**ÖRNEK 1.1**

Aşağıda karakterizasyonu hakkında bilgiler verilen evsel atığın organik fraksiyonunun kimyasal bileşimini bulunuz.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Islak ağırlık (kg)** | **Kuru ağırlık (kg)** |
| Kağıt | 19 | 16 |
| Plastik | 3,7 | 3,5 |
| Yemek atığı | 5,1 | 1,9 |
| Park/bahçe atığı | 8,4 | 2,6 |
| Tekstil | 1 | 0,8 |
| Lastik | 0,22 | 0,22 |
| Tahta/odun | 1,3 | 0,9 |

***Çözüm 1.1***

Öncelikle atık numunenin C, H, O, N ve S yüzde dağılımları belirlenmelidir. Atıkların element dağılımlarının yüzde değerlerini bulmak için Tablo 4.16 kullanılır.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | **Ağırlık yüzdesi (kuru bazda)** | | | | | |
|  | **Kuru ağırlık (kg)** | **C** | **H** | **O** | **N** | **S** | **Kül** |
| **Kağıt** | 16,0 | 43,5 | 6,0 | 44 | 0,3 | 0,2 | 6,0 |
| **Plastik** | 3,5 | 60,0 | 7,2 | 22,8 | - | - | 10 |
| **Yermek atığı** | 1,9 | 48 | 6,4 | 37,6 | 2,6 | 0,4 | 5,0 |
| **Park/bahçe atığı** | 2,6 | 47,8 | 6,0 | 38 | 3,4 | 0,3 | 4,5 |
| **Tekstil** | 0,8 | 55 | 6,6 | 31,2 | 4,6 | 0,15 | 2,5 |
| **Lastik** | 0,22 | 78,0 | 10 | - | 2,0 | - | 10 |
| **Tahta/odun** | 0,9 | 49,5 | 6,0 | 42,7 | 0,2 | 0,1 | 1,5 |

Numunedeki elementlerin yüzde dağılımları belirlenir. Bunun için kuru ağırlık ile atığın element içeriğinin ağırlık yüzdesinin çarpılması gerekir.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | **Bileşim (kg)** | | | | | |
|  | **Islak ağırlık (kg)** | **Kuru ağırlık (kg)** | **C** | **H** | **O** | **N** | **S** | **Kül** |
| **Kağıt** | 19 | 16 | 6,96 | 0,96 | 7,04 | 0,048 | 0,032 | 0,96 |
| **Plastik** | 3,7 | 3,5 | 2,10 | 0,252 | 0,798 | 0 | 0 | 0,35 |
| **Yermek atığı** | 5,1 | 1,9 | 0,91 | 0,122 | 0,7144 | 0,0494 | 0,0076 | 0,095 |
| **Park/bahçe atığı** | 8,4 | 2,6 | 1,24 | 0,156 | 0,988 | 0,0884 | 0,0078 | 0,117 |
| **Tekstil** | 1 | 0,8 | 0,44 | 0,053 | 0,2496 | 0,0368 | 0,0012 | 0,02 |
| **Lastik** | 0,22 | 0,22 | 0,17 | 0,022 | 0 | 0,0044 | 0 | 0,022 |
| **Tahta/odun** | 1,3 | 0,9 | 0,446 | 0,054 | 0,3843 | 0,0018 | 0,0009 | 0,0135 |
| **TOPLAM** |  |  | **12,27** | **1,619** | **10,174** | **0,2288** | **0,0495** | **1,5775** |

Yapılan hesaplama sonucunda, her bir elementin toplam ağırlıkları şu şekilde bulunmuştur:

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Ağırlık (kg)** |
| **C** | 12,27 |
| **H** | 1,62 |
| **O** | 10,17 |
| **N** | 0,22 |
| **S** | 0,05 |
| **Kül** | 1,58 |

