yüksek A/V oranını karşılamak amacıyla, sıklıkla reaktörlerin dış yüzey alanına yalıtım uygulanmaktadır. Pilot ölçekli reaktörler için, izolasyon malzemesi kullanılarak termal direncin artırılması ile, toplam ısı transferi katsayısı (U) 10 kat veya daha fazla azaltılabilir, böylece kondüktif ısı kayıplarını minimize etmek mümkündür. Whang ve Meenaghan (1980), çimento kaplamalı 200 l paralel silindir inşa etmişler, Smars vd., (2001), 200 l paralel silindir reaktörünü köpük lastik ile izole etmiş, Hansen vd., (1989), Elwell vd., (1996) ve Hong vd., (1998) polysterene ile izole edilmiş 208 l reaktör kullanmışlardır. Bunun yanında Herrmann ve Shann (1997), yalıtım malzemesi kullanmadan, plastik variller kullanarak 60 °C üzerinde sıcaklık gözlemlemişlerdir. Deschamps vd., (1979) ve Lau vd., (1992) sırasıyla 63.5 l cam yünü ile izole edilmiş silindirik reaktör, 55 l fibreglas ile izole edilmiş reaktörler kullandıklarında çok yüksek kondüktif ısı kayıpları ortaya çıkmamıştır.

Büyük, basit olarak izole edilmiş reaktör imalatı en kolay olandır ve reaktör büyüklüğü fermantasyon ilerlemesini çok fazla engellemeden materyal örneklerinin değişik kompostlaştırma aşamalarına alınmasına olanak sağlar. Yine de, kondüktif ısı kayıpları azaltılmış fakat kontrol altına alınmamış olur. Bundan başka, matris içinde önemli gradyenler (sıcaklık, kompost nemi vb.) ortaya çıkabilmektedir. Bahc vd., (1985), köpük içine yerleştirilmiş 30 l PVC silindir kullanmıştır. Reaktörün üst, orta ve altına yerleştirilen üç termo eleman ile sıcaklık gradyenleri izlenmiş ve denemeler süresince maksimum 2°C farklılık gözlenmiştir. Elwell vd., (1996) ve Hansen vd., (1989), 208 l lik reaktörlerinde üst ve alt sensörleri arasında 25°C ye kadar gradyenler kaydetmişlerdir.

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1. Materyal

Gül işleme atıkları (Şekil 3.1), depolama çukurlarında, üretim sezonu boyunca ve su içeriğinin buharlaşma ve sızma yoluyla azalması için bekletilmesi esnasında yeraltı suyu kirliliği, koku oluşumu ve görüntü kirliliği gibi çevre sorunlarına yol açmaktadır. Yıllara göre oluşan posa miktarlarının dağılımı Çizelge 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Gül işleme atıklarından bir görünüm

Isparta ilinde gül işleme atıklarının yıllık ortalama değeri yaklaşık 26 bin ton civarındadır (Çizelge 3.1). Gülyağı fabrikalarında oluşan işlem atıkları, çoğu işletmelerde arıtmaksızın kanalizasyona, dereye veya göle boşaltılmakta, bazılarında ise biriktirme çukurlarında toplanarak sızma ve buharlaştırma yoluyla uzaklaştırılmaktadır (Tosun, 2003).

Bu çalışmanın iki temel amacı vardır; birincisi; C/N oranlarını düzenlemek amacıyla kompostlaştırma çalışmalarında sıklıkla kullanılan iki karbon kaynağı olan talaş ve saman alternatiflerini değerlendirmek; ikincisi ise, gül işleme atıklarının en uygun kompostlaştırılmasını sağlayan C/N oranını belirlemektir.

Çizelge 3.1. Isparta'da hasat edilen gül çiçeğinin ve oluşan posanın yıllara göre dağılımı (Tosun, 2003)

| Yıllar | Gül çiçeği  | Gül çiçeği   | Posa miktarı |
|--------|-------------|--------------|--------------|
|        | (yaş kütle) | (kuru kütle) | (yaş kütle)  |
|        | (ton/yıl)   | (ton/yıl)    | (ton/yıl)    |
| 1986   | 9318        | 2003         | 20034        |
| 1990   | 19089       | 4104         | 41041        |
| 1995   | 5725        | 1231         | 12309        |
| 1999   | 6204        | 1334         | 13339        |

Gül işleme atıklarının, farklı tekstür ve strüktür sağlayıcı materyaller ile karıştırılarak optimum C/N oranları belirlenmesi amaçlanmıştır. Kompostlaştırmada mikroorganizmaların ortama aşılması ve azot kaynağı olarak tavuk gübresi, karbon kaynağı olarak ise talaş veya saman kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Denemede kullanılan materyaller A. Talaş B. Saman C. Gül posası

Gül işleme posası Gülbirlik Gül Yağı Fabrikası ve Bio-Landes Gül Yağı Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Tavuk gübresi ise Abaloğlu Yem A.Ş. (Denizli)

den, yumurta tavukçuluğu yapılan tesisten temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan bir diğer materyal ise buğday samanıdır.

Çizelge 3.2. Denemede kullanılan materyallerin özellikleri

|                   | <b>Nem</b><br>(% y.b.) | <b>Kuru Madde</b><br>(%) | <b>Organik Madde</b><br>(%) | <b>C</b><br>(%) | <b>N</b><br>(%) |
|-------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Gül Posası</b> |                        |                          |                             |                 |                 |
| I. Deneme         | 68                     | 32                       | 67.33                       | 37.41           | 3.20            |
| II. Deneme        | 78                     | 22                       | 81.67                       | 45.37           | 3.98            |
| <b>Tavuk Güb.</b> | 66                     | 34                       | 50.97                       | 28.31           | 1.66            |
| <b>Talaş</b>      | 30                     | 70                       | 97.82                       | 54.34           | 0.08            |
| <b>Saman</b>      | 12                     | 88                       | 90.13                       | 50.07           | 0.03            |

### 3.2. Metot

#### 3.2.1. Kompost karışımlarının hazırlanması

Birçok kompost materyalinin kimyasal ve fiziksel özellikleri ile ilgili bilgiler literatürde bulunmasına rağmen ancak materyallerin özelliklerinin farklılık göstermesi nedeniyle kompostlaştırılacak her bir materyalin analiz edilmesi gerekmektedir (Keneer vd., 2000). Bu çalışmada karışım oranları, örneklerin kuru kütleleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bu amaçla, Excel<sup>TM</sup> programında materyallerin kütlelerine ve diğer özelliklerine (% nem, % N, ve % C ) göre, karışımı oluşturacak olan materyalleri kütle olarak hesaplayan bir çalışma sayfası hazırlanmıştır (EK-1). Karışımların C/N oranı aşağıdaki formüle göre hesap edilmiştir:

$$R = \frac{Q_1(C_1 \times (100 - M_1)) + Q_2(C_2 \times (100 - M_2)) + Q_3(C_3 \times (100 - M_3)) + \dots}{Q_1(N_1 \times (100 - M_1)) + Q_2(N_2 \times (100 - M_2)) + Q_3(N_3 \times (100 - M_3)) + \dots} \quad (1)$$

Burada;

R= karışımın C/N oranı

Q<sub>i</sub>=Karışım içindeki i materyalinin kütlesi (kg)

$C_i$ =Materyal i nin %C içeriği

$N_i$ = Materyal i nin % N içeriği

$M_i$ =Materyal i nin % nem içeriği

Karbon kaynağının tespiti için bir ön deneme yapılmıştır. Ön deneme uygulamaları ("I. Deneme" olarak isimlendirilmiştir); gül posası+tavuk gübresi (GP+TG), gül posası+ tavuk gübresi+saman (GP+TG+S) ve gül posası+ tavuk gübresi+talaş (GP+TG+S) olarak belirlenmiştir. GP+TG karışımını C/N oranı 10 olarak alınıp kontrol denemesi olarak değerlendirilmiştir. GP+TG+S ve GP+TG+T uygulamaları 15 ve 20 C/N oranlarında yürütülmüştür. I. Denemede hazırlanan karışım oranları Çizelge 3.3 de verilmiştir.

Çizelge 3.3. I. Deneme'de hazırlanan karışım oranları

| Reaktör    | GP+TG-10 | GP+TG+T-15 | GP+TG+S-15 | GP+TG+T-20 | GP+TG+S-20 |
|------------|----------|------------|------------|------------|------------|
| TG (kg/kg) | 0.250    | 0.236      | 0.238      | 0.208      | 0.213      |
| GP (kg/kg) | 0.750    | 0.708      | 0.713      | 0.625      | 0.638      |
| T (kg/kg)  | 0        | 0.056      | 0          | 0.167      | 0          |
| S (kg/kg)  | 0        | 0          | 0.050      | 0          | 0.149      |
| C/N        | 10       | 15         | 15         | 20         | 20         |

Denemede hazırlanan karışımlarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ise Çizelge 3.4 de verilmiştir.

Çizelge 3.4. I. Deneme karışımlarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

| Uygulama          | Tekerrür | Nem<br>(% y.b.) | Organik<br>madde<br>(%) | pH  | C (%) | N (%) | C/N  |
|-------------------|----------|-----------------|-------------------------|-----|-------|-------|------|
| <b>GP+TG-10</b>   | 1        | 46.1            | 53.2                    | 8.6 | 29.5  | 3.0   | 9.9  |
|                   | 2        | 49.4            | 54.9                    | 8.6 | 30.5  | 3.8   | 8.0  |
|                   | 3        | 49.7            | 54.0                    | 8.4 | 30.0  | 3.2   | 9.5  |
| <b>GP+TG+T-15</b> | 1        | 56.0            | 69.1                    | 8.9 | 38.4  | 3.0   | 12.7 |
|                   | 2        | 56.0            | 69.1                    | 8.7 | 38.4  | 3.0   | 12.7 |
| <b>GP+TG+S-15</b> | 1        | 58.8            | 65.9                    | 8.7 | 36.6  | 3.0   | 12.2 |
|                   | 2        | 56.4            | 66.9                    | 8.4 | 37.2  | 2.9   | 12.8 |
| <b>GP+TG+T-20</b> | 1        | 62.0            | 76.1                    | 8.8 | 42.3  | 1.8   | 23.1 |
|                   | 2        | 59.9            | 75.0                    | 8.9 | 41.7  | 2.1   | 19.9 |
|                   | 3        | 53.9            | 77.0                    | 8.4 | 42.8  | 2.0   | 21.2 |
| <b>GP+TG+S-20</b> | 1        | 54.5            | 79.6                    | 8.3 | 44.2  | 2.3   | 19.1 |
|                   | 2        | 52.5            | 77.2                    | 8.6 | 42.9  | 2.0   | 21.0 |

Denemede kullanılan ana materyal olan gül posasının parçalandıktan sonra gözenekli yapısı nedeniyle ilave olarak strüktür sağlayıcı bir materyal (ağaç kabuğu vb.) kullanılmasına ihtiyaç olmayacağı düşünülmüştür. Uygun karbon kaynağının seçiminde kompost materyali kuru kütle kaybı, sıcaklık, nem, kül içeriği gibi parametreler dikkate alınmıştır.

Karışımlar isimlendirilirken; örneğin C/N oranı 15 olan talaş ilaveli karışım "GP+TG+T-15", C/N oranı 30 olan saman ilaveli karışım "GP+TG+S-30" şeklinde ve karışıma ait tekerrürler, örneğin 2. tekerrür "GP+TG+S-30-2" şeklinde gösterilmiştir.

Denemenin ikinci aşamasında ise, I. Deneme'de seçimi yapılan karbon kaynağı ile GP+TG, 5 farklı C/N oranlarında (15, 20, 25, 30 ve 35), en uygun C/N oranını belirlemek amacıyla deney gerçekleştirilmiştir. Karışımı oluşturan materyallerin çeşitli kimyasal özellikleri Çizelge 3.5. de Karışımların oluşturan materyallerin kütle oranları Çizelge 3.6 da verilmiştir.



Çizelge 3.5. II. Deneme' de hazırlanan karışım oranları

|            | GP+TG+S-15 | GP+TG+S-20 | GP+TG+S-25 | GP+TG+S-30 | GP+TG+S-35 |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| TG (kg/kg) | 0.50       | 0.446      | 0.417      | 0.385      | 0.357      |
| GP (kg/kg) | 0.50       | 0.446      | 0.417      | 0.385      | 0.357      |
| S (kg/kg)  | -          | 0.107      | 0.167      | 0.231      | 0.286      |
| C/N        | 15         | 20         | 25         | 30         | 35         |

Çizelge 3.6. II. Deneme başlangıç karışımlarının çeşitli özellikleri

| Uygulama   | Nem<br>(% y.b.) | Organik<br>madde<br>(%) | pH   | C (%) | N (%) | C/N   |
|------------|-----------------|-------------------------|------|-------|-------|-------|
| GP+TG-15   | 59.74           | 70.33                   | 8.5  | 39.07 | 3.05  | 12.81 |
| GP+TG+S-20 | 64.2            | 80.67                   | 8.8  | 44.81 | 2.1   | 21.37 |
| GP+TG+S-25 | 64.62           | 80.33                   | 8.4  | 45.37 | 1.84  | 24.66 |
| GP+TG+S-30 | 60.04           | 84.33                   | 8.8  | 46.85 | 1.60  | 29.22 |
| GP+TG+S-35 | 69.17           | 89.33                   | 8.82 | 49.63 | 1.32  | 37.41 |

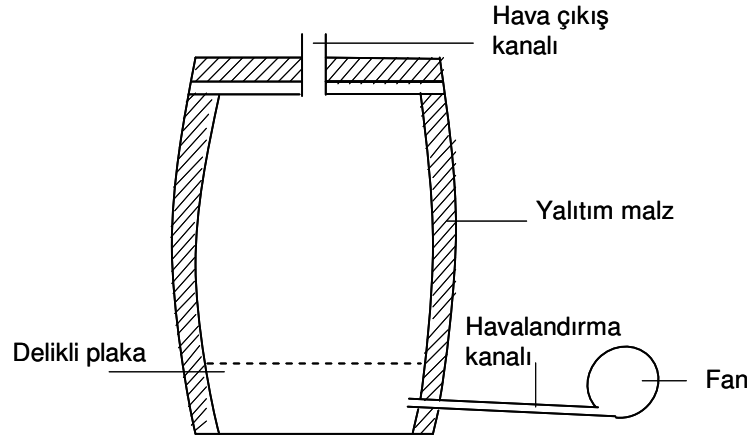
Her iki denemede de karışımı oluşturan materyallerden öncelikle GP tartılarak, el ile mümkün olduğunca öğütülmüş ve daha sonra sırasıyla TG ve T veya S materyalleri ilave edilmiştir. Son olarak karışımın başlangıç nemini %60 seviyesine getirebilmek için ilave edilmesi gereken su ilave edilmiştir. Denemeler üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Her 3 tekerrür reaktörü için tek bir karışım hazırlanmıştır. Reaktörler doldurulduğunda kütle okumaları gerçekleştirilmiştir. Deneme süresince, belirli periyotlarda karıştırma ve örnek alma işlemi gerçekleştirilmiştir. I. Deneme için denemenin 3, 7, 14 ve 27. günlerinde; II. Denemede ise 7, 14, 21 ve 28. günde karıştırma ve örnek alma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Karıştırma ve örnek alma işlemi;

- reaktörler tartılmıştır,
- beton zemine boşaltılmıştır,
- kürek ile iyice karıştırıldıktan sonra örnek alınmıştır,
- daha sonra kompost kütesindeki kurumadan dolayı kompostlaştırma işlemi olumsuz etkilenmemesi amacıyla her reaktöre su ilavesi yapılmıştır,
- tekrar iyice karıştırıldıktan sonra yine örnek alınmıştır,
- reaktöre tekrar doldurulup yine tartılmıştır,

- son olarak da havalandırma miktarı ayarlanmıştır. Böylece kompost kütlesine nem ilavesi homojen bir şekilde sağlanırken, reaktör kütlesinden alınan örneklerin mümkün olduğunca karışımı yansıtması sağlanmaya çalışılmıştır.

### 3.2.2. Deney düzeneği

Bu çalışmada 70 l hacminde cam yünü ile ısı izolasyonu sağlanmış, havalandırma giriş ve çıkış kanalları bulunan; I. Deneme de 12 adet ve II. Denemede 15 adet reaktör kullanılmıştır (Şekil 3.3). Reaktörlerin; yüksekliği 80 cm, ortalama çapı 40 cm ve hacmi yaklaşık 40 l dir. Reaktörlerin alt tabanında hava akımının kompost kütlesi içerisine üniform dağılımını sağlamak amacıyla tel örgüden imal edilmiş plaka bulundurmaktadır. Tel örgü plaka, reaktör zemininden yaklaşık 20 cm yüksekliğe yerleştirilmiştir. Reaktörlerin A/V oranı ise yaklaşık 5 tir.



Şekil 3.3. Kompostlaştırma reaktörü

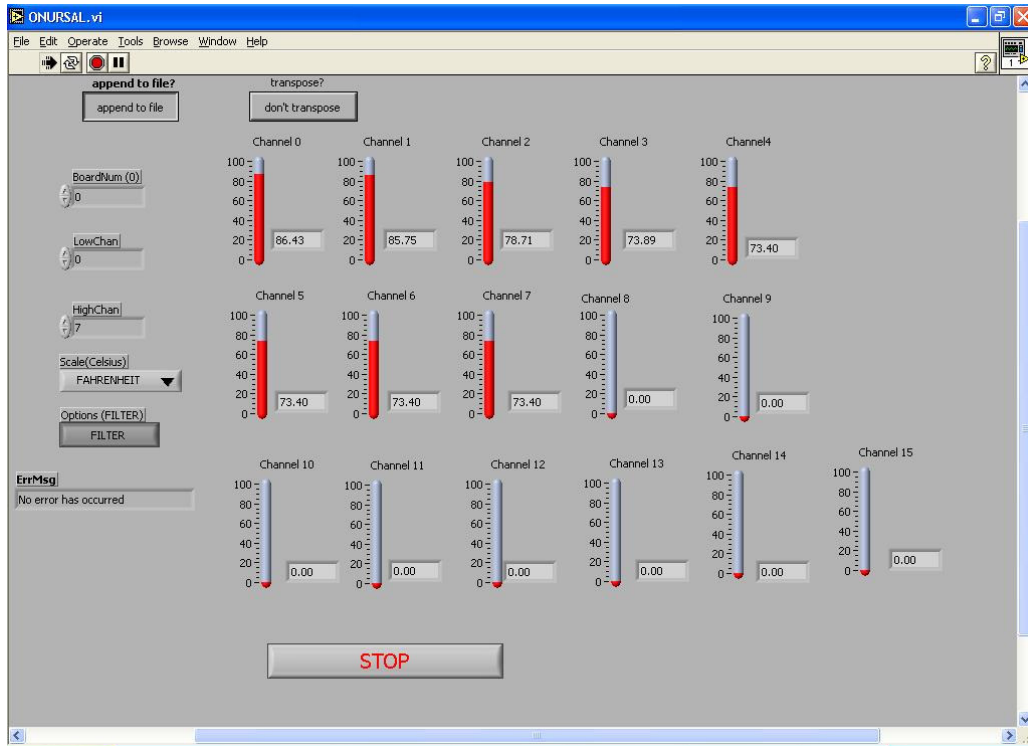
#### 3.2.2.1. Sıcaklık ölçümü

Biyolojik aktivitenin bir sonucu olan sıcaklık her bir reaktörün geometrik olarak orta noktasına yerleştirilen K tipi ısı çift (Omega, KQXL ) ile ölçülmüştür (Ekinci vd., 2004). Sıcaklık ölçümleri 2 dakika ölçüm aralığında ölçülmüş ve deney süresince kaydedilmiştir. Bunun yanı sıra laboratuvar ortam sıcaklığı yine aynı tip ısı çifti ile ölçülüp kayıt edilmiştir. Sıcaklık verileri PCI kartı (PCI DAS-TC, Measurement

Computing Corp.) ve bağlantı modülü ile bilgisayara kaydedilmiştir. Bu amaçla LabVIEW yazılımında bir program geliştirilmiştir (Şekil 3.4).

LabVIEW programında, geleneksel metin/kod tabanlı programlama dillerinden farklı olarak, programlama grafiksel olarak yapılmaktadır. Böylece programcı ekranda modülleri ve/veya kontrolleri görsel olarak birleştirirken program arka planda kodları yazmaktadır.

Program ve donanım ölçüm yapılan 16 ısı çiftten (I. Deneme için 13 ısı çift) gelen gerilimi sayısal veriye dönüştürerek Excel çalışma sayfasına istenilen ölçüm aralığına göre kaydetmektedir.



Şekil 3.4. Labview yazılımında geliştirilen program

### 3.2.2.2. Havalandırma

Çalışmada reaktörlere verilecek hava miktarı 100 W gücündeki fanlar ile her bir reaktöre bir adet fan ile sağlanmıştır. Tüm fanlar tek bir zaman saatine bağlanarak;

her bir fanın 15 dakika açık, 45 dakika kapalı olacak şekilde aralıklı havalandırma yapılmıştır. Denemeler süresince sabit havalandırma oranı kullanılıp; miktarı her bir reaktörün egzoz gazı çıkış noktalarından ölçülen hava hızına bağlı olarak aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır. Havalandırma hızı 0.7 m/s olacak şekilde ayarlanmıştır. Egzoz gazı çıkış kanalı ise 3 cm çapındadır.

$$Q = A \cdot V \quad (6)$$

Q, havanın debisi (dm<sup>3</sup>/s)

A, reaktör çıkış ağzının kesit alanı (dm<sup>2</sup>)

V, reaktör egzoz kanalından geçen havanın hızı (m/s)

### 3.2.2.3. CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> konsantrasyonları ölçümü

Aerobik bir kompostlaştırma işleminde oksijen tüketimi mikrobiyel aktivitenin en yüksek olduğu zaman, en yüksek olurken kompostlaştırma işlemi olgunlaşma fazına yakın zamanlarda dış havanın oksijen konsantrasyonuna eşit olur. Tersine CO<sub>2</sub> için söylenebilir. Yani iyi bir kompostlaştırma işleminde CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> ayna görüntüsü yaratmaktadır. Bu sistemde CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> konsantrasyonları (% v/v) GAS DATA firmasına ait dijital CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> ölçer ile ölçülmüştür. CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> ölçümleri sadece II. Deneme için gerçekleştirilmiştir. Denemede ölçümler günün aynı saatinde olmak üzere günlük olarak yapılmıştır.

### 3.2.3. Kompost nem içeriği

Kompost materyalinin nem analizi ise örneklerin Memmert marka etüvde 105°C sıcaklıkta ağırlıkta değişme olmayana kadar tutulması ile gravimetrik olarak tayin edilmiştir.

$$Nem\ oranı\ (\% \text{ y.b.}) = \frac{X - Y}{X} \times 100 \quad (2)$$

X= kurutmadan önce örnek ağırlığı (g)

Y= kurutmadan sonra örnek ağırlığı (g)

### 3.2.4. Kompost kül içeriği ve organik madde miktarı

Kül miktarı ise Nüve firmasına ait MF 120 model kül fırınında örneklerin kuru yakılması ile (550 °C de 5-6 saat) elde edilmiş ve bu değerle örneklerin organik madde içeriği aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır.

$$kül\ miktarı\ (\%) = \frac{A}{B} \times 100 \quad (3)$$

Burada;

A, yakma sonrasındaki örnek ağırlığı

B, yakma sonrasındaki örnek ağırlığı

ve;

$$(\%)\ kül\ miktarı + (\%)\ organik\ madde = 100 \quad (4)$$

### 3.2.5. Kompost karbon içeriği

Materyalde % C miktarı, % organik madde (OM) değerinden yararlanılarak aşağıdaki formüle göre hesap edilmiştir (Haug, 1993):

$$\% C = \% OM / 1.8 \quad (5)$$

### 3.2.6. Kompost azot içeriği

Kompost materyalinde % N miktarı Kjeldahl yöntemi ile deney başlangıcında ve sonunda olmak üzere, her iki denemede Laben Tarımsal Araştırma Laboratuvarında (Antalya) gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.7. Kompost kütle kaybı

Kompostlaştırmak amacıyla reaktör içerisine yerleştirilen materyalde kütle azalması belirli aralıklarla gravimetrik olarak belirlenmektedir. Bu amaçla 50 g hassasiyetli terazi kullanılmıştır.

### 3.2.8. Ağır metal içeriği

Bu araştırmanın ana materyali olan gül işleme atıklarının ağır metal içeriği, Türk mevzuatında yer alan katı atıkların kontrolü yönetmeliği ile belirlenen toprakta müsaade edilen sınır değerleri ile karşılaştırılması gerekmektedir. Bu amaçla Süleyman Demirel Üniversitesi Merkezi Araştırma Lab.'da Zn, Cu, Cr, Pb, Cd, ve Hg Perkin-Elmer marka AA800 model atomik absorpsiyon cihazı ile yapılmıştır. Zn, Cu, Cr, Pb, Cd analizleri sırasıyla 213.9, 324.8, 357.9, 283.3, 228.8 nm dalga boyunda alev modunda yapılmıştır. Hg analizi, hidrür sistem kullanılarak 253.7 nm dalga boyunda yapılmıştır.

### 3.2.9. Kompost karışımının serbest hava oranı (FAS)

Materyalin yoğunluğu ve serbest boşluk oranı değerleri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. Burada izlenen yöntem; önce kap tartılır. Daha sonra kap su ile doldurularak tartılır. Boş kaba kompost materyali doldurulur ve tartılır. Son olarak, kompost kütlesi üzerine su ilave edilir ve tartılır.

$$\rho_{c,wet} = 1000 (W_{oc} - W_o) / (W_{ow} - W_o) \quad \text{kg/m}^3 \quad (7)$$

Burada;

- $\rho$ , materyalin özgül ağırlığı ( $\text{kg/m}^3$ )
- $W_o$ , kabın boş ağırlığı (kg),
- $W_{ow}$ , kabın su dolu ağırlığı (kg),
- $W_{oc}$ , kap + kompost ağırlığı (kg),
- $W_{ocw}$ , su ilave edilmiş kap+kompost+su ağırlığı (kg)

FAS ise aşağıdaki formül kullanılarak hesap edilmiştir :

$$\text{FAS} = 100 (1 - \text{BD}/\text{SG}) \quad (8)$$

- FAS, serbest boşluk oranı (free air space)
- BD, materyalin hacim ağırlığı ( $\text{kg/m}^3$ )
- SG, materyalin özgül ağırlığı ( $\text{kg/m}^3$ )

### 3.2.10. Kompostlaştırma kinetiği

Farklı materyaller ile yapılan kompostlaştırma işlemlerinde en uygun başlangıç C/N oranlarını belirlemek için; C/N oranının fonksiyonu olarak ayrışma oranı (Ekinci vd., 2002), C/N oranı ve pH'nın fonksiyonu olarak NH<sub>3</sub>-N kaybı (Ekinci vd., 2001), başlangıç nem oranı ve sıcaklığın fonksiyonu olarak ayrışma oranı (Ekinci vd., 2004) kullanılmıştır. Bu nedenle kompostlaştırma kinetik parametreleri olarak kabul edilen (Keener vd., 1993) ayrışma oranı (k) ve kompost denge değeri (β) değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Ayrışma oranı birim zamanda ayrışan kompost kütlesi olarak tanımlanabilir. Ayrışma oranını, kompost nemi, sıcaklık, besin maddelerinin oranı, pH, mikroorganizma varlığı ve çeşidi gibi etmenler etkilemektedir. Kompost denge değeri ise ayrışmanın son bulacağı noktayı gösterir (Keener vd., 1993). Bu değerler özellikle kompostlaştırma işleminin çok hızlı olduğu kompostlaştırma aktif fazında hava gereksinimi, karıştırma zamanları, havalandırma fanlarının çalışma zamanlarının hesap edilmesinde çok büyük önemi olan parametrelerdir. Kompostlaştırma kinetiği birinci dereceden kinetik denklemlerle ifade edilebildiğinden, bu denklemlerin zamana bağlı çözümlerinden elde edilebilmektedirler. Kinetik denklemlerin çözümü ancak kompost kütlesinin kontrollü koşullarda zamanın fonksiyonu olarak ölçülmesini gerektirmektedir. Bu değerler aynı zamanda büyük ölçekli kompost tesislerinin kurulmasında ve işletilmesinde kullanılan temel parametreleri oluşturmaktadırlar (Ekinci, 2001).

Dizayn açısından kompostlaştırma işleminin birinci aşaması ekipmanların uygun olarak boyutlandırılması için en önemli aşamadır. Bu süre boyunca, kütledeki azalma hızı, birinci derece reaksiyon olarak yazılabilir. Kompostlaştırma işlemi stabilizasyon aşamasına yaklaştıkça, bu kabul yanlış olabilir ancak bu pratikte daha az önem taşımaktadır. Birinci derece reaksiyon olarak yazılabilen biokütledeki azalma;

$$\frac{dm_c(\theta)}{d\theta} = -k(m_c(\theta) - m_c) \quad (9)$$

Burada

$\theta$  = kompostlaşma süresi (gün),

$k$  = kompost materyali ayrışma oranı ( $\text{gün}^{-1}$ ),

$m_c(\theta)$  = kompost kuru kütlesi (kg),

$m_e$  = kompost denge kütlesi (kg),

$m_c(0)$  = başlangıç kompost kuru kütlesi (kg)

Eğer  $k$  sabit olarak kabul edilirse, eşitliğin çözümü kompost kütle oranı ( $mR$ ) aşağıdaki gibi bulunur: verir.

$$mR = \frac{m_c(\theta) - m_e}{m_0 - m_e} = e^{-k\theta} \quad (10)$$

$mR$ , birimsiz bir sayıdır ve kompostlaştırma işleminin ne kadar ilerlediğini belirtmek için kullanışlı bir tekniktir. Değeri daima 1 ile 0 arasında değişir.  $\theta = 0$  olduğunda  $mR=1$  ve  $\theta = \infty$  olduğunda  $mR=0$  olmaktadır.

### 3.2.10.1. Kompost denge kütlesi ( $m_e$ ) değerinin belirlenmesi

Eşitlik (9) de  $m_e$  teriminin kullanılmasıyla, organik maddenin mikroorganizmalar tarafından ayrışmasının sınırlı olduğu kabul edilmektedir.  $m_e/m_0$  ifadesi ( $\beta_0$  olarak ifade edilir), uzun süre kompostlandırmadan sonra (6 aydan 12 aya kadar) ayrışmadan kalan materyal kısmını temsil eder. Materyalin kül içeriğinden daha yüksek bir değere sahiptir çünkü bazı organik kısımlar olgunlaşmış son üründe ayrışmadan kalacaktır.

### 3.2.10.2. Kinetik parametrelerin ( $k$ ve $\beta$ ) belirlenmesi:

Tüketilen maksimum  $O_2$  ve üretilen maksimum  $CO_2$  miktarı kompostlaştırma işleminin yüksek hızlı ayrışma fazında ortaya çıkmaktadır. Maksimum ayrışma oran ( $k'$ ) bilindiğinde ayrışma oranı hesaplanabilir. Matematiksel olarak ayrışma oranı aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$k' = \frac{-1}{m_c(0)} \frac{dm_c}{d\theta} \quad (11)$$



ve

$$\frac{\Delta m}{m(0)} = \frac{m(0) - m(\theta)}{m(0)} \quad (12)$$

$\frac{dm_c}{d\theta}$ )<sub>i</sub> kompostlaştırmanın yüksek hızlı başlangıç aşamasında ortaya çıkan kuru madde kaybı, kg gün<sup>-1</sup>. Bu eşitlikte k' başlangıç kuru madde miktarına göre normalize edilmiş kuru madde kayıp hızıdır. β değerinin kül içeriği değerine eşit olduğu kabul edilebilir. Uçucu organik madde kısmı aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

= -

Ayrışma hızı ise aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$k = \frac{\frac{-dm_c}{d\theta}}{(m_c(0) - m_e)} \cong \frac{-\frac{1}{m_c(0)} \frac{dm_c}{d\theta})_i}{1 - \frac{m_e}{m_c(0)}} = \frac{k'}{1 - \beta} = \frac{k'}{\beta'} \quad (13)$$

Eşitlik (13) in tekrar yazılması ile;

$$k = \frac{(m_c(0) - m_e)}{m_0} + \frac{(m_0 - m_e)}{m_0} = \left( \frac{(m_0 - m_e)}{m_0} \right) e^{-k\theta} \quad (14)$$

Bu eşitlik ise aşağıdaki şekilde çözülebilir:

$$\Delta m/m_0 = \frac{(m_e - m_c(0))}{m_0} = \beta' \left( 1 - e^{-k'\theta/\beta'} \right) \quad (15)$$

Eşitlik (15) ise k' ve β' değerleri bilindiğinde k için çözülebilir.

Kompostlaştırma için en uygun C/N oranını belirlemek için aynı zamanda sıcaklık, nem, kül içeriği, CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> profilleri de değerlendirilebilmektedir.

### **3.2.11. İstatistiksel değerlendirme**

I. Deneme, 3 farklı C/N oranında tesadüf parselleri deneme desenine göre, II. Deneme ise 5 farklı C/N oranında 3 tekerrürlü olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuştur. Araştırmada elde edilen organik madde, kuru madde kaybı ve mR değerleri Duncan çoklu karşılaştırma testine göre değerlendirilmiştir (SAS Institute, 1987).

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Araştırma süresince elde edilen bulgular grafikler ve/veya tablolar aracılığıyla sunulmuş ve farklı uygulamalar arasındaki farklılıklar ortaya konmaya çalışılmıştır. Araştırma sonuçları I. ve II. Denemeler için ayrı ayrı verilmiştir.

##### 4.1. Ağır Metal Analizleri

Denemede kullanılan ana materyal olan gül posasında ağır metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonuçları Çizelge 4.1. de verilmiştir. Çizelgede ayrıca bu değerler toprak kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde yer alan ağır metal sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Bu sonuçlara göre gül posasının ağır metal içeriği sınır değerler ile karşılaştırıldığında oldukça düşük miktarda olduğu ve toprağa uygulanmasında ağır metal içeriği açısından sakıncası olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.1. Gül posasının ağır metal içerikleri

| Ağır Metal Muhtevaları | Gül Posası Ağır Metal İçeriği (mg/kg) | Sınır Değerler* (mg/kg) |
|------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Kurşun                 | 29 ± 1                                | 1200                    |
| Kadmiyum               | Yok**                                 | 40                      |
| Krom                   | 31 ± 2                                | 1200                    |
| Bakır                  | 53 ± 1                                | 1750                    |
| Nikel                  | -                                     | 400                     |
| Çinko                  | 50 ± 5                                | 4000                    |
| Civa                   | Yok***                                | 25                      |

\* Katı atıkların kontrolü yönetmeliği

\*\* Cd için tespit limiti 0.028 ppm (mg/kg)

\*\*\* Hg için tespit limiti 0.468 ppb (µg / kg)

##### 4.2. Serbest boşluk oranı

I. Deneme kompost karışımını oluşturan materyallerden GP+TG karışımı için FAS değeri %39 olarak hesaplanmıştır. Bu değer kompost materyalleri için uygun aralıkta yer almaktadır (Haug, 1993).

### 4.3. I. Deneme Sonuçları

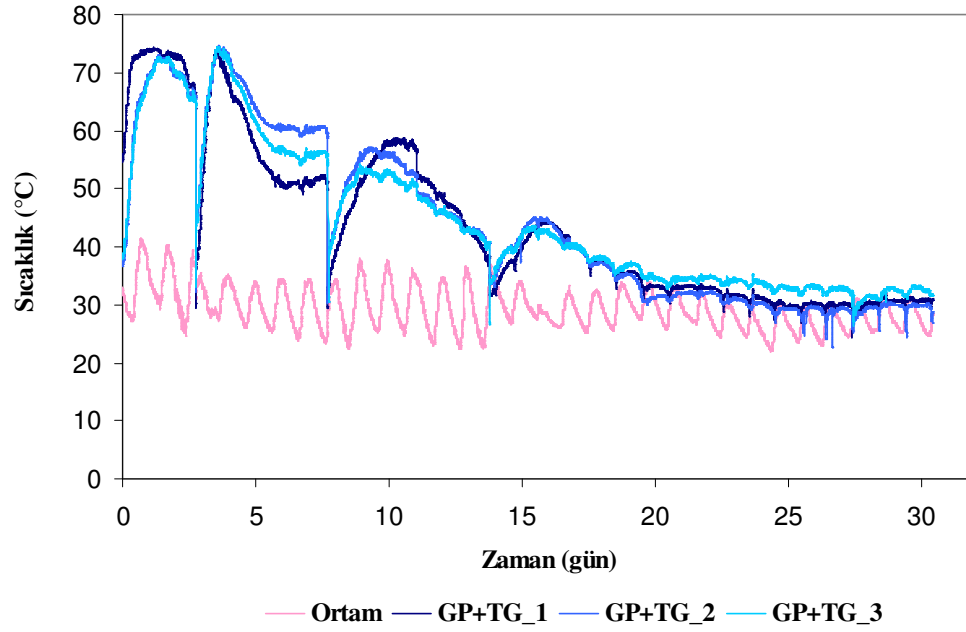
I. Deneme 29.08.2005 tarihinde başlayıp 30 gün sürmüştür. Hazırlanan karışımlardan GP+TG-10 ve GP+TG+T-20 üç tekerrürlü olarak, diğer karışımlar ise iki tekerrürlü olarak denemeye alınmıştır. Bunun sebebi I. Deneme de kullanılan GP materyalinin yetersizliğidir.

#### 4.3.1. Kompost sıcaklığı

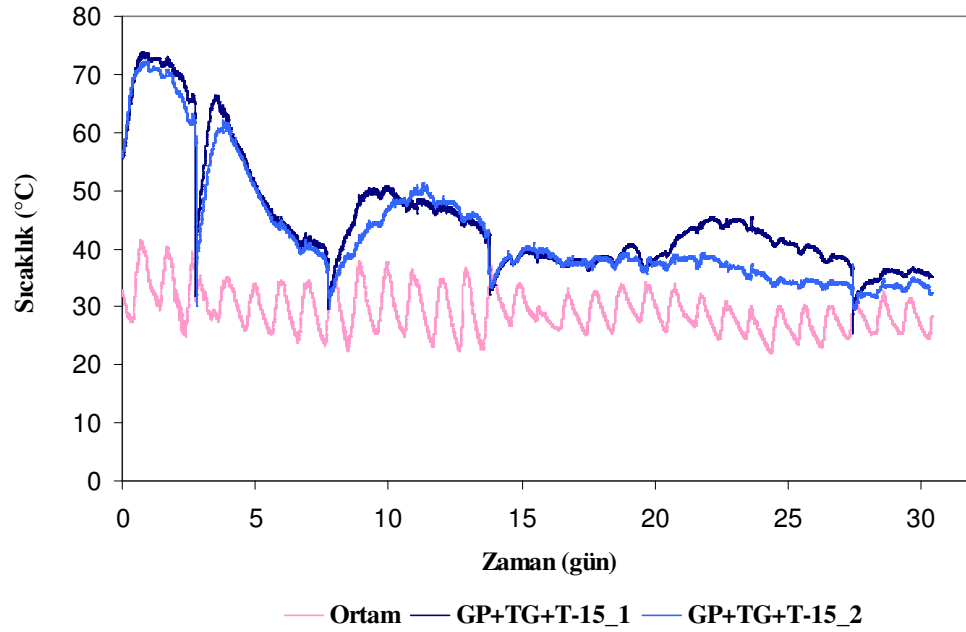
I. Deneme'ye ait kompost sıcaklığının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.1-4.5 te farklı C/N oranları için verilmiştir. Sıcaklık grafiklerinde keskin inişler ve çıkışlar (spikes) karıştırma zamanlarını göstermektedir. Karıştırma yapıldıktan sonra sıcaklıklar karıştırma öncesi sıcaklık seviyelerine hızlı bir şekilde çıkmıştır. Karıştırma, deneyin 3. 7. 14. ve 27. günlerinde yapılmıştır. Şekil 4.1 de TG+GP (kontrol) denemesine ait sıcaklık-zaman grafiği verilmiştir. Bu deneme üç tekerrürlü olarak yapılmış ve ısıtıcı reaktörlerin orta noktasına yerleştirilmiştir. Aynı zamanda dış ortam sıcaklığı da zamana bağlı olarak ölçülmüştür.

Deneyin 19. gününde bir havalandırma arızası meydana gelmiştir. Saatte 15 dakika açık kalıp 45 dakika kapalı olan fanlar, zaman saatinin devreden çıkmaması nedeniyle sabah saatlerine kadar yaklaşık 8 saat süre açık kalmış ve kompost sıcaklıklarını ortam sıcaklıklarına ( $t_{ortam}$ ) düşürmüştür. Bu arıza kompostlaştırma işlemini olumsuz şekilde etkilemiştir.

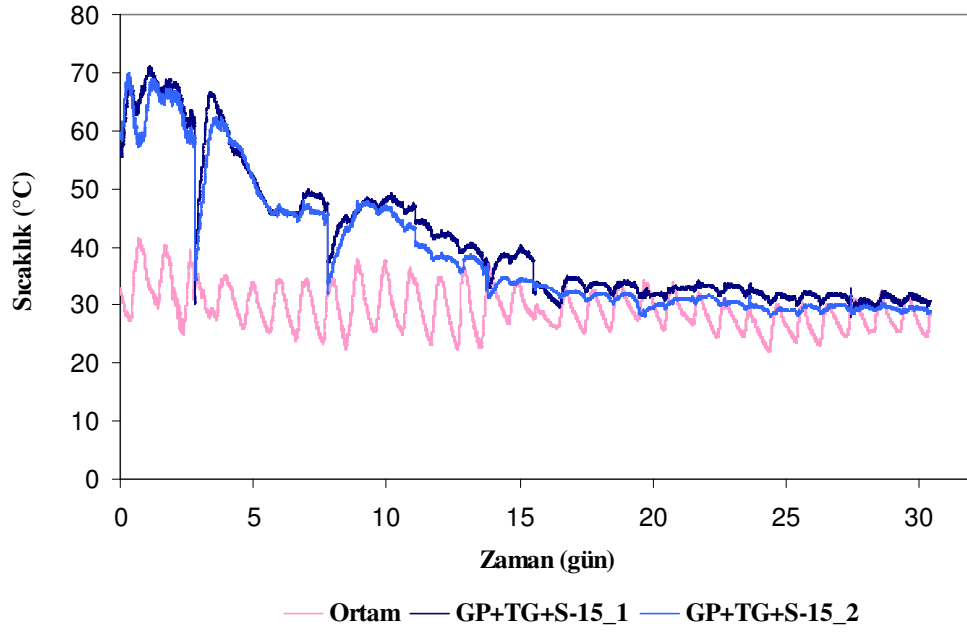
GP+TG denemesinde C/N oranı 10 olarak ayarlanmış ve sıcaklıklar 4 saat içinde 45°C ye ulaşmıştır. Şekil 4.1. den de görüldüğü gibi, reaktörler sıcaklık değişimi yönünde benzer gelişim göstermişlerdir. 30. gün sonunda sıcaklıklar ortam sıcaklığına eşitlenmiştir. 27. günde yapılan karıştırmadan sonra reaktörlerde sıcaklık yönünden herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Sıcaklık değişimine bakılarak, 30. günden sonra ayrışmanın çok yavaş olduğu görülebilir.



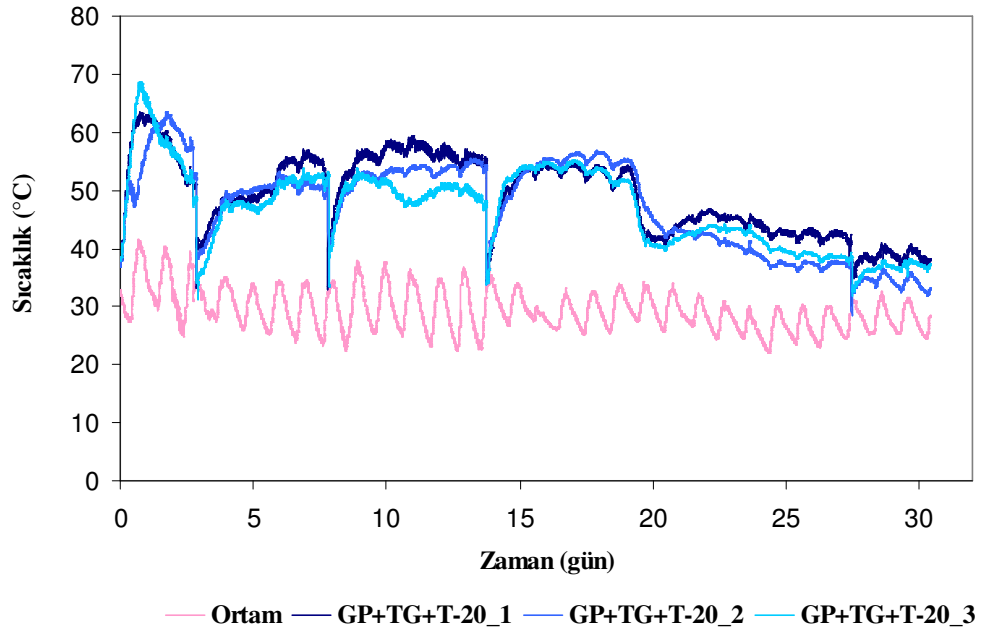
Şekil 4.1. GP+TG-10 karışımı reaktörlerinde sıcaklığın zamanla değişimi.