Ardından elementlerin molar bileşimleri tayin edilir. Bu işlem yapılırken kül için hesaplanan veriler göz ardı edilir.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Element** | **Atomik ağırlık (g/mol)** | **Mol** |
| **C** | 12,01 | 1,022 |
| **H** | 1,01 | 1,604 |
| **O** | 16,0 | 0,636 |
| **N** | 14,01 | 0,016 |
| **S** | 32,07 | 0,002 |

Tahmini bir kimyasal formül hesaplanır. Bunun için en düşük mol oranına sahip element, 1 mole eşitlenecek şekilde bir katsayı belirlenir ve tüm elementler bu katsayı ile çarpılır.

|  |  |
| --- | --- |
| **Element** | **Mol oranı** |
| **C** | 655,32 |
| **H** | 1028,84 |
| **O** | 407,71 |
| **N** | 10,07 |
| **S** | 1 |

Elde edilen sayılara göre kimyasal formül elde edilir. Örneğimizdeki atığın kimyasal formülü **C655.3 H1028.8O407.7N10.1S** olarak bulunmuştur.

**ÖRNEK 1.2**

Aşağıda içeriği verilen evsel katı atık örneğinin kimyasal formülünü bulunuz.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Bileşen** | **Islak ağırlık (kg)** | **Kuru ağırlık (kg)** |
| Yemek atığı | 63,2 | 24,5 |
| Park/Bahçe atığı | 95,5 | 29,7 |
| Kağıt | 174 | 152,2 |
| Plastik | 29,7 | 28,2 |

***Çözüm 1.2***

Element tablosu:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Bileşen** | **Islak ağırlık (kg)** | **Kuru ağırlık (kg)** | **C** | **H** | **O** | **N** | **S** | **Kül** |
| Yemek atığı | 63,2 | 24,5 | 0,91 | 0,122 | 0,7144 | 0,0494 | 0,0076 | 0,095 |
| Park/Bahçe atığı | 95,5 | 29,7 | 1,24 | 0,156 | 0,988 | 0,0884 | 0,0078 | 0,117 |
| Kağıt | 174 | 152,2 | 6,96 | 0,96 | 7,04 | 0,048 | 0,032 | 0,96 |
| Plastik | 29,7 | 28,2 | 2,10 | 0,252 | 0,798 | 0 | 0 | 0,35 |

Elementlerin kütlece ağırlıkları:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Bileşen** | **Kuru ağırlık (kg)** | **C (%)** | **H (%)** | **O (%)** | **N (%)** | **S (%)** |
| Yemek atığı | 24,5 | 0,22 | 0,03 | 0,18 | 0,01 | 0 |
| Park/Bahçe atığı | 29,7 | =0,37 | 0,05 | 0,29 | 0,03 | 0 |
| Kağıt | 152,2 | 10,6 | 1,46 | 10,7 | 0,07 | 0,05 |
| Plastik | 28,2 | 0,59 | 0,07 | 0,23 | 0 | 0 |
|  | ***Toplam:*** | 11,8 | 1,61 | 11,4 | 0,11 | 0,05 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Ağırlık (kg)** | **Atomik ağırlık (g/mol)** | **Mol** | **Formula** |
| **C** | 11,8 | **12,01** | **0,981** | **= 594,7** |
| **H** | 1,61 | **1,01** | **1,592** | 965,741 |
| **O** | 11,4 | **16** | **0,713** | 432,404 |
| **N** | 0,11 | **14,01** | **0,008** | 4,82266 |
| **S** | 0,05 | **32,07** | **0,002** | 1 |

**ÖRNEK 2.1.**

*Evsel atığın organik kısmı üzerinde elementel analizler yapılarak, atığın C24H39O12N stokiyometrik formülü ile ifade edilebileceği belirlenmiştir. Organik katı atığın, %80 oranında biyolojik olarak ayrışabildiği kabulü ile 100 kg organik katı atığın aerobik kompostlaştırılması için gerekli teorik hava ihtiyacını hesaplayınız.*

***Çözüm2.1.***

*Kompostlaştırma prosesi için gerekli teorik hava ihtiyacı aşağıdaki formüle göre hesaplanabilir.*