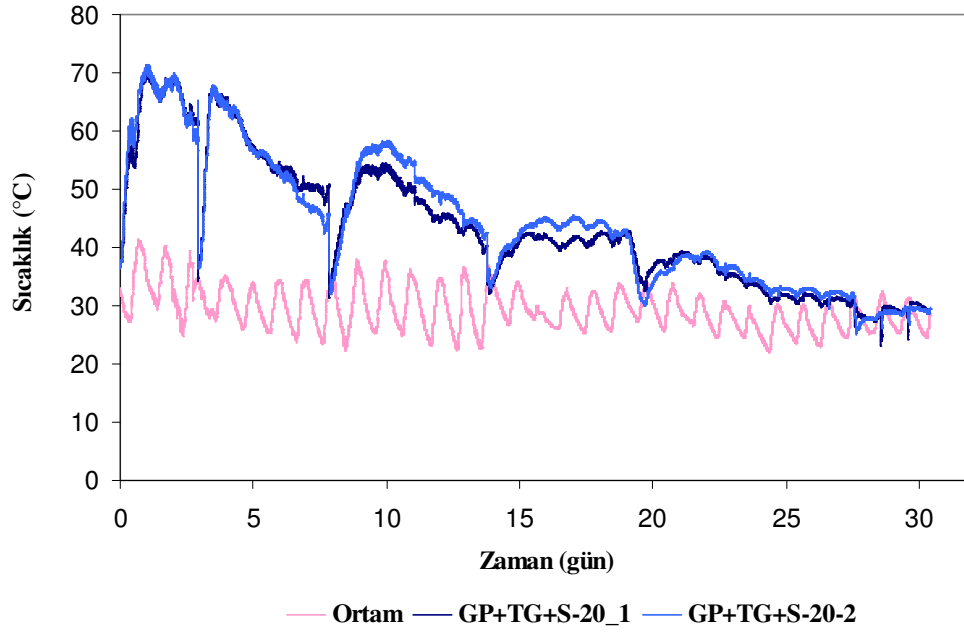
Şekil 4.2. GP+TG+T-15 karışımında reaktörlere ait sıcaklığın zamanla değişimi.



Şekil 4.3. GP+TG+S-15 karışımında reaktörlere ait sıcaklığın zamanla değişimi.



Şekil 4.4. GP+TG+T-20 karışımında reaktörlere ait sıcaklığın zamanla değişimi



Şekil 4.5. GP+TG+S-20 karışımında reaktörlere ait sıcaklığın zamanla değişimi

GP+TG+S-15 karışımında, karışımın sıcaklığı  $45^{\circ}\text{C}$  ye ilk 6 saat içinde ulaşmıştır. Sıcaklıklar 14. günde gerçekleştirilen karıştırma işlemine kadar  $45^{\circ}\text{C}$  nin üzerinde seyrederken, bu karıştırmadan sonra kompostlaştırma işleminin sonuna kadar sırasıyla  $40\text{-}35^{\circ}\text{C}$  arasında kalmıştır. Deney sonlandırıldığında ise bu karışıma ait her iki tekerrür reaktörünün sıcaklıklarının ortam sıcaklığından sırasıyla 6 ve  $8^{\circ}\text{C}$  yüksek olduğu tespit edilmiştir.

GP+TG+S-15 karışımında sıcaklıklar hızlı bir şekilde termofilik seviyelere ulaşmış ve 10. günde  $45^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa düşmüş ve her iki reaktörde de sıcaklıkların ortam sıcaklığına eşit hale gelmesi yaklaşık 15.günde gerçekleşmiştir.

GP+TG+S-15 karışımında, sıcaklıklar  $45^{\circ}\text{C}$  ye ulaşması 5 saat sürerken, sıcaklığın karıştırma zamanları haricinde bu dereceye ikinci kez gelmesi, kompostlaştırma işleminin 23. gününde gerçekleşmiştir. Deney sonlandırıldığında ise her üç reaktördeki sıcaklıklar sırasıyla  $38^{\circ}\text{C}$ ,  $33^{\circ}\text{C}$  ve  $37^{\circ}\text{C}$  olmuş ve  $t_{\text{ortam}}=28^{\circ}\text{C}$  olarak kaydedilmiştir.

GP+TG+S-20 karışımında sıcaklığın zamanla değişimi, bu tür kesikli havalandırma stratejilerinin genel merdiven şeklindeki seyrini göstermiştir. Bu karışıma ait reaktörlerde sıcaklığın ortam sıcaklığına düşmesi kompostlaştırmanın 26. gününde gerçekleşmiştir.

Sonuç olarak laboratuvar ölçekli deney sisteminde, karbon kaynağı olarak talaş kullanılan karışımların termofilik sıcaklıklarda daha uzun süre kalmıştır. Saman ilaveli karışımların sıcaklıkları ise kompostlaştırmanın 15. gününde ortam sıcaklığına düşmüştür. Karbon kaynaklarındaki biyolojik olarak ayrışabilirlikleri arasındaki farklılıklarında kompost sıcaklıklarına etki ettiği söylenebilir. Çünkü talaştaki selüloz daha yavaş ve uzun sürede ayrışmaktadır (Stone vd., 2001). Bu, talaş ilaveli karışımlarda gözlenen uzun süreli yüksek sıcaklıkların sebebi olabilir. Tüm karışımlar 55°C den yüksek sıcaklıklara en geç 6 saat içinde yükselmiş ve bu sıcaklıklarda en az 5 gün süre ile kalarak patojenlerin ve yabancı ot tohumlarının yok edilmesi ile ilgili standartları sağlamışlardır.

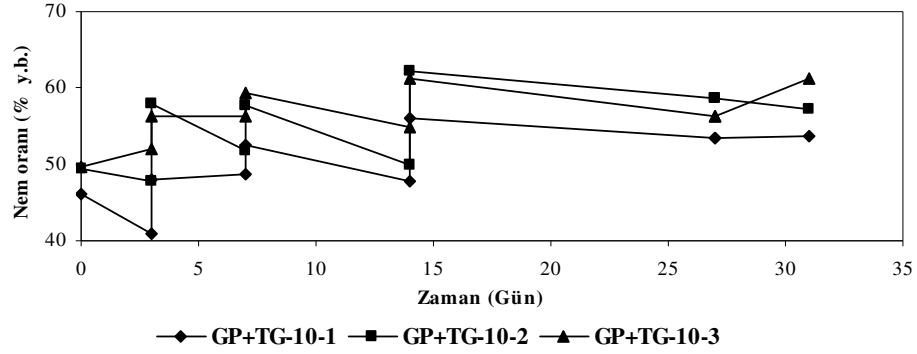
#### **4.3.2. Kompost nem içeriği**

Kompostlaştırma işlemi optimum nem sınırı olan ( % 50-70 y.b.) arasında gerçekleştirildiğinde ayrışma işlemi nem açısından etkilenmemektedir (Rynk, 1992). Bu amaçla kompostlaştırma işleminde nem kontrolü yapılmalıdır (Ekinci vd., 2004). Reaktörlerde nem kontrolü karıştırma zamanının hesaplanması ile gerçekleştirilir veya belirli zaman aralıklarında reaktörler zemin üzerine dökülerek karıştırılır. Karıştırma işlemi ile ayrıca kompost içindeki topaklaşma önlenmiş olur.

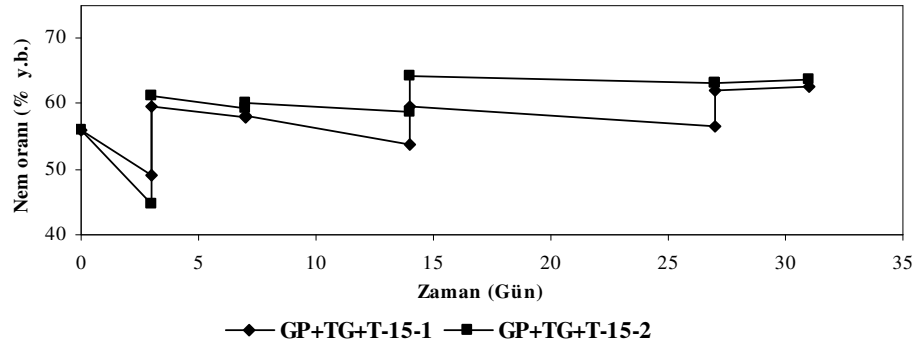
Reaktörlerde karıştırma zamanlarında alınan örneklerde gerçekleştirilen nem analiz sonuçları Şekil 4.6–Şekil 4.10 da verilmiştir. Tüm reaktörlerde deney başlangıcının 3, 7, 14 ve 27. günlerinde karıştırma gerçekleştirilmiştir. Karıştırmada materyalin hava akımı ile ilk olarak temas eden alt yüzeylerin hızlı bir şekilde soğuduğu ve ayrıca reaktörün üst yüzeyinin ise yoğun su buharının damlaması nedeniyle orta kısımlardaki kompost örneklerinden daha nemli olduğu gözlenmiştir. Ayrıca reaktör yan yüzeyinde de yine yoğunlaşma nedeniyle nem birikmesi tespit edilmiştir.



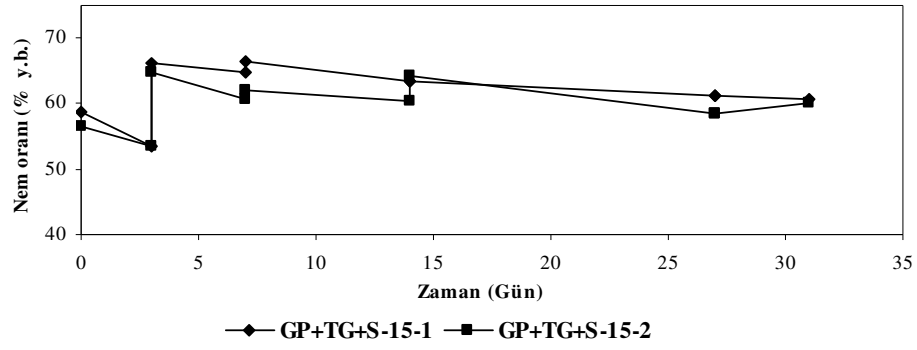
Havalandırma ile reaktörlerden uzaklaştırılan nem miktarı zamanla azalarak kompostlaştırma işlemini yavaşlatacak olumsuz koşullara yol açmaktadır. Karıştırma zamanlarında materyale su ilavesi yapılmıştır. Kompost reaktörleri için verilen nem-zaman grafiklerinde aynı güne ait pikler bu ilaveleri göstermektedir.



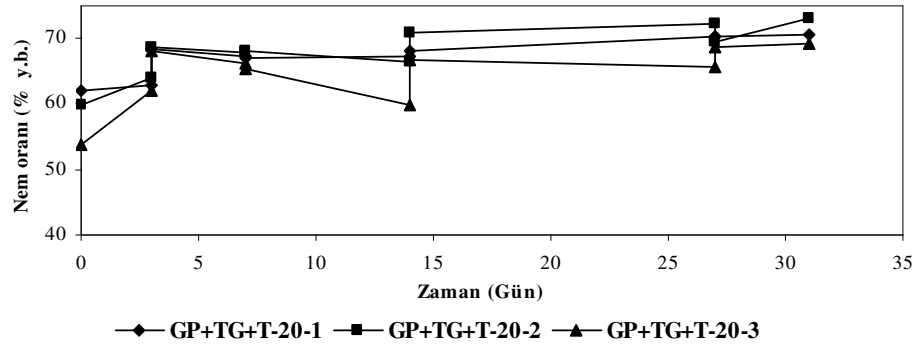
Şekil 4.6. GP+TG-10 karışımında, kompost nemindeki değişme



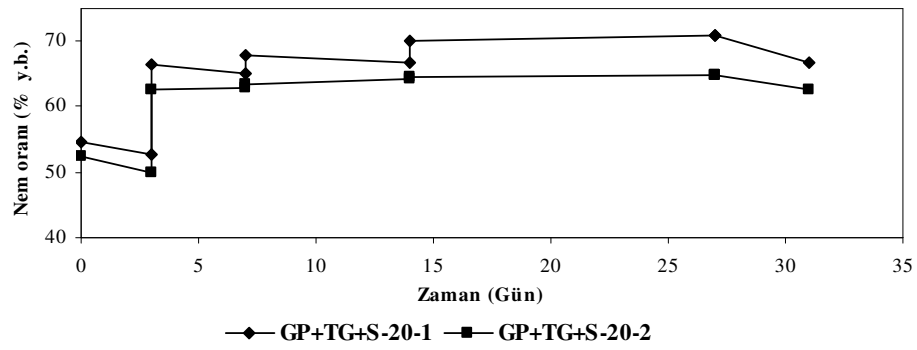
Şekil 4.7. GP+TG+T-15 karışımında, kompost nemindeki değişme



Şekil 4.8. GP+TG+S-15 karışımında, kompost nemindeki değişme



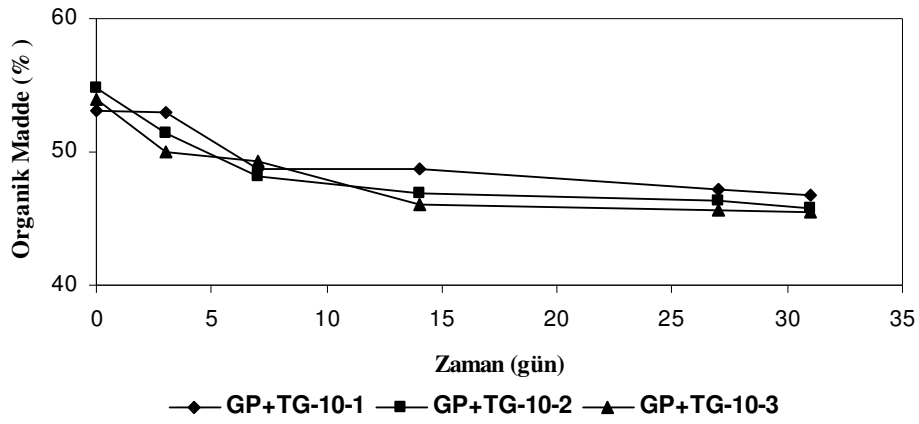
Şekil 4.9. GP+TG+T-20 karışımında, kompost nemindeki değişme



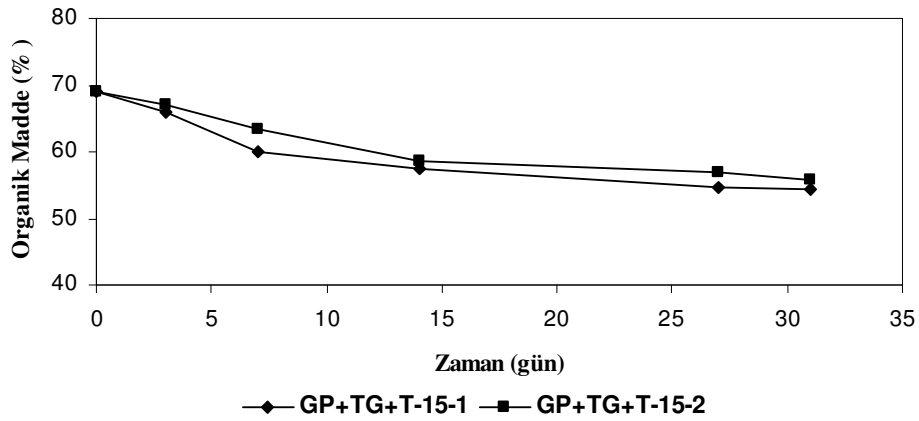
Şekil 4.10 GP+TG+S-20 karışımında, kompost nemindeki değişme

#### 4.1.3. Organik maddedeki değişim

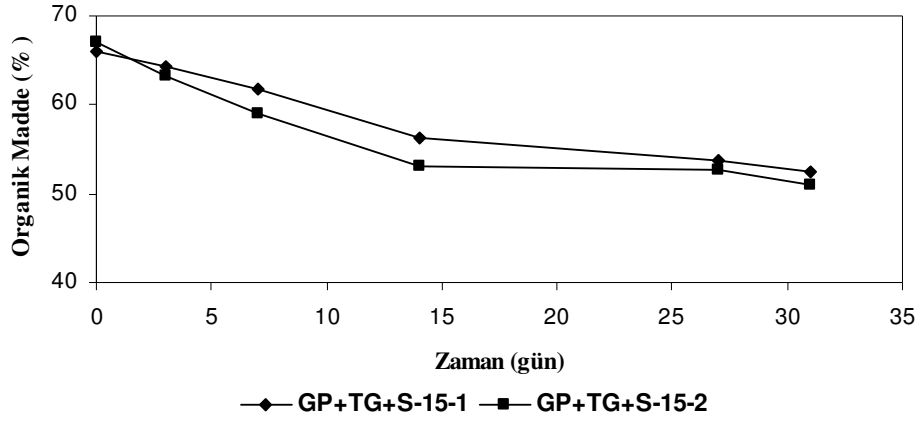
Kompostlaştırma işleminin başarı ölçütlerinden olan organik kuru madde miktarındaki azalma her bir reaktördeki kompost karışımı için zamanın bir fonksiyonu olarak Şekil 4.11– 4.15 de verilmiştir. Ayrıca organik maddedeki toplam azalma miktarları ise % olarak hesaplanmış ve Çizelge 4.2. de verilmiştir. Grafiklerden de anlaşılacağı gibi organik madde de kaydedilen en yüksek azalma karbon kaynağı olarak saman kullanılan GP+TG+S-20 olarak hesaplanan karışımda % 30 olarak kaydedilmiştir.



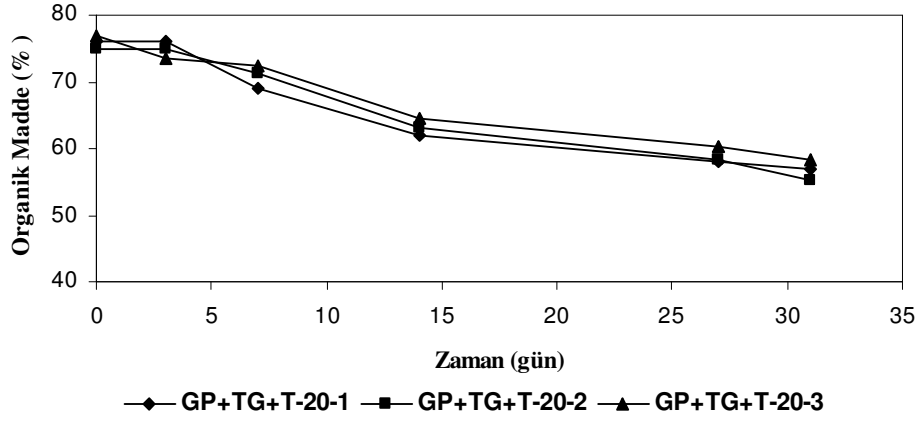
Şekil 4.11. GP+TG-10 karışımında organik maddedeki değişim



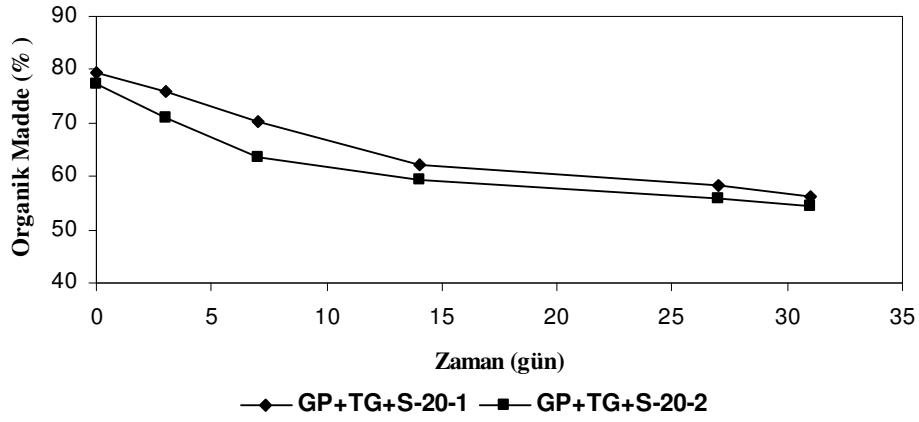
Şekil 4.12. GP+TG+T-15 karışımında organik maddedeki değişim



Şekil 4.13. GP+TG+S-15 karışımında organik maddedeki değişim



Şekil 4.14. GP+TG+T-20 karışımında organik maddedeki değişim



Şekil 4.15. GP+TG+S-20 karışımında organik maddedeki değişim

Denemede elde edilen organik madde miktarındaki toplam azalma miktarı ise Çizelge 4.2. de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Organik madde miktarlarındaki toplam azalma

| Karışım    | Tekerrür |         |        | ORTALAMA |
|------------|----------|---------|--------|----------|
|            | 1. Tek.  | 2. Tek. | 3. Tek |          |
| GP+TG      | 21.77    | 27.7    | 23.03  | 24.17 c* |
| GP+TG+T-15 | 21.69    | 20.26   | -      | 20.98 c  |
| GP+TG+S-15 | 22.43    | 24.63   | -      | 23.53 c  |
| GP+TG+T-20 | 28.07    | 31.50   | 33.72  | 31.1 b   |
| GP+TG+S-20 | 38.15    | 38.40   | -      | 38.28 a  |

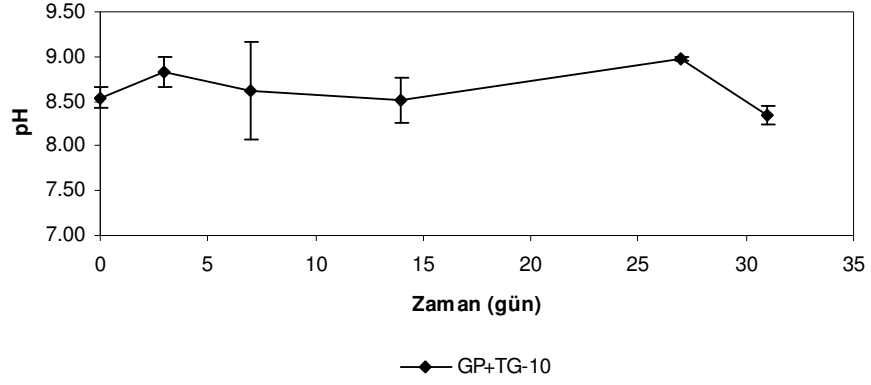
\*: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık vardır (P<0.05).

Çizelge den görüldüğü gibi;

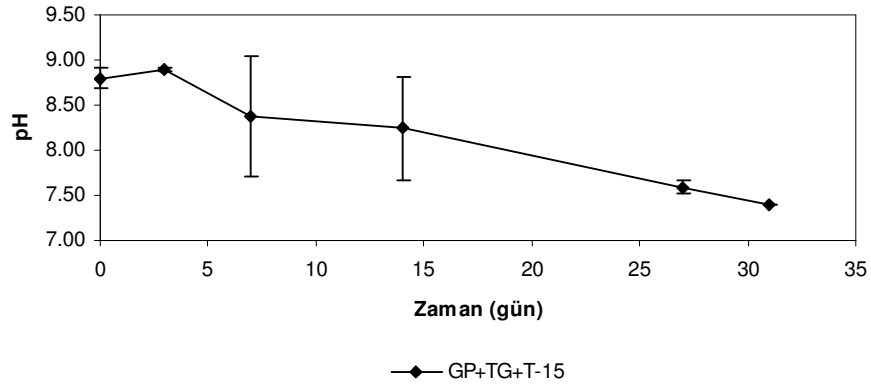
- C/N oranı arttıkça organik maddedeki azalma miktarı artmıştır.
- C/N oranı 10 ile 15 arasında organik maddedeki azalma bakımından istatistiki açıdan farklılık yoktur.
- C/N oranı 15 olduğunda talaş ve saman uygulamaları arasında organik maddedeki azalma dikkate alındığında istatistiksel olarak farklılık gözlenmemiştir.
- C/N oranı 20 olduğunda ise en yüksek ayrışma saman kullanılan karışımda elde edilmiştir.

#### 4.3.4. pH ve EC

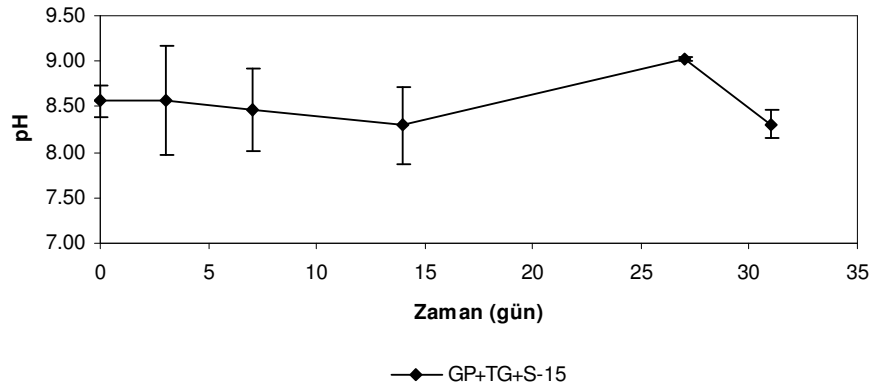
I. Denemede alınan örneklerde gerçekleştirilmiş olan pH ölçüm sonuçları Şekil 4.16-4-20 de verilmiştir. Kompostlaştırma işleminde karışımlar arasında pH açısından önemli bir farklılık gözlenmemiştir. pH değerleri kompostlaştırma işlemi süresince artış ve azalışlar göstermiştir. Ancak tüm karışımlar ve tüm reaktörler için, pH değerlerinin başlangıç değerlerine göre azaldığı söylenebilir. Bu durum kompostlaştırma işleminin tamponlama (buffering) kapasitesi ile açıklanabilir (Rynk, 1992; Ekinci vd., 2004)



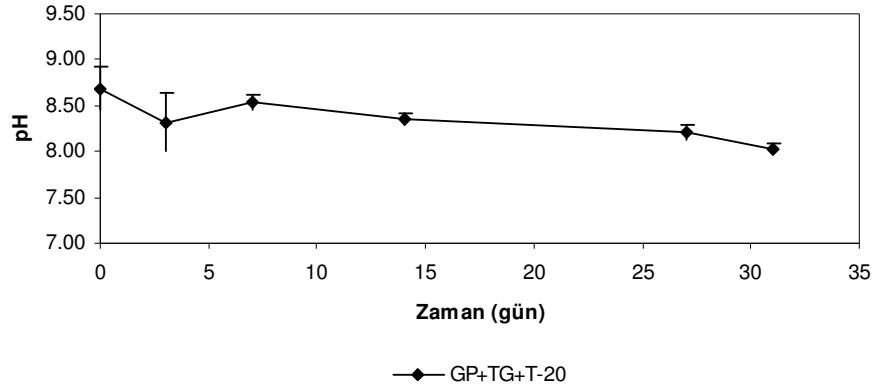
Şekil 4.16. GP+TG+10 karışımında ortalama pH'nın zamanla değişimi



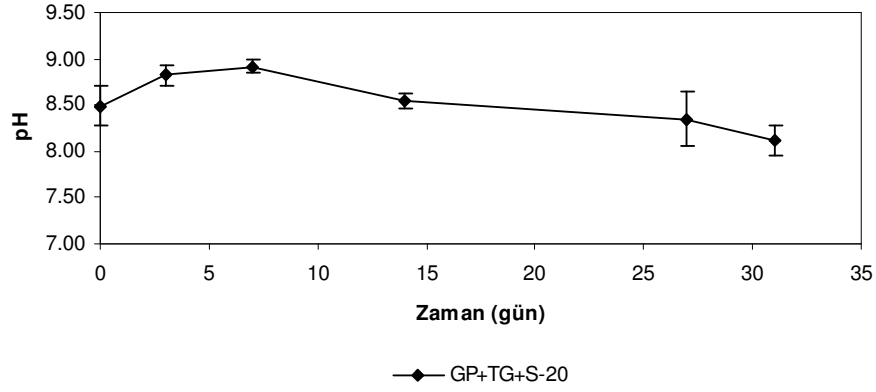
Şekil 4.17. GP+TG+T-15 karışımında ortalama pH'nın zamanla değişimi



Şekil 4.18. GP+TG+S-15 karışımında ortalama pH'nın zamanla değişimi

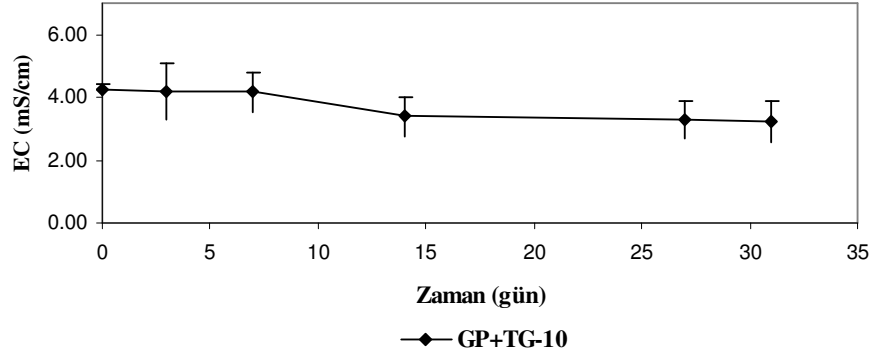


Şekil 4.19. GP+TG+T-20 karışımında ortalama pH'nın zamanla değişimi

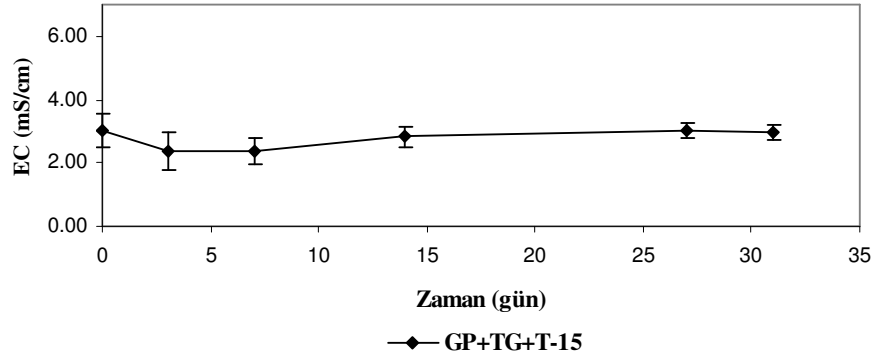


Şekil 4.20. GP+TG+S-20 karışımında ortalama pH'nın zamanla değişimi

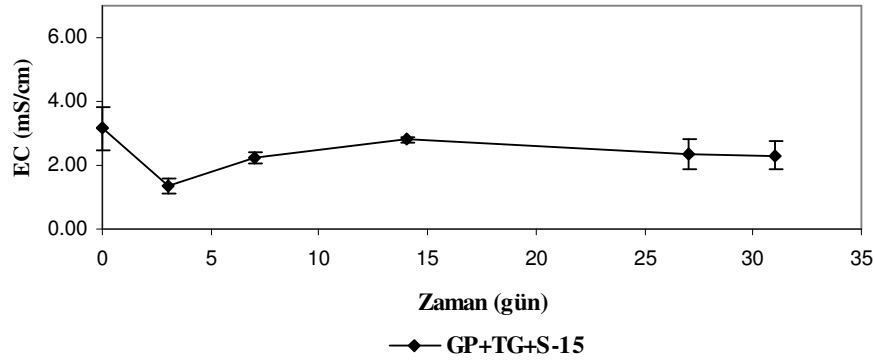
I. Denemede karışımlara ait ortalama EC değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.21-4-24 te görülmektedir. Buna göre; C/N oranları arttıkça EC değerlerinde bir azalma gözlenirken, proses sonunda EC değerlerinde başlangıç değerlerine göre azalma meydana geldiği söylenebilir.



Şekil 4.21. GP+TG karışımında ortalama EC nin zamanla değişimi

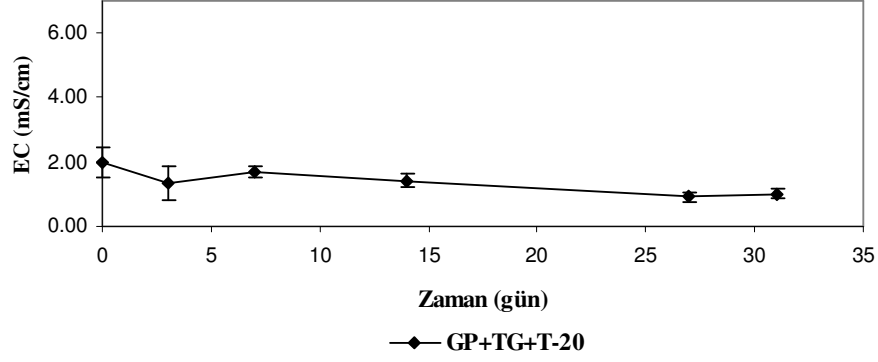


Şekil 4.22. GP+TG+T-15 karışımında ortalama EC nin zamanla değişimi

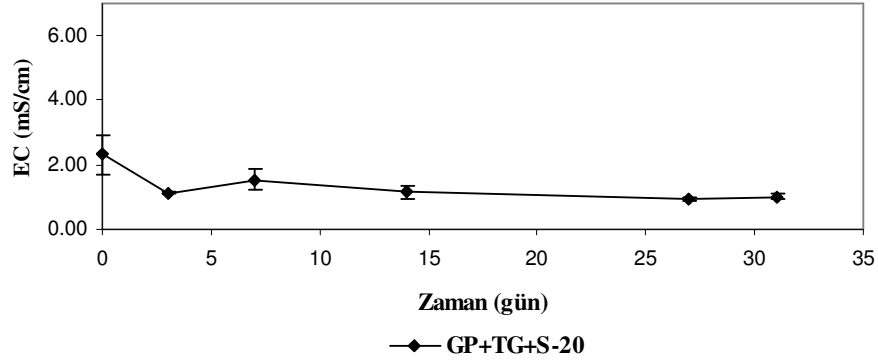


Şekil 4.23. GP+TG+S-15 karışımında ortalama EC nin zamanla değişimi





Şekil 4.24. GP+TG+T-20 karışımında ortalama EC nin zamanla değişimi



Şekil 4.25. GP+TG+S-20 karışımında ortalama EC nin zamanla değişimi

#### 4.1.5. Kuru madde kaybı

I. Deneme’de kompost karışımlarından ölçülen kuru madde kayıpları Çizelge 4.3. de görülmektedir. Buna göre; en yüksek kuru madde kaybı % 38 değeri ile GP+TG+S-20 karışımında elde edilmiştir. Bu karışımı ortalama % 31 kayıp ile GP+TG+T-20 uygulaması takip etmiştir. C/N oranı 15 olarak ayarlanan her iki talaş ve saman ilaveli karışımlarda da istatistiki açıdan farklılık ortaya çıkmamıştır. C/N oranı 10 olan ve C kaynağı ilavesi içermeyen GP+TG karışımı ise % 24 kuru madde kaybı ile sonuçlanmıştır.

Çizelge 4.3. I. Deneme için kuru madde miktarındaki azalma

| Karışım    | GP+TG               |        |        | GP+TG+T-15          |        | GP+TG+S-15          |        | GP+TG+T-20          |        |        | GP+TG+S-20          |        |
|------------|---------------------|--------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|--------|---------------------|--------|
|            | 1. Tek              | 2. Tek | 3. Tek | 1. Tek              | 2. Tek | 1. Tek              | 2. Tek | 1. Tek              | 2. Tek | 3. Tek | 1. Tek              | 2. Tek |
| % azalma   | 21.76               | 27.70  | 23.03  | 21.69               | 20.26  | 22.43               | 24.63  | 28.07               | 31.50  | 33.72  | 38.15               | 38.40  |
| <b>ORT</b> | <b>24.16±3.13 c</b> |        |        | <b>20.98±1.02 c</b> |        | <b>23.53±1.55 c</b> |        | <b>31.09±2.85 b</b> |        |        | <b>38.27±0.85 a</b> |        |

\* farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiki açıdan önemli farklılık bulunmuştur.

#### 4.1.6. mR değerleri

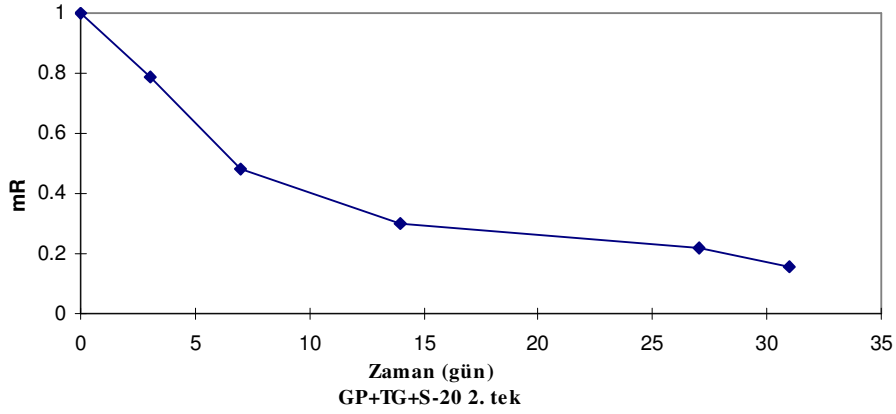
mR değeri daha metot kısmında ayrıntılı olarak ele alınmıştır. mR, birimsiz bir sayıdır ve kompostlaştırma işleminin ne kadar ilerlediğini belirtmek için kullanışlı bir tekniktir. Değeri daima 1 ile 0 arasında değişir.  $\theta = 0$  olduğunda  $mR=1$  ve  $\theta = \infty$  olduğunda  $mR=0$  olmaktadır. Kompost karışımlarında kaydedilen kütle ölçümlerinden yararlanılarak her bir karışım reaktörü için hesaplanmıştır. Çizelge 4.4. de ise ortalama mR değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.4. I. Deneme' de hesaplanan mR değerleri

| Karışım    | GP+TG              |      |      | GP+TG+T-15          |      | GP+TG+S+15         |     | GP+TG+T-20         |     |     | GP+TG+S-20           |      |
|------------|--------------------|------|------|---------------------|------|--------------------|-----|--------------------|-----|-----|----------------------|------|
|            | 1                  | 2    | 3    | 1                   | 2    | 1                  | 2   | 1                  | 2   | 3   | 1                    | 2    |
| <b>Mr</b>  | 0.59               | 0.49 | 0.58 | 0.52                | 0.54 | 0.53               | 0.5 | 0.35               | 0.3 | 0.2 | 0.13                 | 0.15 |
| <b>Ort</b> | <b>0.55±0.06 c</b> |      |      | <b>0.53±0.014 c</b> |      | <b>0.52±0.02 c</b> |     | <b>0.28±0.08 b</b> |     |     | <b>0.14±0.014 a*</b> |      |

\* farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiki açıdan önemli farklılık bulunmuştur.

Çizelge 4.4 den görüldüğü gibi en düşük mR değeri, 0.14 değeri ile GP+TG+S-20 karışımında elde edilmiştir. Bu değere en yakın değer ise, 0.28 değeri ile GP+TG+T-20 karışımında ortaya çıkmıştır. Ayrıca C/N oranı 10 ve 15 olan karışımlarda mR değeri bakımından önemli bir farklılık gözlenmemiştir. Örnek olarak, GP+TG+S-20 karışımı için deney süresince mR ın zamana bağlı olarak değişimi ise Şekil 4.26 da verilmiştir.



Şekil 4.26. GP+TG+S-20-2 reaktörüne ait mR değerinin zamana bağlı olarak değişimi

## 4.2. II. Deneme sonuçları

I. Deneme’de karbon kaynağı olarak talaş ve saman kullanılmıştır. Organik maddedeki azalma, kuru madde kayıpları ve mR değerleri sonuçlarını dikkate alarak, bu çalışma için uygun karbon kaynağının saman olabileceği görülmüştür. Bu nedenle gül posası, tavuk gübresi karışımına belirli miktarlarda saman ilave edilerek C/N=15, 20, 25, 30 ve 35 oranları elde edilmiştir.

Bu aşamada tüm deneyler üç tekerrürlü olarak denenmiştir. II. Seri denemeler 21 Ocak 2006 tarihinde başlamış ve 28 gün sürdürülmüştür. Deney süresince karıştırma işlemi 7, 14, 21 ve 28. günlerde gerçekleştirilmiştir.

### 4.2.1. Sıcaklık

İkinci seri denemelerde elde edilen kompost ortamı sıcaklığının zamana göre değişimi Şekil 4.27-4.31 de verilmiştir.

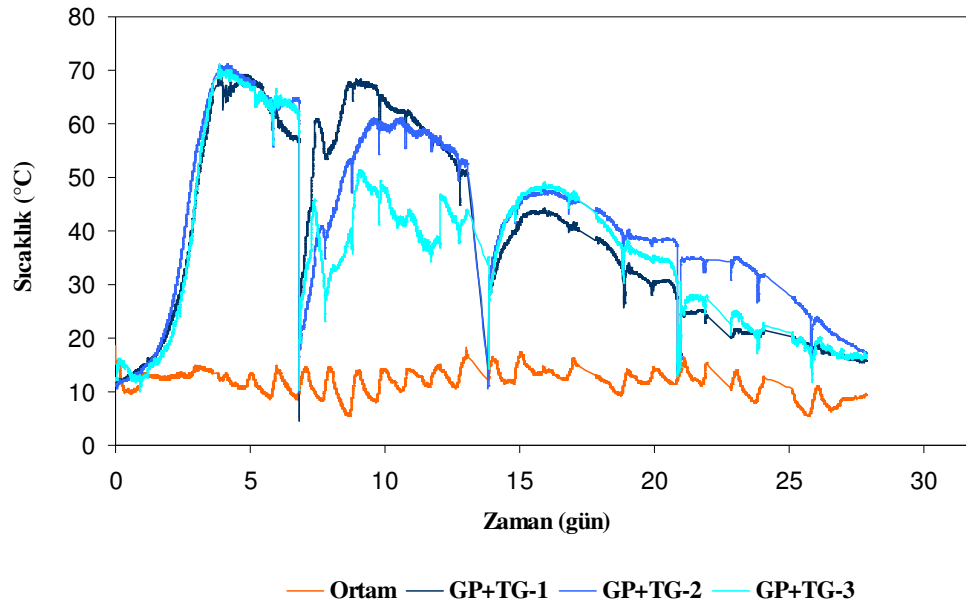
Deney süresince çeşitli sürelerde 6 kez elektrik kesintisi meydana gelmiştir (Çizelge 4.5.). Bu aksalıktan özellikle sıcaklık ölçümleri etkilenmiştir. Çizelge 4.5. den görüldüğü üzere 28 gün süresince kaydedilen sıcaklık verilerinin % 10.86 lık kısmı elektrik kesintileri nedeniyle kaydedilememiştir.

Çizelge 4.5. Elektrik kesintilerinden dolayı sıcaklık verilerinin alınmadığı süre

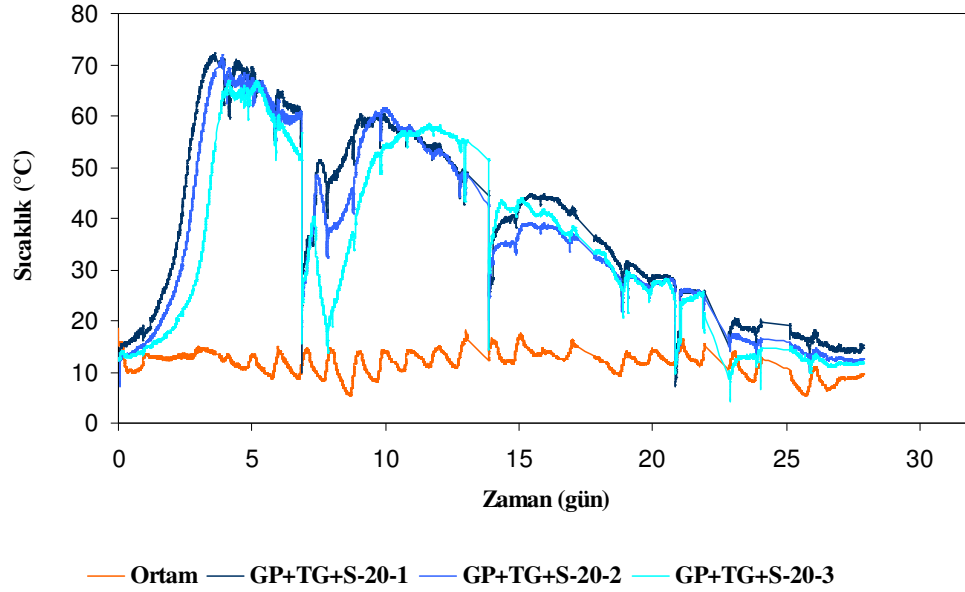
|                          | Kesintiler |       |       |       |       |       | TOPLAM |
|--------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|                          | 1          | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |        |
| Kesinti başlangıcı (gün) | 3.61       | 13.05 | 17.17 | 17.84 | 21.93 | 24.07 | -      |
| Kesinti bitiş (gün)      | 3.78       | 13.83 | 17.82 | 17.86 | 22.83 | 24.37 | -      |
| Kesintisi Süresi (s:d)   | 4:07       | 18:47 | 15:26 | 00:46 | 21:30 | 12:00 | 40:36  |
| % veri kaybı süresi      | 0.62       | 2.81  | 2.31  | 0.11  | 3.22  | 1.79  | 10.86  |

Ayrıca deneyin 8. gününde aralıklı havalandırmayı sağlayan zamanlayıcıda bir arıza meydana gelmiştir. Zaman saati havalandırmayı kesmeyerek reaktörlerin sürekli olarak havalandırılmasına neden olmuş ve böylece tüm reaktörlerin sıcaklıklarında bir düşme meydana gelmiştir. Arızanın giderilmesiyle birlikte kompost sıcaklıkları tekrar yükselmiştir.

GP+TG+S-15 karışımında tüm reaktörlerde sıcaklıklar 4. günde 70 °C ye ulaşmıştır (Şekil 4.27). İlk karıştırma kompostlaştırmanın 7. gününde gerçekleştirilmiştir ve sıcaklıkların karıştırma işleminden sonra yeniden termofilik sıcaklıklara yükseldiği görülmüştür. Yukarıda bahsedilen havalandırma arızası özellikle GP+TG+S-15-3 olarak isimlendirilmiş olan reaktörde yaklaşık 25°C lik düşüşe neden olmuştur. Havalandırma arızasının giderilmesi ile birlikte sıcaklıklar yeniden yükselmiştir.