**

*C24H39O12N + 27 O2 🡺 24 CO2 + 18 H2O + NH3*

*Atığın biyolojik olarak ayrışabilen kısmı = 100 x 0,8 = 80 kg*

*Bileşiğin g/mol değeri: (24\*12) + (39\*1) + (12\*16) + (1\*14) = 533 gram/mol*

*Atığın mol sayısı = (80.000 gram) / (533gram/mol)=*

*Buna göre 150 mol atık için gerekli O2 miktarı = (22,4 L/mol) \* (27 O2) \* (150 mol) \* (10-3m3/L) = 91 m3 (standart şartlarda)*

*Havanın hacimce %21’inin oksijen olduğu kabulüyle = 91 / 0,21 = 433 m3 (standart şartlarda)*

***ÖRNEK 2.2 Optimum C/N Oranını Sağlamak Amacıyla Atıkların Karıştırılması-I***

*C/N oranı 50 olan ağaç yaprakları ile atıksu arıtma tesisinden gelen C/N oranı 6.3 olan atık aktif çamur keki karıştırılacaktır. Karıştırılmış atıkta C/N oranının 25 olabilmesi için her bir bileşenin oranlarını belirleyiniz. Aşağıdaki veriler esas alınacaktır:*

*Çamur kekinin nem içeriği = %75*

*Ağaç yapraklarının nem içeriği = %50*

*Çamur kekinin azot içeriği = %5,6 (kuru maddenin %’si olarak)*

*Ağaç yapraklarının azot içeriği = %0,7 (kuru maddenin %’si olarak)*

***Çözüm2.2.***

*1.) 1 kg çamur keki ve yaprak (park/bahçe) atığındaki su, kuru katı madde, azot ve karbon miktarlarının hesabı*

*(a) 1 kg yaprak için:*

*Su = 1 kg (0.50) = 0,5 kg*

*Kuru madde = 1 kg – 0.5 kg = 0,5 kg*

*N = 0,5 kg (0.007) = 0,0035 kg*

*C = 50 (0,0035 kg) = 0,175 kg*

*(b) 1 kg çamur için:*

*Su = 1 kg (0,75) = 0,75 kg*

*Kuru madde = 1 kg – 0,75 kg = 0,25 kg*

*N = 0,25 kg (0,056) = 0,014 kg*

*C = 6,3 (0,014 kg) = 0,0882 kg*

*2.) C/N oranını 25 olabilmesi için 1 kg yaprağı sabit tuttuğumuzu varsayalım. Buna göre, 1 kg yaprağa eklenmesi gereken çamur miktarı*

*İfadesiyle bulunur.*

*Burada; x = gerekli çamurun ağırlığı olup, bilinen verilerden hareketle*

*25 = *

*x = 0,33 kg çamur/1 kg yaprak*

*olarak hesaplanır.*

*3.) Son karışımın C/N oranı ve nem içeriğinin kontrolü*

*(a) 0,33 kg çamur için:*

*Su = 0,33 kg (0.75) = 0,25 kg*

*Kuru madde = 0,33 kg (0.25) = 0,08 kg*

*N = 0.33 kg (0.014) = 0,005 kg*

*C = 0,33 (0,0882 kg) = 0,03 kg*

*(b) 0.33 kg çamur + 1 kg yaprak:*

*Su = 0,25 kg + 0,50 kg = 0,75 kg*

*Kuru madde = 0,08 kg + 0,50 kg = 0,58 kg*

*N = 0,005 kg + 0,0035 kg = 0,008 kg*

*C = 0,03 kg + 0,175 kg = 0,205 kg*

*(c) C/N oranı:*

* = 25.6 ~ 25*

*(d) Nem içeriği:*

*Nem =  = = %56*

*Arıtma çamuru keki ve bahçe atıklarının birlikte kompostlaştırılması, bahçe atıklarının azot eksikliğinin giderilmesi bakımından uygun bir çözümdür. Ancak, patojenler ve ağır metal kirliliği riski dolayısıyla çamur keki ve bahçe atıkları karışımından elde edilen kompost kalitesinin sürekli izlenmesi* gerekmektedir.