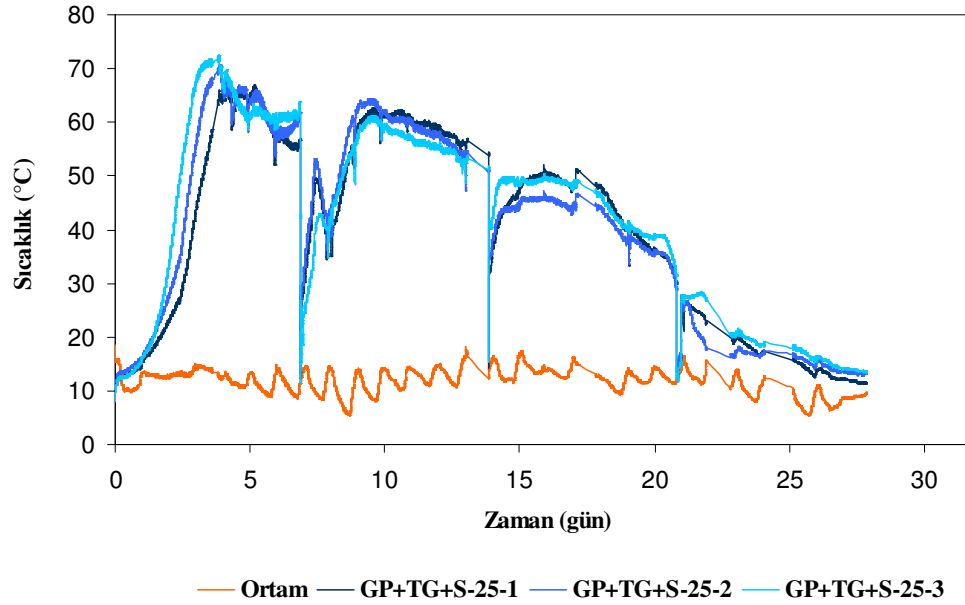


Şekil 4.27. GP+TG-15 karışımında kompost sıcaklığının zamanla değişimi

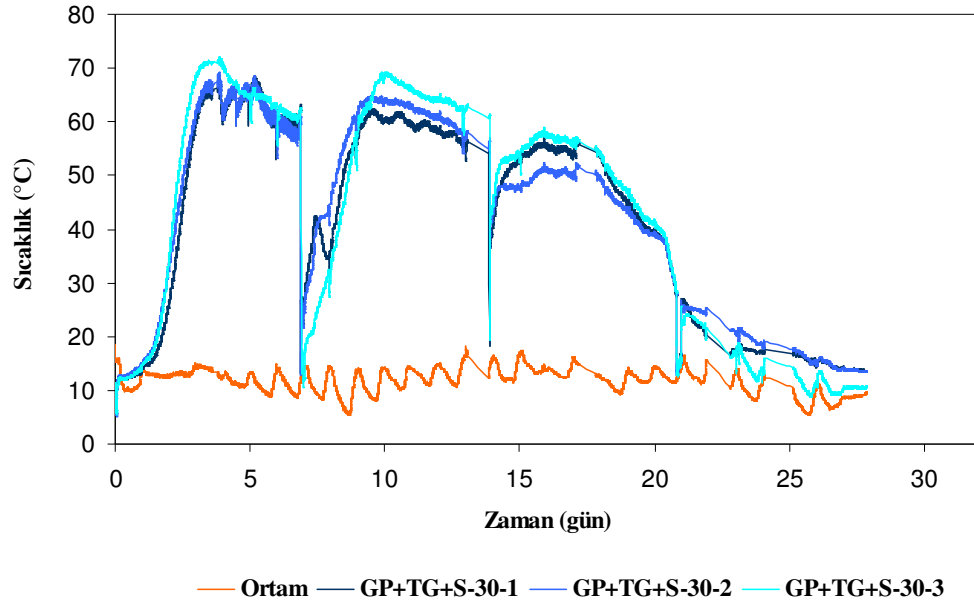


Şekil 4.28. GP+TG+S-20 karışımında kompost sıcaklığının zamanla değişimi

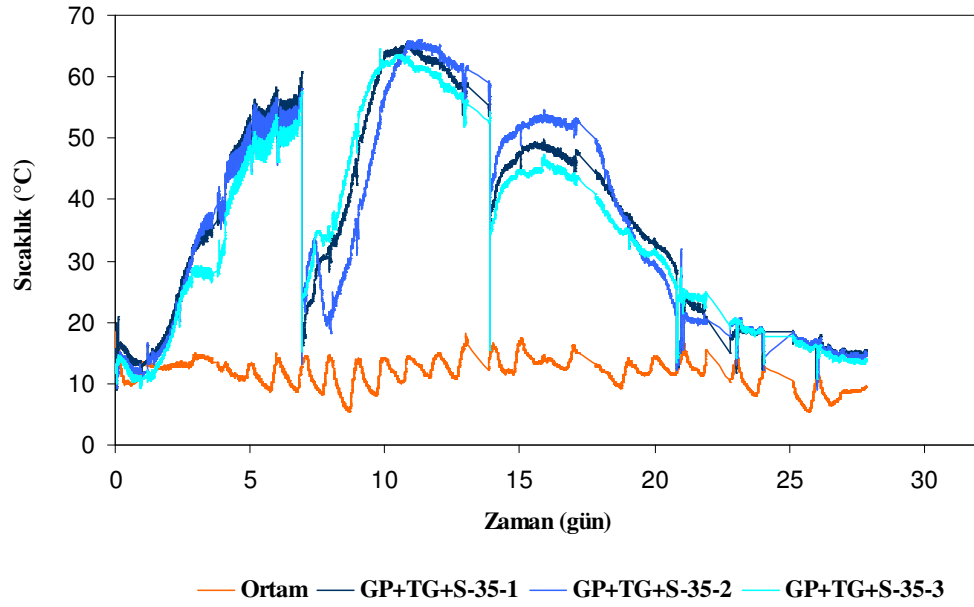
GP+TG+S-20 karışım reaktörlerinde sıcaklığın zamanla değişimi Şekil 4.28 de görülmektedir. Reaktör sıcaklıklarının 45°C sıcaklığa yaklaşık sırasıyla 2.48 2.82 ve 3.07 günde ulaşmışlardır. Şekilde ayrıca daha önceden bahsedilen havalandırma arızası sebebiyle özellikle GP+TG+S-20-3 numaralı reaktörde kompost sıcaklığının ortam sıcaklığına kadar düştüğü görülmektedir.



Şekil 4.29. GP+TG+S-25 karışımında kompost sıcaklığının zamanla değişimi.



Şekil 4.30. GP+TG+S-30 karışımında kompost sıcaklığının zamanla değişimi.



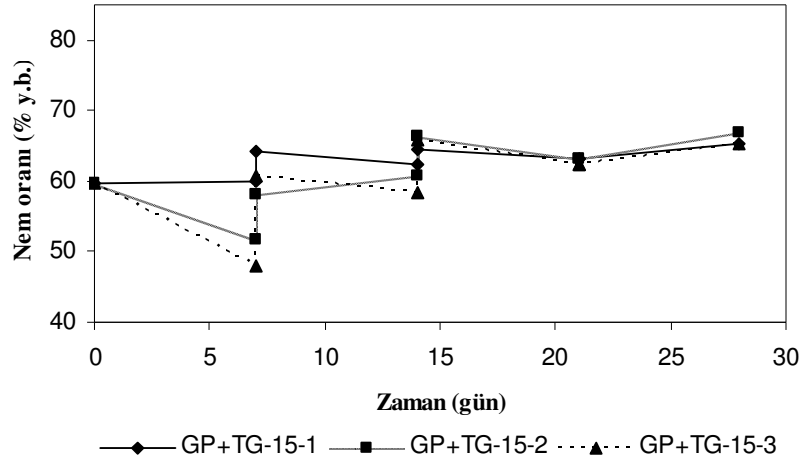
Şekil 4.31. GP+TG+S-35 karışımında kompost sıcaklığının zamanla değişimi.

Şekil 4.31 den görüldüğü üzere, GP+TG+S-35 karışımı tüm diğer karışımlarla karşılaştırıldığında, sıcakların daha geç sürede yükseldiği görülmüştür. Bu karışımda

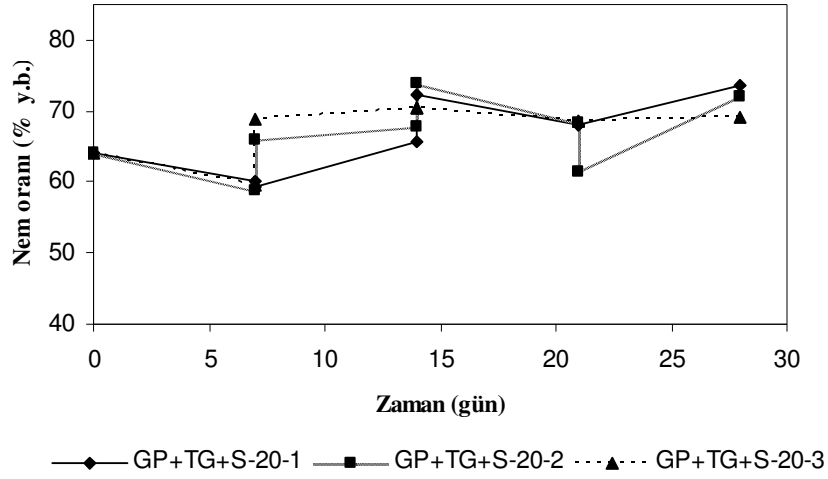
oluşan en yüksek sıcaklıklar yine tüm diğer reaktörlerden farklı olarak 1. karıştırmadan sonra elde edilmiştir. Bu karışım için dikkate değer bir başka konu ise, özellikle kompostlaştırmanın ilk karıştırmaya kadar süren ilk haftasında, havalandırma her çalıştığında sıcaklıklar 3-5°C kadar düşmesidir. Bunun sebebi olarak bu karışımın diğer karışımlara kıyasla daha fazla boşluk oranına sahip olması gösterilebilir.

#### 4.2.2. Nem Oranı

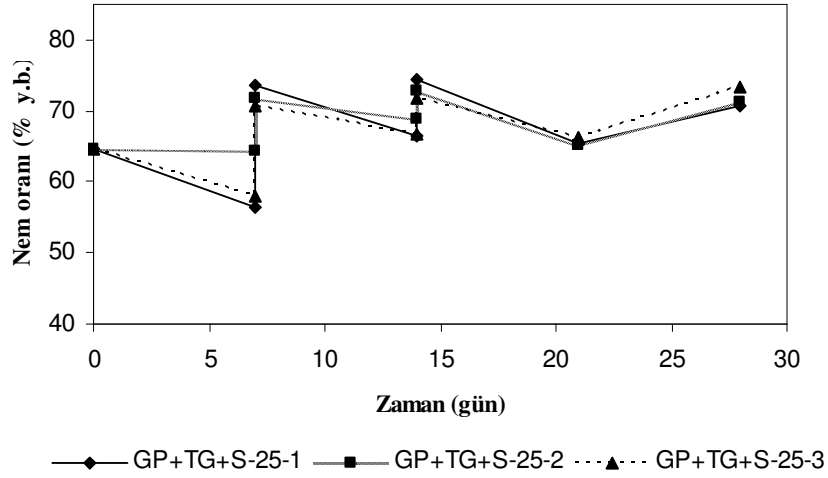
II. Seri deneylerde haftalık olarak elde edilmiş nem oranlarının zamana göre değişimi Şekil 4.32-4.37 de verilmiştir.



Şekil 4.32. GP+TG+S-15 karışımında kompost neminin değişimi.



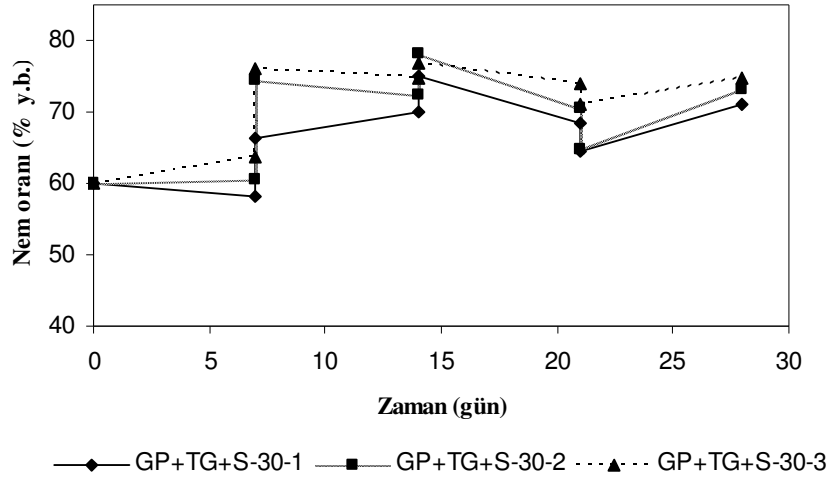
Şekil 4.33. GP+TG+S-20 karışımında kompost neminin değişimi.



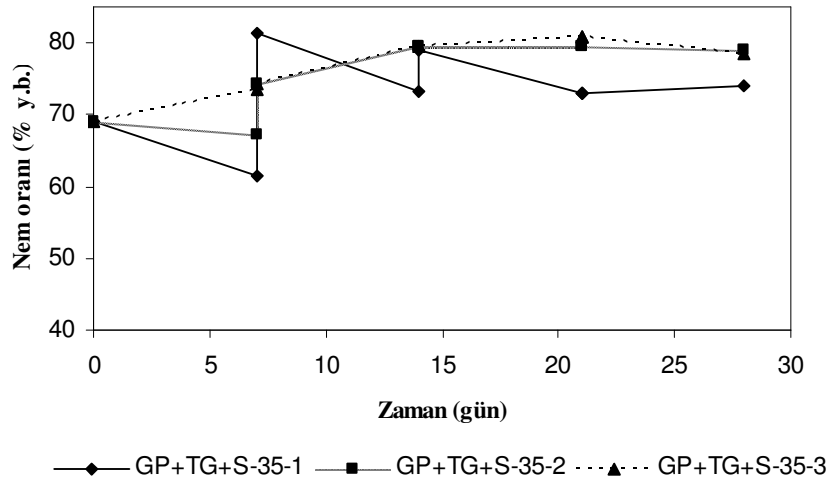
Şekil 4.34. GP+TG+S-25 karışımında kompost neminin değişimi.

Kompostlaştırma işleminin 7, 14, 21 ve 28. günlerinde karıştırma yapılmıştır. İlk iki karıştırmada nem ilavesi yapılırken son iki karıştırmada kompost kütlesi nem ilavesine gerek duyulmayacak kadar nemli olduğundan ilave nemlendirmeye ihtiyaç duyulmamıştır.





Şekil 4.35. GP+TG+S-30 karışımında kompost neminin değişimi.

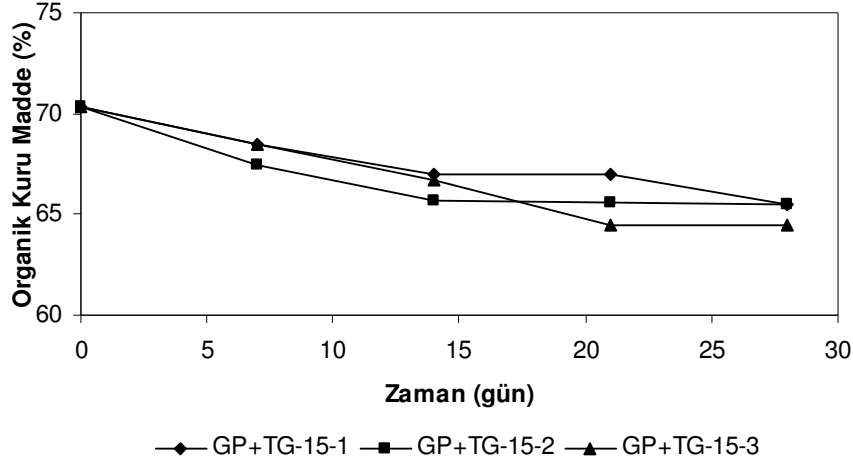


Şekil 4.36 GP+TG+S-35 karışımında kompost neminin değişimi.

Tüm karışımlarda kompostlaştırma işleminin ilk haftasında % nem miktarında bir azalma kaydedilmiştir.

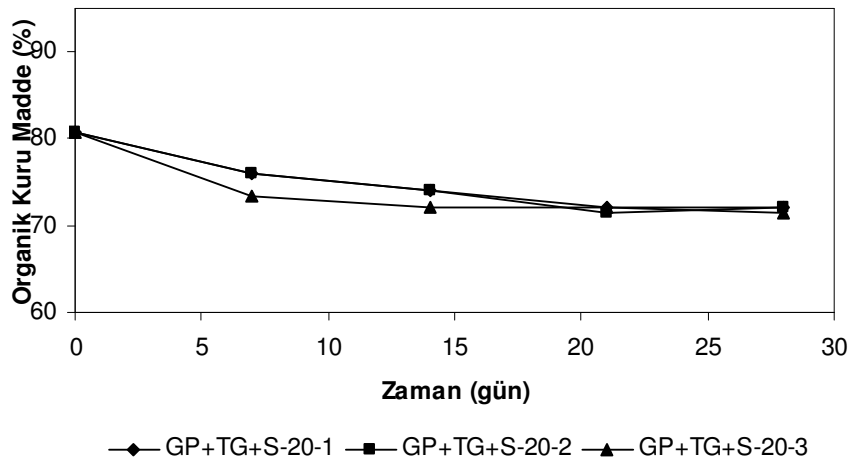
### 4.2.3. Organik madde miktarı

Kompost kütlesinden haftalık olarak alınan örneklerde gerçekleştirilen organik madde analiz sonuçları Şekil 4.37-4.41 de verilmiştir.

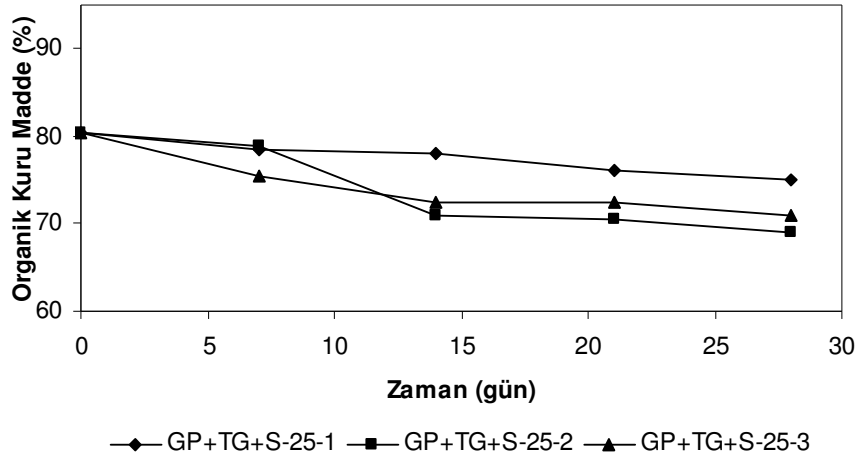


Şekil 4.37. GP+TG+S-15 karışımında organik maddenin (%) haftalık değişimi.

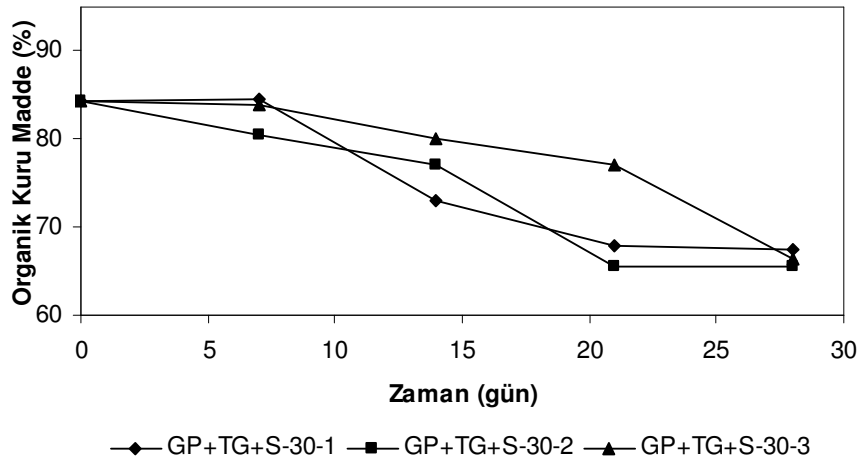
GP+TG+S-15 karışımında organik maddenin değişimi Şekil 4.27 de verilmiştir. Organik maddede ilk iki hafta hızlı bir şekilde azalma kaydedilmiştir. İkinci haftadan sonra yine azalma kaydedilmiş ancak azalmanın hızında düşme gözlenmiştir.



Şekil 4.38. GP+TG+S-20 karışımında organik maddenin (%) haftalık değişimi.

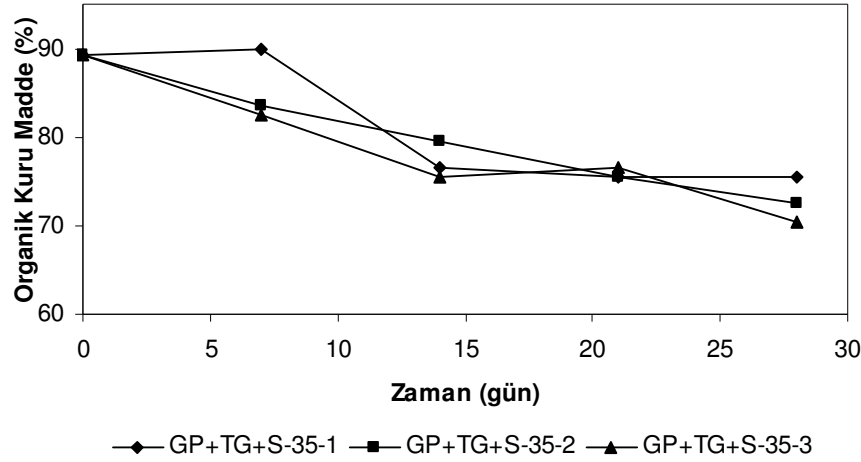


Şekil 4.39. GP+TG+S-25 karışımında organik maddenin (%) haftalık değişimi.



Şekil 4.40. GP+TG+S-30 karışımında organik maddenin (%) haftalık değişimi.

GP+TG+S-30 karışımında organik maddenin azalması ilk 14 gün düşük iken, azalma özellikle son iki haftada gerçekleşmiştir (Şekil 4.40). C/N oranı yüksek olan karışımlarda bu durum gözlenmektedir (Haug 1993). Bu durumun sebebi olarak fazla miktarda bulunan karbonun tüketilmesi için gereken zamanın uzaması gösterilebilir.



Şekil 4.41. GP+TG+S-35 karışımında organik maddenin (%) haftalık değişimi.

Çizelge 4.12 de ise II. Denemede yer alan karışımlara ait organik maddedeki toplam azalma miktarları verilmiştir. Hesaplama sonuçlarına göre, organik maddedeki % azalma miktarı en yüksek GP+TG+S-30 karışımında ortaya çıkmıştır. Ancak C/N oranı 30 ile 35 olan karışımlar arasında istatistiki açıdan önemli bir fark bulunmamıştır. Benzer şekilde C/N oranı 15, 20 ve 25 arasında organik maddedeki azalma yönünden istatistiki açıdan önemli bir farklılık bulunmazken, en düşük azalma C/N oranı 10 olan karışımda ortaya çıkmıştır.

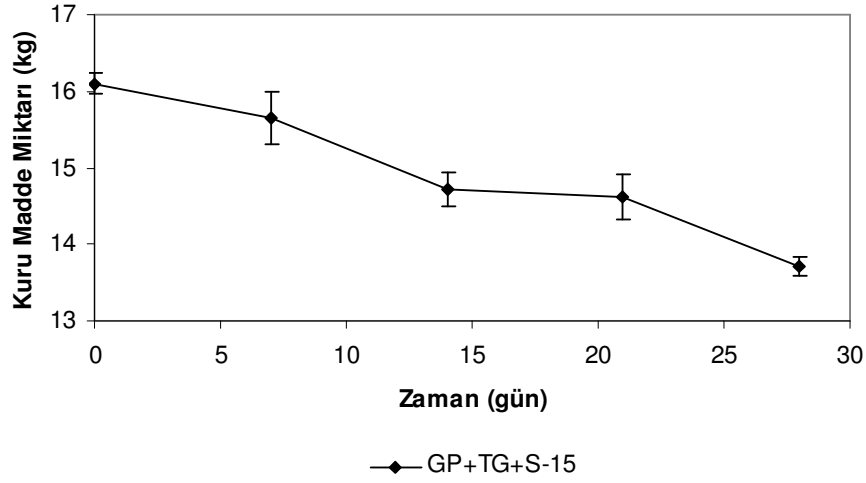
Çizelge 4.6. Organik madde miktarlarındaki toplam azalma (%)

| C/N | Tekerrür |         |         |                     |
|-----|----------|---------|---------|---------------------|
|     | 1. Tek.  | 2. Tek. | 3. Tek. | Ortalama            |
| 15  | 6.87     | 6.87    | 8.29    | 7.34 b <sup>z</sup> |
| 20  | 10.75    | 10.75   | 11.37   | 10.96 b             |
| 25  | 6.64     | 14.10   | 11.61   | 10.78 b             |
| 30  | 19.96    | 22.33   | 21.14   | 21.14 a             |
| 35  | 15.48    | 18.84   | 21.08   | 18.47 a             |

z: Aynı sütunda aynı harflerle gösterilen uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık bulunmamaktadır ( $P < 0.05$ ).

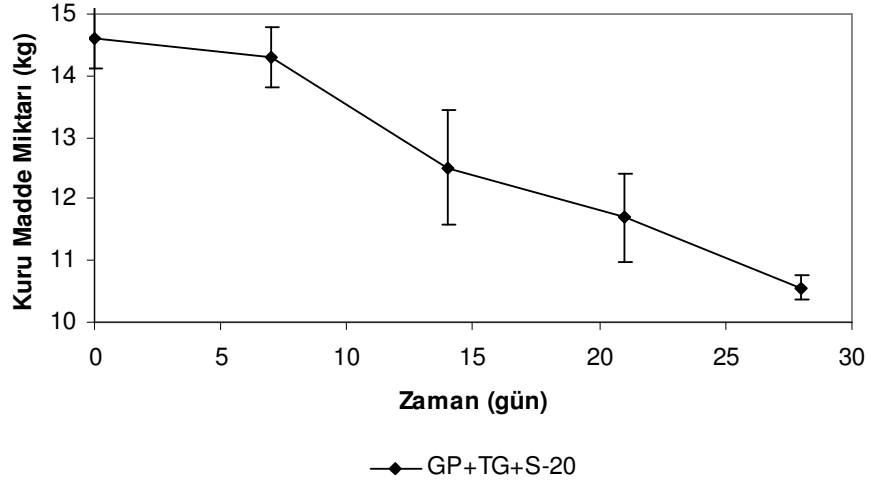
#### 4.2.4. Kuru Madde Kaybı

Kompost kütlesindeki kuru madde kayıpları kompostlaştırma işleminin gösterge değeri olarak değerlendirilmektedir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.32-4.36 da verilmiştir.

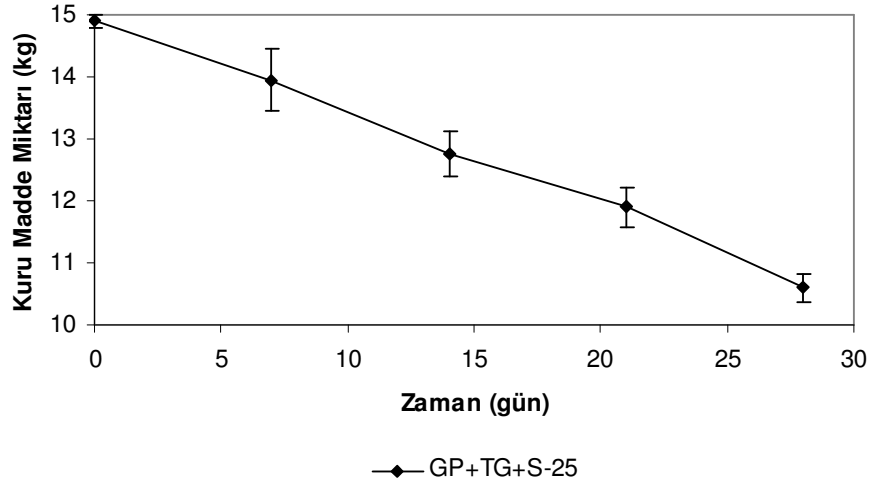


Şekil 4.42. GP+TG+S-15 karışımında ortalama kuru madde miktarlarının haftalık değişimi

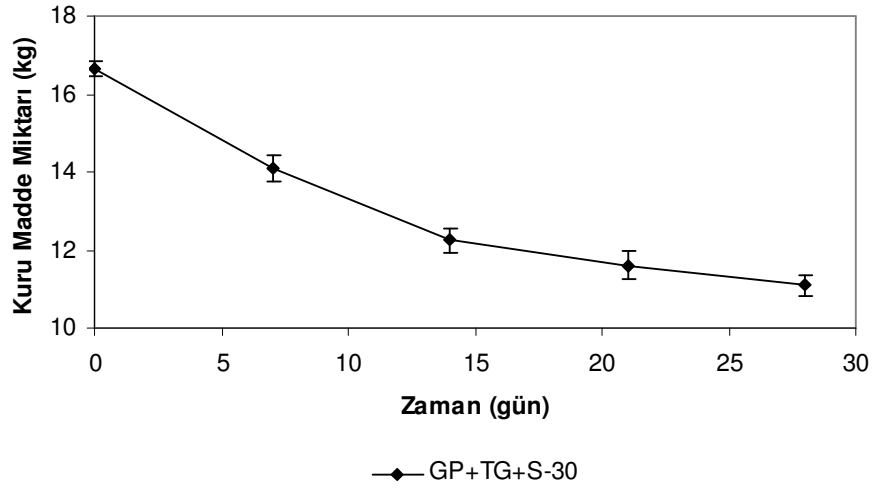
Şekil 4.42 de C/N oranı 15 olan karışımında kuru madde miktarının değişimi görülmektedir. Karışımında kuru madde miktarının işlem süresince azaldığı görülmektedir. Reaktörlerdeki toplam azalma miktarları ayrıca Çizelge 4.10. da verilmiş ve istatistiksel değerlendirme yapılmıştır.



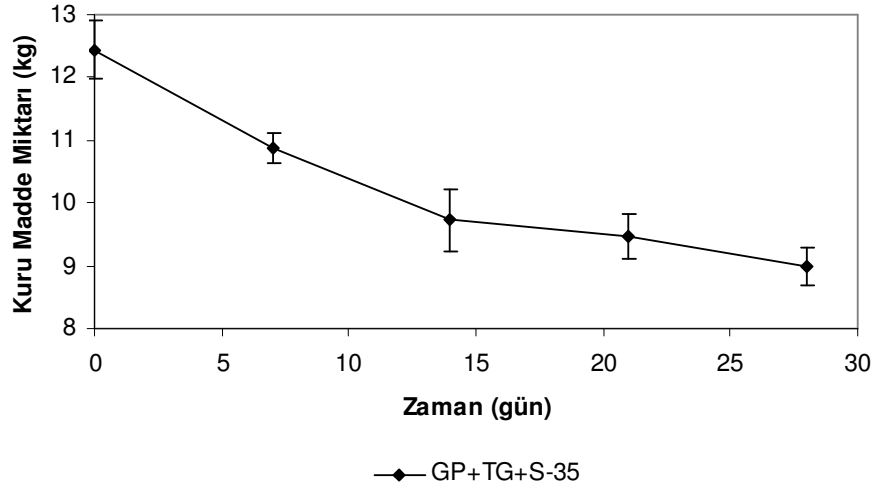
Şekil 4.43. GP+TG+S-20 karışımında ortalama kuru madde miktarının haftalık değişimi



Şekil 4.44. GP+TG+S-25 karışımında ortalama kuru madde miktarının haftalık değişimi



Şekil 4.45. GP+TG+S-30 karışımında ortalama kuru madde miktarının haftalık değişimi



Şekil 4.46. GP+TG+S-35 karışımında ortalama kuru madde miktarının haftalık değişimi

Karışımlardan görüldüğü gibi kuru maddedeki azalma, işlemin hızlı ayrışma aşamasında yani ilk 14 günde hızlı bir şekilde azalırken, zaman ilerledikçe hızı azalmıştır.

Kuru madde miktarlarındaki toplam azalma değerlendirildiğinde ise (Çizelge 4.13), GP+TG+S-30 karışımında en yüksek azalma (%33.37) meydana gelmiştir. Bu değeri ortalama % 28.84 değeri ile GP+TG+S-25 karışımı takip etmiştir. GP+TG+S-20 ve GP+TG+S-35 karışımları üçüncü en iyi grubu oluştururken bu uygulamalar arasında istatistiksel açıdan önemli bir farklılık bulunmamıştır. Kuru maddedeki en az azalma ise ortalama %14.78 ile GP+TG+S-15 karışımında ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.7. Kuru madde miktarlarındaki toplam azalma (%)

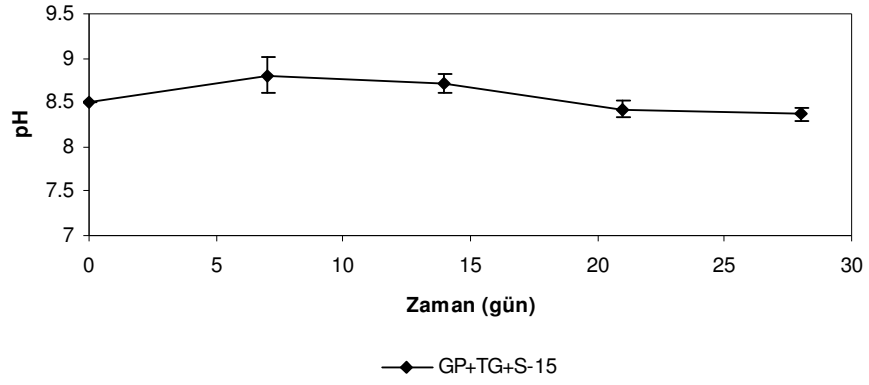
| C/N | Tekerrür |         |         |                      |
|-----|----------|---------|---------|----------------------|
|     | 1. Tek.  | 2. Tek. | 3. Tek. | ORTALAMA             |
| 15  | 16.02    | 14.78   | 13.54   | 14.78 c <sup>z</sup> |
| 20  | 30.67    | 25.70   | 26.70   | 27.69 b              |
| 25  | 24.53    | 30.29   | 31.71   | 28.84 ab             |
| 30  | 30.81    | 33.44   | 35.87   | 33.37 a              |
| 35  | 24.07    | 30.39   | 28.36   | 27.61 b              |

z: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık vardır (P<0.05).

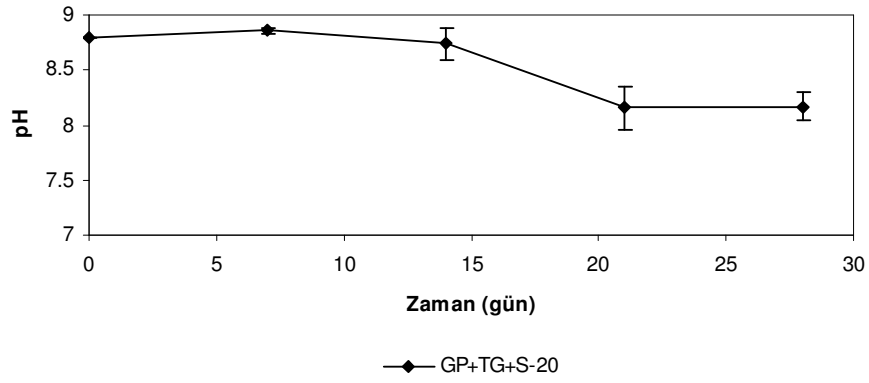
#### 4.2.5. II. Deneme pH ve EC ölçüm sonuçları

II. Denemeye ait pH ölçümleri Şekil 4.47-4.51 de ve EC değerleri ise Şekil 4.52-4.56 da verilmiştir. pH sonuçlarına göre, materyalde kompostlaştırma işlemi süresince artma ve azalma görülebilirken (Rynk, 1992; Haug, 1993) GP+TG+S-30-1 isimli reaktör hariç tüm karışımlarda, başlangıç miktarına göre son pH değeri azalmıştır. pH değerindeki bu hafifçe azalma; kompostlaştırma işleminin ileriki aşamalarında amonyumun volatilizasyonu ve nitrifikasyon işleminden hidrojen iyonlarının serbest bırakılması ile açıklanabilir (Wong vd., 2001).

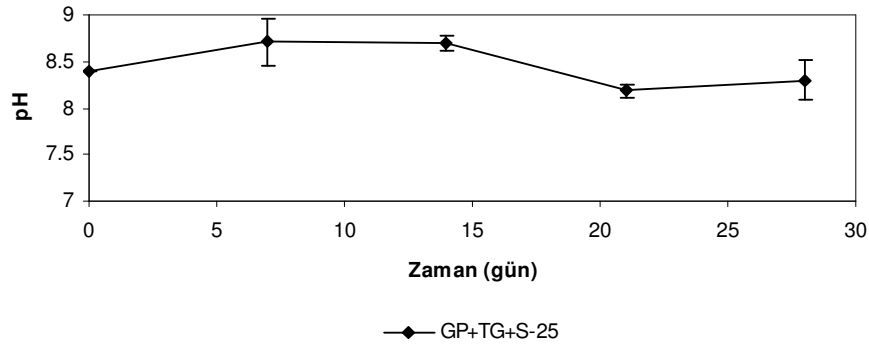




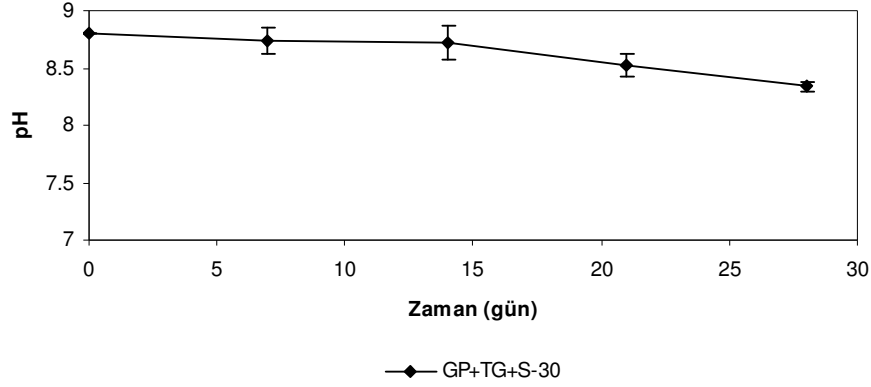
Şekil 4.47. GP+TG+S-15 karışımında pH'nın zamanla değişimi



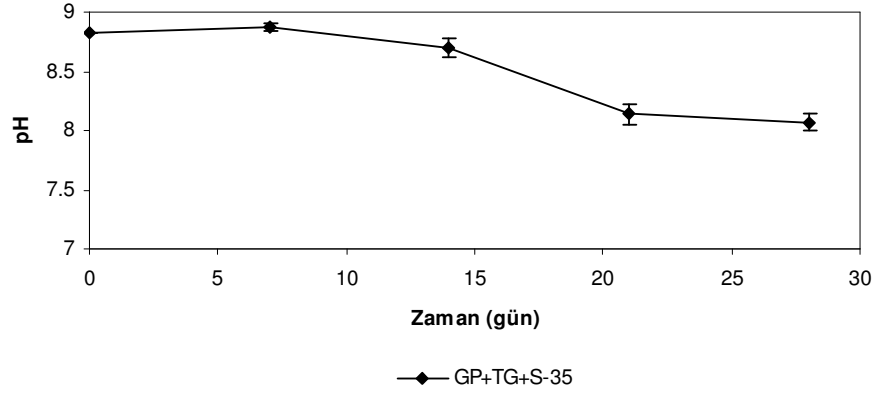
Şekil 4.48. GP+TG+S-20 karışımında pH'nın zamanla değişimi



Şekil 4.49. GP+TG+S-25 karışımında pH'nın zamanla değişimi



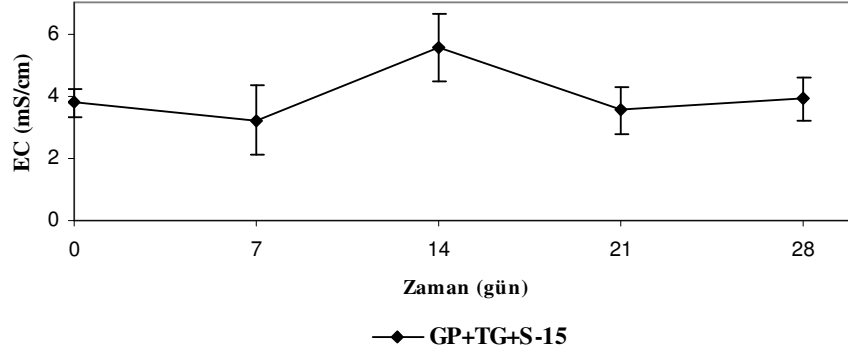
Şekil 4.50. GP+TG+S-30 karışımında pH'nın zamanla değişimi



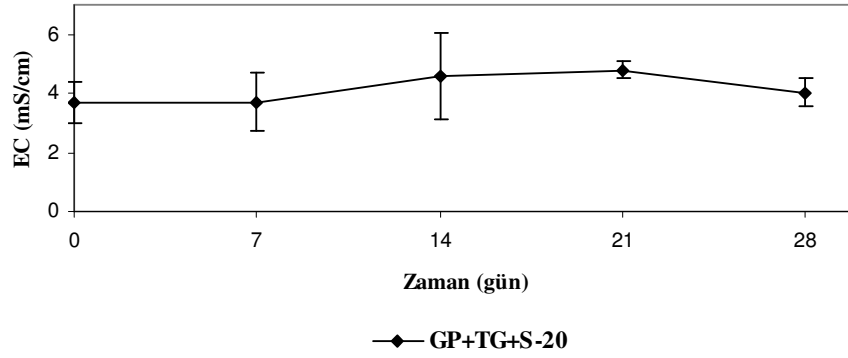
Şekil 4.51. GP+TG+S-35 karışımında pH'nın zamanla değişimi

Elektriksel iletkenlik değerleri dikkate alındığında ise, bu değerler arasında belirgin bir farklılık gözlenmemiştir. Tüm karışımlarda benzer eğilimler kaydedilmiştir. Ancak başlangıç C/N oranı yükseldiğinde, EC değerlerinde azalma gözlenmiştir. Bu durumun azot kaynağı materyallerin azalan oranlarına bağlı olduğu söylenebilir. Kompostlaştırma işleminin ilk 14 günü için özellikler düşük C/N oranına sahip karışımlarda, EC değerlerinde belirgin bir yükselme gözlenmiştir. Bu durumun ağırlık kaybı ve organik materyalin ayrışması ile fosfat gibi mineral tuzların ve amonyum iyonlarının ortaya çıkmasına bağlanabilir (Wong vd., 2001).

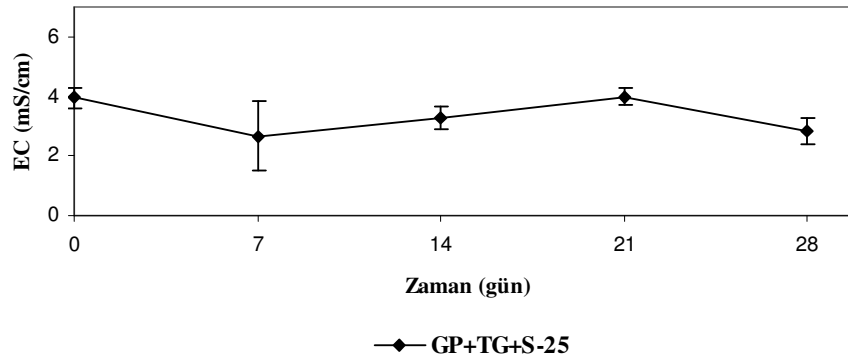
Kompostlaştırma işleminin sonlarında EC değerlerinde meydana gelen azalma ise amonyakın volatilizasyonu ve mineral tuzların çökmesi ile açıklanabilir.



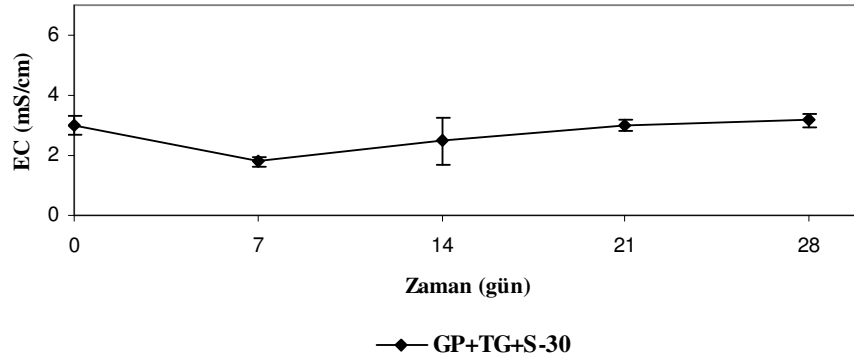
Şekil 4.52. GP+TG+S-15 karışımında EC nin zamanla değişimi



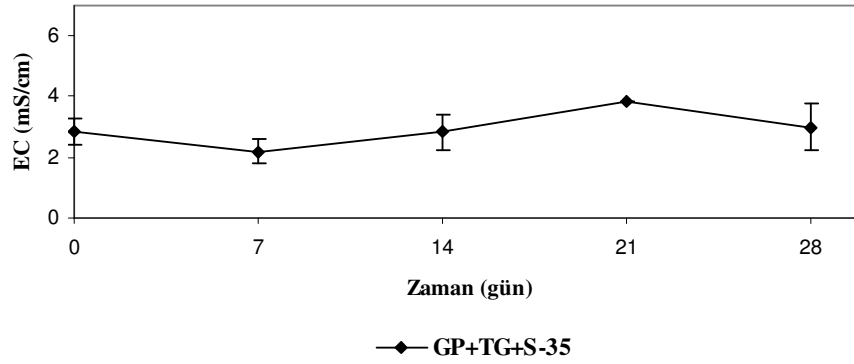
Şekil 4.53. GP+TG+S-20 karışımında EC nin zamanla değişimi



Şekil 4.54. GP+TG+S-25 karışımında EC nin zamanla değişimi



Şekil 4.55. GP+TG+S-30 karışımında EC nin zamanla değişimi

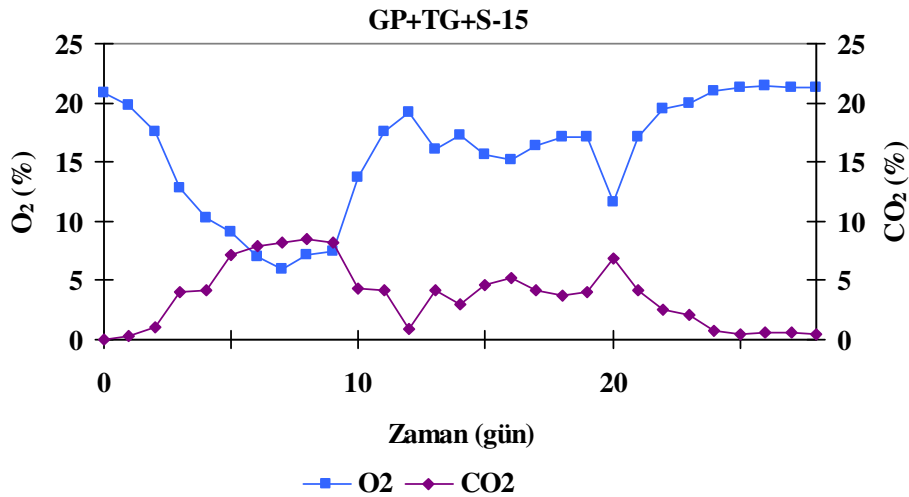


Şekil 4.56. GP+TG+S-35 karışımında EC nin zamanla değişimi

#### 4.2.6. O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> miktarlarındaki değişimler

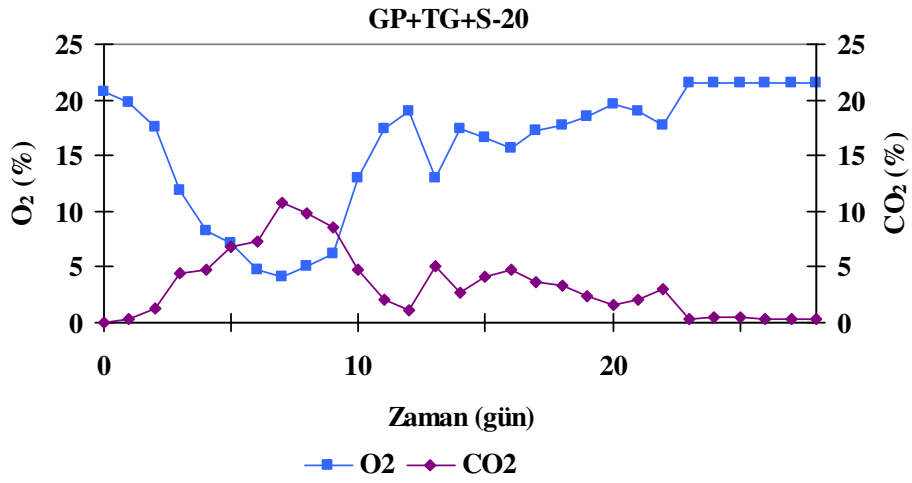
Aerobik kompostlaştırmada fazla miktarda oksijen tüketilir. Kompostlaştırmanın ilk günlerinde ham organik maddelerin kolay çözülebilir karışımları hızlı metabolize olur. Bu nedenle, oksijen veya hava ihtiyacı ve ısı üretimi en fazla ilk aşamalarda olur ve işlem ilerledikçe azalır. Eğer oksijen veya hava kaynağı sınırlıysa kompostlaştırma işlemi yavaş olarak gerçekleşir (Rynk, 1992; Haug 1993). Eğer ortamda yeterli oksijen bulunmazsa ortam anaerobik olur. Anaerobik koşullarda oluşan kötü kokunun giderilmesi ve kompost ürününün daha kısa sürede elde edilebilmesi için aerobik koşulların korunması gerekir.

Reaktörlerde gerçekleştirilmiş olan O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> ölçümlerine göre (Şekil 4.57-4.61.); tüm reaktörlerde kompostlaştırma işleminin ilk gününden itibaren oksijen seviyelerinde hızlı bir azalma gerçekleşirken, CO<sub>2</sub> seviyelerinde ise hızlı bir artış gözlenmiştir. Kompostlaştırma işleminde, oksijen seviyelerinin, ilk hafta süresince özellikle düşük C/N oranına sahip reaktörlerde % 5 seviyesinin altına düştüğü gözlenmiştir. Kompostlaştırma işleminin 9. gününde oksijen seviyelerinde artış başlamıştır. Bu durumun neredeyse tam tersi CO<sub>2</sub> seviyeleri için söylenebilir. O<sub>2</sub> değerleri kompostlaştırma işlemi devam ederken 12. güne gelindiğinde tüm reaktörlerde %16-20 aralığında kalmıştır. Denemenin 12 ile 22. günleri arasında bu aralıkta kalan O<sub>2</sub> değerleri, 22. günden itibaren ortam değerlerine yaklaşmış ve deneme sonuna kadar bu değerde sabit kalmıştır. CO<sub>2</sub> konsantrasyonları ise, deneyin 3. gününde % 5 seviyelerine çıkmış ve en yüksek CO<sub>2</sub> seviyeleri ise 5. ile 10. gün arasında kaydedilmiştir.



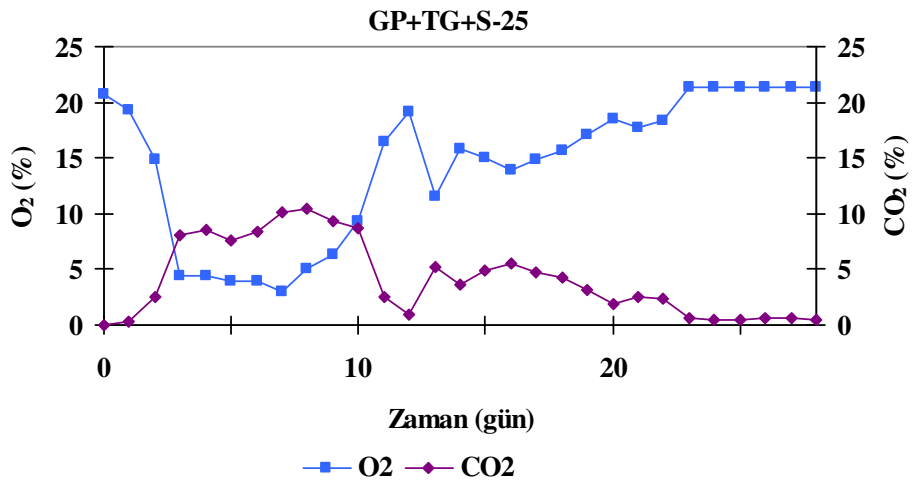
Şekil 4.57. GP+TG+S-15 karışımında ortalama O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonları

Şekil 4.57 den görüldüğü gibi GP+TG+S-15 karışımında O<sub>2</sub> seviyeleri işlem süresince % 5 in altına düşmeyerek aerobik ortam şartları sağlanmıştır (Rynk, 1992). Deneyin 8. gününde yükselişe geçen O<sub>2</sub> konsantrasyonları bu noktadan sonra % 15 seviyelerinin üzerinde kalmıştır.



Şekil 4.58. GP+TG+S-20 karışımında ortalama O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonları

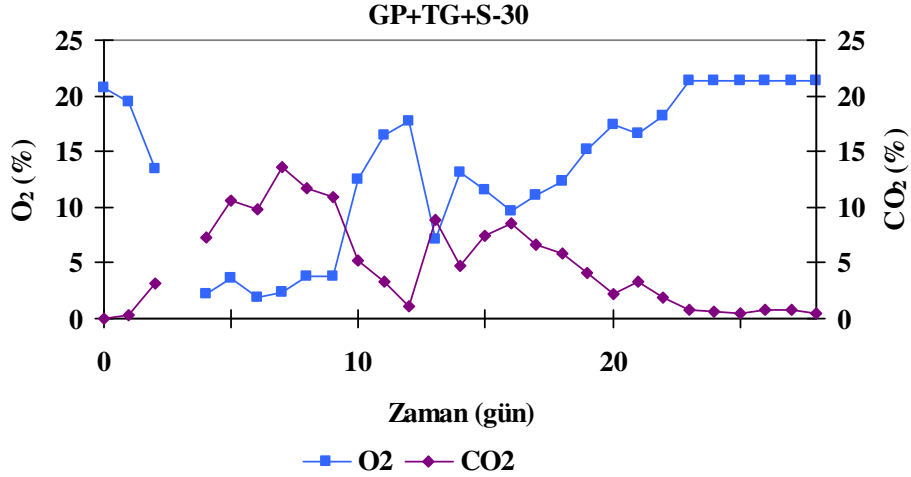
GP+TG+S-20 karışımında ise O<sub>2</sub> değeri hemen hemen % 5 seviyesinin altına düşmezken, en yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonları işlemin 7. gününde gerçekleşmiştir. Bu noktadan sonra azalmaya başlayan CO<sub>2</sub> değerleri ise 10. günden sonra % 5 değerinin altında kalmıştır.



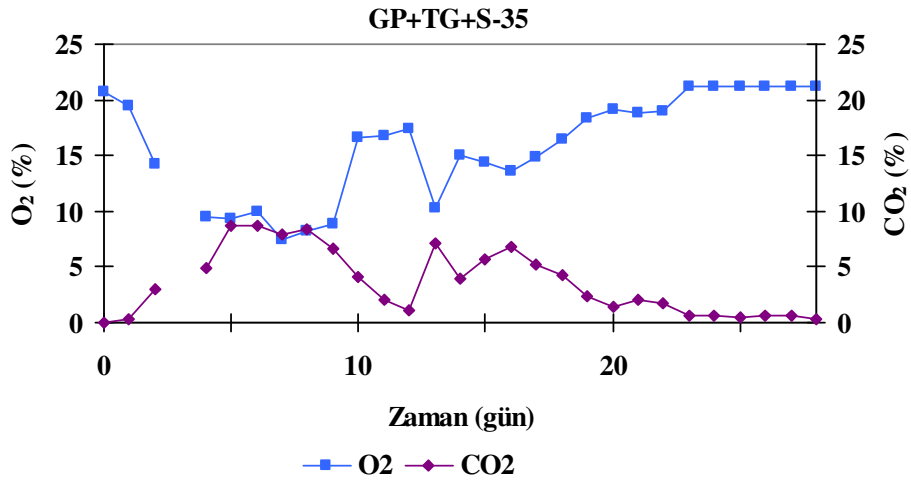
Şekil 4.59. GP+TG+S-25 karışımında ortalama O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonları

GP+TG+S-25 karışımında ise  $O_2$  hemen işlem başlangıcı ile birlikte 3. günde % 5 değerinin altına düşmüş ve bu seviyede 8. güne kadar kalmıştır.

Kompostlaştırma işleminde 3. günde  $O_2$  ve  $CO_2$  ölçüm cihazında meydana gelen arıza nedeniyle GP+TG+S-30 ve GP+TG+S-35 karışımlarında 3. gün verileri eksiktir.



Şekil 4.59. GP+TG+S-30 karışımında ortalama  $O_2$  ve  $CO_2$  konsantrasyonları



Şekil 4.60. GP+TG+S-35 karışımında ortalama  $O_2$  ve  $CO_2$  konsantrasyonları

GP+TG+S-35 karışımında ise tüm diğer karışımlardan farklı olarak ortalama konsantrasyonlar incelendiğinde O<sub>2</sub> seviyelerinin % 5 in altına hiç düşmediği görülmüştür. Bunun sebebi ise kullanılan saman miktarının diğer karışımlar ile karşılaştırıldığında fazla miktarda olması gösterilebilir.

#### 4.2.6. k, $\beta$ ve mR değerleri

II Deneme sonuçlarında en uygun C/N oranını belirleyebilmek için ayrışma oranı (k) değerleri hesaplanmıştır. Ayrışma oranı hesaplanırken kompostlaştırma işleminin yüksek hızlı ayrışma aşaması (ilk 14 gün) dikkate alınmıştır. Yüksek hızlı ayrışma aşaması dizayn ve ekipmanların boyutlandırılması için oldukça önemlidir çünkü ısı üretiminin ve havalandırma gereksiniminin en yüksek olduğu nokta bu aşamada ortaya çıkmaktadır. Ayrışma hızı (k) ve kompost denge değeri kompostlaştırma sistemlerinin tasarımında kullanılmaktadır. Metot kısmında irdelendiği üzere; deneylerde elde edilen kütle değerlerinden yararlanılarak kinetik parametreler hesaplanmıştır (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. II Denemeye ait kinetik parametreler ve mR

| Uygulama   | Tek. | $\Delta t$ | $\beta$ | $\beta'$ | $\Delta m/m_0$ | $k'$ | $k$<br>( $k'/\beta'$ ) | mR   | mR<br>ort |
|------------|------|------------|---------|----------|----------------|------|------------------------|------|-----------|
| GP+TG      | 1    | 7          | 0.35    | 0.66     | 0.11           | 0.02 | 0.015                  | 0.76 |           |
|            | 2    | 7          | 0.35    | 0.66     | 0.05           | 0.05 | 0.016                  | 0.77 |           |
|            | 3    | 7          | 0.36    | 0.65     | 0,05           | 0.01 | 0.011                  | 0.79 | 0.77c     |
| GP+TG+S-20 | 1    | 7          | 0,280   | 0.72     | 0.15           | 0.02 | 0.025                  | 0.57 |           |
|            | 2    | 7          | 0.28    | 0.72     | 0.14           | 0.02 | 0.024                  | 0.64 |           |
|            | 3    | 7          | 0.29    | 0.72     | 0.15           | 0.02 | 0.024                  | 0.61 | 0.61b     |
| GP+TG+S-25 | 1    | 7          | 0.25    | 0.75     | 0.13           | 0.02 | 0.021                  | 0.67 |           |
|            | 2    | 7          | 0.31    | 0.69     | 0.15           | 0.02 | 0.032                  | 0.56 |           |
|            | 3    | 7          | 0.29    | 0.71     | 0.18           | 0.02 | 0.033                  | 0.55 | 0.59b     |
| GP+TG+S-30 | 1    | 7          | 0.33    | 0.68     | 0.12           | 0.02 | 0.026                  | 0.54 |           |
|            | 2    | 7          | 0.35    | 0.66     | 0.16           | 0.02 | 0.034                  | 0.49 |           |
|            | 3    | 7          | 0.34    | 0.67     | 0.19           | 0.03 | 0.04                   | 0.46 | 0.49a     |
| GP+TG+S-35 | 1    | 7          | 0.25    | 0.76     | 0.05           | 0.01 | 0.01                   | 0.68 |           |
|            | 2    | 7          | 0.28    | 0.73     | 0.20           | 0.02 | 0.024                  | 0.58 |           |
|            | 3    | 7          | 0.30    | 0.71     | 0.23           | 0.03 | 0.047                  | 0.59 | 0.62b     |

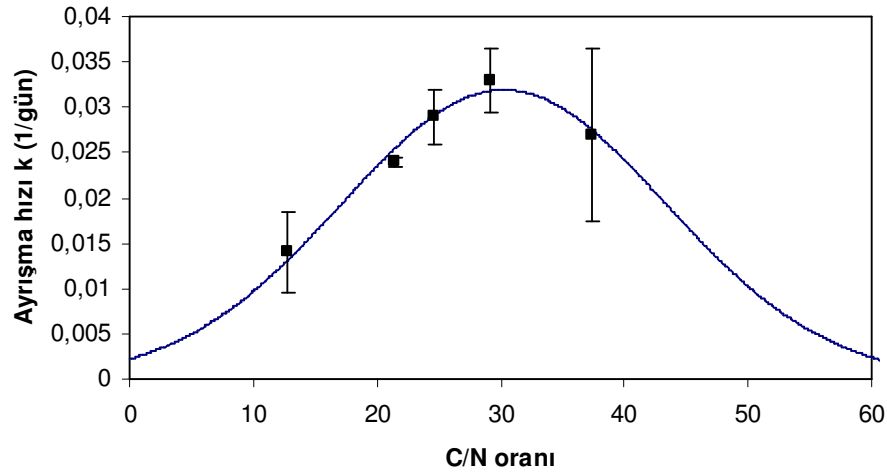


28 gün süren kompostlaştırma işlemi sonunda  $\beta$  değerinin kül içeriği değerine eşit olduğu kabul edilmiştir.  $k'$  ve  $\Delta m/m(0)$  kütle denkleğinden elde edilmiştir.  $\beta$  değeri yalnızca kompostlaştırma işleminin yüksek hızlı ayrışma aşaması için hesap edilmiştir (Ekinci vd., 2002).

Ayrışma hızı C/N oranının fonksiyonu olarak ifade edilebilir. C/N oranına (deneysel) bağılı olarak 3 parametrelı gauss modeli sonuçları aşağıdaki denklemlı kullanılarak yazılabilir:

$$k = ae^{-0,5 \left[ \frac{[C/N]_{mix} - [C/N]^0}{b} \right]^2}$$

Burada;  $a=0,0319$ ,  $\beta=13,0999$   $[C/N]^0_{mix}=30,2415$  ve  $R^2=0,977$  dir. Şekil 4.39. ayrışma hızını C/N oranının fonksiyonu olarak göstermektedir.



Şekil 4.60. C/N oranına bağılı olarak ayrışma hızının değışimi

Eşitlikten ve Şekil 4.39 dan maksimum ayrışma hızının ( $k$ ), C/N oranı yaklaşık 30 olduğunda ortaya çıktığını göstermektedir. Haug (1993) ve bir çok literatür kompostlaştırma hızının en yüksek olduğu aralığın C/N oranının 25-30 civarında olduğunu belirtmektedir. Bu çalışmadan elde edilen değerler Haug (1993) tarafından belirtilen değerler ile paralellik göstermektedir.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmanın amacı; (1) gül posası ile tavuk gübresi karışımının C/N oranı açısından dengeleyecek karbon (C) kaynağını (saman veya talaş) belirlemek; (2) en iyi C kaynağı belirlendikten sonra maksimum kompostlaştırmayı sağlayacak optimum başlangıç C/N oranını birinci dereceden tek parçalı kompost kinetiği modelini kullanarak belirlemektir. Çalışmada kullanılan C/N oranları 15, 20, 25, 30 ve 35 değerleridir. Araştırma sonucunda elde edilen bulgular ve bulguların yorumlanması ile elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır.

Gül işleme posası kompostlaştırma işlemi ile başarılı bir şekilde faydalı bir ürün olan kompostta dönüştürülebilmektedir. Gül posası özellikle yaklaşık % 3,7 değerindeki azot içeriği ile besin elementi açısından zengin bir hammadde olarak dikkat çekmektedir. Posanın, ağır metal içeriği açısından tarım arazilerine uygulanmasında bir sakınca olmadığı belirlenmiştir.

Gül işleme posasının tavuk gübresi ile kompostlaştırılmasında karbon kaynağı olarak saman kullanılmasının organik maddedeki azalma, kuru madde kayıpları ve mR değerleri ile değerlendirildiğinde daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Ancak düşük C/N oranlarında (10 ve 15) talaş veya saman ilavesi arasında ayrıca hiç karbon ilavesi kullanılmayan kompost karışımı arasında da organik madde miktarındaki azalma ile bir fark gözlenmemiştir. Ancak C/N oranı 20 olduğunda, 31 günlük kompostlaştırma süresi için; saman ilavesi talaş ilavesinden % 7 oranında daha fazla ayrışma sağlamıştır. Karbon kaynağı olarak saman kullanılan karışımlarda kompost sıcaklıkları 15. güne gelindiğinde ortam sıcaklığına ulaşırken, talaş kullanılan karışımlarda kompost kütlesi sıcaklıkları deneyin 31. gününe gelindiğinde dahi ortam sıcaklıklarına düşmemiştir. Bu durum ise karbon kaynaklarındaki biyolojik olarak ayrışabilirlikleri arasındaki farklılıkların kompost sıcaklıklarına etki etmesi ile açıklanmıştır. Tüm karışımlar ise 55°C nin üzerindeki sıcaklıklarda en az 5 gün süre ile kalarak patojenlerin ve yabancı ot tohumlarının yok edilmesi ile ilgili standartları sağlamışlardır.

Ortamdan uzaklaştırılan nem miktarının zamanla kompostlaştırma işlemini olumsuz etkilere sebep olmaması için karıştırma zamanlarında nem ilavesi yapılmıştır. Deneysel süresince kompost neminin %50-75 arasında kalması sağlanarak kontrollü bir kompostlaştırmanın gerçekleştirildiği söylenebilir (Ekinici, 2004).

I. deneme organik madde içeriği açısından değerlendirildiğinde; C/N oranı arttıkça organik maddedeki azalma miktarı arttığı, C/N oranı 10 ile 15 arasında organik maddedeki azalma bakımından istatistiksel açıdan farklılık olmadığı, C/N oranı 15 olduğunda talaş ve saman uygulamaları arasında istatistiksel olarak farklılık gözlenmediği, C/N oranı 20 olduğunda ise en yüksek ayrışma saman kullanılan karışımda elde edildiği belirlenmiştir.

pH ve EC açısından ele alındığında kompostlaştırma işlemi süresince her iki özelliğe de artış ve azalışlar gözlenmiştir. Ancak işlem sonunda tüm karışımlarda, her iki değerin başlangıç değerlerine göre azalma göstermiştir.

Kuru madde kayıpları dikkate alındığında, en yüksek kayıp GP+TG+S-20 karışımında (% 38.27) elde edilirken; bu değeri GP+TG+T-20 karışımı (%31.09) takip etmiştir. GP+TG, GP+TG+T-15 ve GP+TG+S-15 karışımlarında ise kuru madde kayıpları sırasıyla %24.16, %20.98 ve % 23.53 olarak belirlenmiştir. Bu değerler arasında istatistiksel açıdan farklılık gözlenmemiştir.

Kompostlaştırma işlemine olgunlaşma oranı (mR) açısından bakıldığında; en düşük mR değeri, 0.14 değeri ile GP+TG+S-20 karışımında elde edilmiştir. Bu değere en yakın değer ise, 0.28 değeri ile GP+TG+T-20 karışımında ortaya çıkmıştır. Ayrıca C/N oranı 10 ve 15 olan karışımlarda mR değeri bakımından önemli bir farklılık gözlenmemiştir.

Gül işleme atıklarının tavuk gübresi ile kompostlaştırılmasında; özellikle yüksek (>20) C/N oranlarında karbon kaynağı olarak saman kullanılması, organik madde

miktarı, kuru madde kayıpları ve mR değerleri dikkate alındığında daha iyi sonuç vermiştir.

II. Deneme’de ise, sözü edilen hammaddeler için en uygun C/N oranı yine organik madde miktarı, kuru madde kayıpları ve mR değerlerine göre belirlenmiştir.

II. Deneme’de kompost sıcaklıkları birbirlerine yakın seyretmiştir. Ancak GP+TG+S-35 karışımı diğer tüm karışımlardan daha geç sürede ısınmıştır. Dolayısıyla yüksek C/N oranlarında (>35) ayrışma daha yavaş olmuştur.

C/N oranı, karışımların organik madde miktarı üzerinde etkilidir. En yüksek azalma %21.14 değeri ile C/N 30 olduğunda ortaya çıkarken, bu değeri %18.47 değeri ile C/N oranı 35 olan karışım takip etmiştir. İki karışım arasında ise istatistiki olarak farklılık tespit edilmemiştir. Bu değerleri sırasıyla %10.96 10.78 ve 7.34 değerleri ile C/N oranları 25, 20 ve 15 olan karışımlar izlemektedir. C/N oranı arttıkça organik maddedeki azalma artarken, C/N oranı >35 olduğunda organik maddedeki azalma miktarı azalmıştır.

C/N oranı, kuru madde kayıpları üzerine etkilidir. GP+TG+S-30 karışımında en yüksek azalma (33.37) meydana gelmiştir. Bu değeri ortalama % 28,84 değeri ile GP+TG+S-25 karışımı takip etmiştir. GP+TG+S-20 ve GP+TG+S-35 karışımları üçüncü en iyi grubu oluştururken bu uygulamalar arasında istatistikî açıdan önemli bir farklılık bulunmamıştır. Kuru maddedeki en az azalma ise ortalama %14,78 ile GP+TG+S-15 karışımında ortaya çıkmıştır.

Araştırmada en uygun C/N oranlarını belirleyebilmek için ayrışma oranı (k) değeri hesaplanmıştır. Buna göre C/N oranı kompost ayrışma hızını etkilemektedir. Buna göre, en yüksek ayrışma 0.033 değeri ile C/N oranı 30 olan GP+TG+S-30 karışımında elde edilmiştir. kuru madde kayıpları kullanılarak elde edilen k değerleri ise başlangıç C/N oranının bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. C/N oranına (deneysel) bağlı olarak 3 parametrelili gauss modeli sonuçları en yüksek ayrışmanın C/N oranı 30.24 olduğunda ortaya çıktığını göstermiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan; gül işleme atıklarının tavuk gübresi ile kompostlaştırılmasının başarılı olduğu, karbon kaynağı olarak talaş yerine saman kullanıldığında ayrışmanın daha hızlı gerçekleştiği, benzer biçimde C/N oranının 30 olması durumunda denemeye konu olan diğer C/N oranlarına göre ayrışma oranının daha yüksek olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

## 6. KAYNAKLAR

- Bach, P.D., M. Shoda and H. Kubota, 1985. Composting reaction rate of sewage sludge in an autothermal packed bed reactor. *Journal of Fermentation Technology*, 63 (3):271-278
- Cayuela, M.L., Sanchez-Monedero, M.A., Roig, A., 2005. Evaluation of two different aeration systems for composting two-phase olive mill wastes. *Process Biochemistry*.
- Chen, Y., Inbar, Y. 1993. Chemical and spectroscopial analyses of organic matter transformations during composting in relation to compost maturity. P 551-600. In: *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Eds. H.A.J. Hoitink and H.M. Keener. Columbus, OH: Renaissance Publications.
- de Bertoldi, M., A. Rutili., B. Cittero ve M. Civini. 1988. Composting management: a new process control through O<sub>2</sub> feedback. *Wastes management and Research*, 6(3):239-259
- de Bertoldi, M., Schnappinger U. 2001. Correlation among plant design, process control and quality of compost. In *proceedings of the International Conference ORBIT 2001 on biological processing of wate: a product-oriented perspective*. May 9-12, Seville Spain.
- Deschamps, A.M., P. Henno, C.L.C. Pernelle, C. Caignault. 1979. Bench scale reactors for composting research. *Biotechnology Letters*, 1:239-244
- Eiland, F., Klamer, M., Lind, A.M., Leth, M., Baath., E. 2001. Influence of initial c/n ratio on chemical and microbial composition during long term composting of straw. *Microb Ecol* 41:272–280
- Ekinci, K., Keener H.M., Elwell D.L. 2000. Composting short paper fiber with broiler litter and additives: I- Effects of initial pH and Carbon/Nitrogen Ratio on ammonia emission. *Compost Science and Utilization* 8(2): 160-172.
- Ekinci, K., 2001. Theoretical and experimental study on the effects of aeration strategies on the composting process. PhD dissertation, Columbus, Ohio: Department of Food, Agricultural and Biological Engineering, The Ohio State University
- Ekinci, K., Keener H.M., Elwell D.L. 2002. Composting short paper fiber with broiler litter and additives - II. Evaluation and optimization of decomposition rate versus mixing ratio. *Compost Science and Utilization* 10(1):16-28.

- Ekinci, K., Keener H.M., Michel F.C., Elwell D.L. 2004. Modeling composting rate as a Gaussian function of temperature and initial moisture content. *Compost Science and Utilization* (Kabul edildi).
- Elwell, D.L., H. M. Keener and R.C. Hansen. 1996. Controlled, high rate composting of mixtures of food residuals, yard trimmings and chicken manure. *Compost Science and Utilization*, 4(1):6-15
- Epstein, E. 1997. *The science of composting*. Technomic Publishing Co., Lanchester, PA, U.S.A.
- Haug, R. T. 1993. *The Practical handbook of compost engineering*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- Hansen, R.C., H.M., Keener and H.A. Hoitink. 1989. Poultry manure composting: An exploratory study. *Transactions of ASAE*, 32(6):2151-2158
- Herrman, R.F., Shann, J.F: 1997. Microbial community changes during the compsting of Municipal Solid Waste. *Mirobial ecology*, 33:78-85
- Hong, J.H., H.M. Keener and D.L. Elwell. 1998. Preliminary study of the effect of continuous and intermittent aeration on composting hog manure amended with sawdust. *Compost Science and Utilization* 6(3):74-88
- Huang G.F., J.W.C. Wong, Q.T. Wu, B.B. Nagar 2004. Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. *Waste Management* 24:805-813
- Iranzo, M., Canizares, J.V., Roca-Perez, L., Saşnz-pardo, I., Mormeneo, S., Boluda, R., 2004. Characteristics of rice straw and sewage sludge as composting materials in Valencia (Spain). *Bioresource technology* 95:107-112
- Keener, H.M., C. Marugg, R.C. Hansen, and H.A.J. Hoitink. 1993. Optimizing the efficiency of the composting process. p. 59-94. *In* H. A. J. Hoitink and H. M. Keener (eds.) *Science and engineering of composting: Design, environmental, microbiological and utilization aspects*. Renaissance Publications, Worthington, Ohio.
- Keener, H.M., Dick W.A., Hoitink H.A.J. 2000. Composting and beneficial utilization of composted by-product materials. Chapter 10. pp. 315-341. *In*: J.F. Power vd.,. (eds.) *Beneficial uses of agricultural, industrial and municipal by-products*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- Larsen, K. L. ve McCartney, D.M. 2000. Effect of C/N ratio on microbial activity and N retention: Bench scale study using pulp and paper biosolids. *Compost Science and Utilization* 8(2):147-159

- Lau, A.K., K.V. Lo, P.H. Liao and J.C. Yu. 1992. Aeration experiments for swine waste composting. *Bioresource Technology*, 41:145-152
- Petiot, C. ve de Guardia, A., 2004. Composting in a laboratory reactor: A review. *Compost Science and Utilization*, Vol 12, No. 1, 69-79
- Rynk, R. 1992. On farm composting handbook. NRAES-54, Cooperative Extension Service, Northeast Regional Agricultural Engineering Services, Ithaca NY, USA.
- Sadaka. S., El-Taweel. A., 2003. Effect of C/N ratio and aeration on household waste composting in Egypt. *Compost Science and Utilization* 11(1):36-40.
- Sas Institute, 1987. SAS® User's Guide. Release 6.03 Edition. Cary, North Caroline, SAS Institute Inc.
- Sasaki, N., Suehara, K., Kohda, J., Nakano., Y. ve Yang. Y., 2003. Effects of C/N ratio and pH of raw materials on oil degradation efficiency in a compost fermentation process *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 96,(1):47-52
- Schwab, B.S., C.J. Ritchie, D.J. Kain, G.C: Dobrin, L.W. King and A.C. Palmisane., 1994. Characterization of compost from a pilot plant-scale composter utilizing simulated solid waste. *Waste Management and Research*, 12:289-303
- Schloss, P.D., Chaves, B., Walker, L.P., 2000. The use of the analysis of variance to assess the influence of mixing during composting. *Process Biochemistry* 35:675-684
- Smars,S., B. Beck-Friis, H. Jönsson and H. Kirchman. 2001. An advanced experimental composting reactor for schematic simulation studies. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78(4):239-250
- Stone, A.G:, Traina, S.J. and Hoitink, H.A.J., 2001. Particulate organic matter composition and pythium damping-off of cucumber. *Soil Sci Soc Am J.*, 65(3):761-770
- Suzuki, T., Ikumi, Y., Okamoto, S., Watanabe, I., Fujitake, N., Otsuka, H., 2004. Aerobic composting of chips from clear-cut trees with various co-materials. *Bioresource technology* 95:121-128
- Tiquia, M. S. and Tam, F.Y. N., 2001. Characterization and composting of poultry litter in forced-aeration piles. *Process Biochemistry* 37:869-880
- Tosun, İ., 2003. Gül İşleme Posasının Evsel Katı Atıklarla Kompostlaşabilirliği. Yıldız Teknik Üniversitesi F.B.E. Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.



- Tosun, İ., Gönüllü, M. T., Günay, A. 2003. Gül posasının kompostlaştırılmasına gözenek malzemesi ve aşının etkisi. YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. ...
- VanderGheynst, J.S., J.M. Gosset ve L.P. Walker. 1997. High-solids aerobic decomposition: pilot scale reactor development and experimentation. *Process Biochemistry*, 32(5):361-375
- Vuorinen, A.H. and Saharinen, M.H., 1997. Evolution of microbiological and chemical parameters during manure and straw co-composting in a drum composting system.
- Whang, D.S., and G.F: Meenaghan. 1980. Kinetic-model of composting process. *Compost Science and Utilization*, 21(3):44-46
- Wong, J. W.C., Mak, K.F., Chan, N. W., Lam. A., Fang, M., Zhou, L.X., Wu, Q. T., Liao, X. D., 2001. Co-composting of soybean residues and leaves in Hong Kong. *Bioresource Technology* 76: 99-106
- Zhang, Y., He, Y., 2005. Co-composting solid swine manure with pine sawdust as organic substrate. *Bioresource Technology*.

## 7. EKLER

## EK-1 Kompost karışımlarının hazırlanmasında kullanılan Excel çalışma sayfası

| GP+TG         | Yaş<br>Kütle<br>kg | Nem<br>% | Kuru<br>Kütle<br>kg | Su<br>kg | C<br>% | N<br>% | C/N<br>oranı |
|---------------|--------------------|----------|---------------------|----------|--------|--------|--------------|
| <b>TG</b>     | 20.00              | 66.00    | 6.80                | 13.20    | 28.31  | 1.66   | 17.05        |
| <b>GP</b>     | 60.00              | 68.00    | 19.20               | 40.80    | 37.41  | 3.20   | 11.69        |
| <b>S</b>      | 0.00               | 12.44    | 0.00                | 0.00     | 50.37  | 0.08   | 629.63       |
| <b>T</b>      | 0.00               | 29.70    | 0.00                | 0.00     | 54.34  | 0.03   | 1811.33      |
| <b>su</b>     | 0.00               | 100.00   | 0.00                | 0.00     | 0.00   | 0.00   | 0.00         |
| <b>toplam</b> | 80.00              | 0.68     | 26.00               | 54.00    |        | 2.80   | <b>12.52</b> |

| GP+TG+T-15    | Yaş<br>Kütle<br>kg | Nem<br>% | Kuru<br>Kütle<br>kg | Su<br>kg | C<br>% | N<br>% | C/N<br>oranı |
|---------------|--------------------|----------|---------------------|----------|--------|--------|--------------|
| <b>TG</b>     | 20.00              | 66.00    | 6.80                | 13.20    | 28.31  | 1.66   | 17.05        |
| <b>GP</b>     | 60.00              | 68.00    | 19.20               | 40.80    | 37.41  | 3.20   | 11.69        |
| <b>S</b>      | 0.00               | 12.44    | 0.00                | 0.00     | 50.37  | 0.08   | 629.63       |
| <b>T</b>      | 4.80               | 29.70    | 3.37                | 1.43     | 54.34  | 0.03   | 1811.33      |
| <b>su</b>     | 0.00               | 100.00   | 0.00                | 0.00     | 0.00   | 0.00   | 0.00         |
| <b>toplam</b> | 84.80              | 0.65     | 29.37               | 55.43    |        | 2.48   | <b>15.02</b> |

| GP+TG+S-15    | Yaş<br>Kütle<br>kg | Nem<br>% | Kuru<br>Kütle<br>kg | Su<br>kg | C<br>% | N<br>% | C/N<br>oranı |
|---------------|--------------------|----------|---------------------|----------|--------|--------|--------------|
| <b>TG</b>     | 20.00              | 66.00    | 6.80                | 13.20    | 28.31  | 1.66   | 17.05        |
| <b>GP</b>     | 60.00              | 68.00    | 19.20               | 40.80    | 37.41  | 3.20   | 11.69        |
| <b>S</b>      | 4.20               | 12.44    | 3.68                | 0.52     | 50.37  | 0.08   | 629.63       |
| <b>T</b>      | 0.00               | 29.70    | 0.00                | 0.00     | 54.34  | 0.03   | 1811.33      |
| <b>su</b>     | 0.00               | 100.00   | 0.00                | 0.00     | 0.00   | 0.00   | 0.00         |
| <b>toplam</b> | 84.20              | 0.65     | 29.68               | 54.52    |        | 2.46   | <b>15.01</b> |

| <b>GP+TG+T-20</b> | Yaş<br>Kütle<br>kg | Nem<br>% | Kuru<br>Kütle<br>kg | Su<br>kg | C<br>% | N<br>% | C/N<br>oranı |
|-------------------|--------------------|----------|---------------------|----------|--------|--------|--------------|
| <b>TG</b>         | 20.00              | 66.00    | 6.80                | 13.20    | 28.31  | 1.66   | 17.05        |
| <b>GP</b>         | 60.00              | 68.00    | 19.20               | 40.80    | 37.41  | 3.20   | 11.69        |
| <b>S</b>          | 0.00               | 12.44    | 0.00                | 0.00     | 50.37  | 0.08   | 629.63       |
| <b>T</b>          | 16.00              | 29.70    | 11.25               | 4.75     | 54.34  | 0.03   | 1811.33      |
| <b>su</b>         | 0.00               | 100.00   | 0.00                | 0.00     | 0.00   | 0.00   | 0.00         |
| <b>toplam</b>     | 96.00              | 0.61     | 37.25               | 58.75    |        | 1.96   | <b>20.83</b> |

| <b>GP+TG+S-20</b> | Yaş<br>Kütle<br>kg | Nem<br>% | Kuru<br>Kütle<br>kg | Su<br>kg | C<br>% | N<br>% | C/N<br>oranı |
|-------------------|--------------------|----------|---------------------|----------|--------|--------|--------------|
| <b>TG</b>         | 20.00              | 66.00    | 6.80                | 13.20    | 28.31  | 1.66   | 17.05        |
| <b>GP</b>         | 60.00              | 68.00    | 19.20               | 40.80    | 37.41  | 3.20   | 11.69        |
| <b>S</b>          | 14.00              | 12.44    | 12.26               | 1.74     | 50.37  | 0.08   | 629.63       |
| <b>T</b>          | 0.00               | 29.70    | 0.00                | 0.00     | 54.34  | 0.03   | 1811.33      |
| <b>su</b>         | 0.00               | 100.00   | 0.00                | 0.00     | 0.00   | 0.00   | 0.00         |
| <b>toplam</b>     | 94.00              | 0.59     | 38.26               | 55.74    |        | 1.93   | <b>20.73</b> |

## II. Deneme de kullanılan karışımlar

| GP+TG+S-15    | Yaş         |          | Kuru<br>Kütle<br>kg | Su<br>kg | C<br>% | N<br>% | C/N<br>oranı |
|---------------|-------------|----------|---------------------|----------|--------|--------|--------------|
|               | Kütle<br>kg | Nem<br>% |                     |          |        |        |              |
| <b>TG</b>     | 50.00       | 68.00    | 16.00               | 34.00    | 28.31  | 1.66   | 17.05        |
| <b>GP</b>     | 50.00       | 75.00    | 12.50               | 37.50    | 45.37  | 3.98   | 11.40        |
| <b>S</b>      | 0.00        | 12.44    | 0.00                | 0.00     | 50.37  | 0.08   | 629.63       |
| <b>su</b>     | 0.00        | 100.00   | 0.00                | 0.00     | 0.00   | 0.00   | 0.00         |
| <b>toplam</b> | 100.00      | 0.72     | 28.50               | 71.50    |        | 2.68   | 13.37        |

| GP+TG+S-20    | Yaş         |          | Kuru<br>Kütle<br>kg | Su<br>kg | C<br>% | N<br>% | C/N<br>oranı |
|---------------|-------------|----------|---------------------|----------|--------|--------|--------------|
|               | Kütle<br>kg | Nem<br>% |                     |          |        |        |              |
| <b>TG</b>     | 50.00       | 68.00    | 16.00               | 34.00    | 28.31  | 1.66   | 17.05        |
| <b>GP</b>     | 50.00       | 75.00    | 12.50               | 37.50    | 45.37  | 3.98   | 11.40        |
| <b>S</b>      | 12.00       | 12.44    | 10.51               | 1.49     | 50.37  | 0.08   | 629.63       |
| <b>su</b>     | 0.00        |          | 0.00                | 0.00     | 0.00   | 0.00   | 0.00         |
| <b>toplam</b> | 112.00      | 0.65     | 39.01               | 72.99    |        | 1.98   | 20.08        |

| GP+TG+S-25    | Yaş         |          | Kuru<br>Kütle<br>kg | Su<br>kg | C<br>% | N<br>% | C/N<br>oranı |
|---------------|-------------|----------|---------------------|----------|--------|--------|--------------|
|               | Kütle<br>kg | Nem<br>% |                     |          |        |        |              |
| <b>TG</b>     | 50.00       | 68.00    | 16.00               | 34.00    | 28.31  | 1.66   | 17.05        |
| <b>GP</b>     | 50.00       | 75.00    | 12.50               | 37.50    | 45.37  | 3.98   | 11.40        |
| <b>S</b>      | 21.00       | 12.44    | 18.39               | 2.61     | 50.37  | 0.08   | 629.63       |
| <b>su</b>     | 0.00        | 100.00   | 0.00                | 0.00     | 0.00   | 0.00   | 0.00         |
| <b>toplam</b> | 121.00      | 0.61     | 46.89               | 74.11    |        | 1.66   | 25.02        |

| GP+TG+S-30    | Yaş         |          | Kuru<br>Kütle<br>kg | Su<br>kg | C<br>% | N<br>% | C/N<br>oranı |
|---------------|-------------|----------|---------------------|----------|--------|--------|--------------|
|               | Kütle<br>kg | Nem<br>% |                     |          |        |        |              |
| <b>TG</b>     | 50.00       | 68.00    | 16.00               | 34.00    | 28.31  | 1.66   | 17.05        |
| <b>GP</b>     | 50.00       | 75.00    | 12.50               | 37.50    | 45.37  | 3.98   | 11.40        |
| <b>S</b>      | 30.00       | 12.44    | 26.27               | 3.73     | 50.37  | 0.08   | 629.63       |
| <b>su</b>     | 0.00        | 100.00   | 0.00                | 0.00     | 0.00   | 0.00   | 0.00         |
| <b>toplam</b> | 130.00      | 0.58     | 54.77               | 75.23    |        | 1.43   | 29.88        |

| <b>GP+TG+S-35</b> | Yaş<br>Kütle<br>kg | Nem<br>% | Kuru<br>Kütle<br>kg | Su<br>kg | C<br>% | N<br>% | C/N<br>oranı |
|-------------------|--------------------|----------|---------------------|----------|--------|--------|--------------|
| <b>TG</b>         | 50.00              | 68.00    | 16.00               | 34.00    | 28.31  | 1.66   | 17.05        |
| <b>GP</b>         | 50.00              | 75.00    | 12.50               | 37.50    | 45.37  | 3.98   | 11.40        |
| <b>S</b>          | 40.00              | 12.44    | 35.02               | 4.98     | 50.37  | 0.08   | 629.63       |
| <b>su</b>         | 0.00               | 100.00   | 0.00                | 0.00     | 0.00   | 0.00   | 0.00         |
| <b>toplam</b>     | 140.00             | 0.55     | 63.52               | 76.48    |        | 1.25   | <b>35.19</b> |

**EK-2 k ve  $\beta$  değerlerinin hesaplanması**

GP+TG+S-15-1 karışımı örnek olarak ele alınmıştır.

| Zaman<br>(gün) | mc(kg) | delta m/m0  | k'         |
|----------------|--------|-------------|------------|
| 0              | 16.06  | 0           | 0          |
| 7              | 14.92  | 0.070983811 | 0.010141 ← |
| 14             | 14.21  | 0.115193026 | 0.006316   |

|        |       |       |       |
|--------|-------|-------|-------|
| k'     | B'    | B     | k     |
| 0.0101 | 0.655 | 0.345 | 0.015 |

$\beta' = 1 - \beta$  olduğu kabul edilmiştir.

$$k = k' / \beta'$$

k' ise eşitlik (11) de belirtildiği gibi:

$$k' = \frac{-1}{m_c(0)} \frac{dm_c}{d\theta} \Big|_i$$

k' değeri bu örnek için;

$$k' = -(1/16.06) * (16.06 - 14.92) / (7 - 0) \text{ eşitliğinden elde edilmiştir.}$$

## 8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emrah ONURSAL

Doğum Yeri : ERZURUM

Doğum Yılı : 1978

Medeni Hali : Evli

### **Eğitim ve Akademik Durumu:**

Lise 1992 – 1995 Erzurum Anadolu Lisesi

Lisans 1997 – 2001 Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü

Yabancı Dil : İngilizce

Zir. Müh. Emrah ONURSAL halen Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.