***Örnek 2.3. Optimum C/N Oranını Sağlamak Amacıyla Atıkların Karıştırılması-II***

*Bir septik tank (fosseptik) çamuru özellikleri aşağıda verilmektedir:*

*C/N = 15/1 (kuru ağırlık olarak)*

*Toplam KM = % 10*

*UKM = 0.90xTKM*

*Birim hacim ağırlığı = 1,1 kg/L*

*C/N = 30 değerini elde etmek üzere, gerekli pirinç sapı (saman) miktarını hesaplayınız. Pirinç sapında C/N = 80, su muhtevası = % 50, birim hacim ağırlığı = 100 kg/m3 ve N = % 0,2 (kuru ağırlığın %’si olarak) alınacaktır.*

***Çözüm:***

*Çamurun organik C içeriği,*

*Org C ≈*

*C =  (TKM’nin %’si olarak)*

*x: 1 kg kuru çamur ile karıştırılması gereken pirinç sapının kuru ağırlığı:*

*1 kg kuru çamurdaki C içeriği = 1x0,50 = 0.50 kg*

*N içeriği = 1x0,50x1/15 = 0.033 kg*

*X kg kuru pirinç sapının N içeriği = X x= 0.002X kg*

*Bu durumda (kütle dengesi yardımıyla),*

**

*X = 5 kg 🡪 Vps = 5/(0,5x100 kg/m3) = 0,1 m3 = 100 L*

*1 kg Septik tank çamurunun hacmi,*

*Vsç = = 9,09 L ≈ 9,1 L*

*Sonuç olarak 9,1 L septik tank çamuru 100 L pirinç sapı ile karıştırılarak C/N oranı 30’a getirilebilir.*

**ÖRNEK 3.1**

Bir malzeme geri kazanım tesisinin boşaltım alanından alınan evsel katı atık numunesinin, aşağıdaki bileşenleri içerdiği görülmüştür:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Yoğunluk (kg/m3)** | **Örnek alınan atık miktarı (% ağırlık)** |
| **Yemek atığı** | 290 | 22 |
| **Plastik** | 60 | 12 |
| **Cam** | 200 | 8 |
| **Demir/alüminyum** | 200 | 12 |
| **Tekstil** | 60 | 5 |
| **Kül** | 500 | 28 |

Verilen verilere göre, katı atık karışımının ortalama özkütlesini bulunuz.

***Çözüm 3.1***

Ortalama ağırlık = (0,22 \* 290)kg/m3+ (0,12 \* 60) kg/m3+ (0,08 \* 200) kg/m3+   
 (0,12 \* 200 ) kg/m3+ (0,05 \* 60) kg/m3+ (0,28 \* 500) kg/m3**= 254 kg/m3**

**ÖRNEK 3.2**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Yüzdece ağırlık (%)** | **Sıkıştırılmamış yığın yoğunluğu (kg/m3)** |
| **Oluklu mukavva** | 25 | 30 |
| **Kağıt ürünleri** | 15 | 61 |
| **Alüminyum** | 9 | 38 |
| **Yemek atığı** | 29 | 368 |
| **Park ve bahçe atığı** | 22 | 7,1 |

Yukarıda özellikleri verilmiş katı atık numunesi için,

1. *Sıkıştırma öncesindeki* yığın yoğunluğunu hesaplayınız.
2. Depo sahasındaki sıkıştırma sırasında gerçekleşen hacim azalmasını yüzde olarak hesaplayınız (Depo sahasındaki hücrelerde sıkıştırmanın 500 kg/m3 olduğunu varsayınız).
3. Yemek atığı ile park/bahçe atıklarının kompostlaştırıldığı düşünülürse, kalan atıklar için *sıkıştırılmamış* yığın yoğunluğunu hesaplayınız.

***Çözüm 3.2***

1. sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmeden önceki yığın yoğunluğu şu şekilde hesaplanabilir:
2. Sıkıştırmadan kaynaklanan hacim azalma yüzdesi:

Bir diğer deyişle, atıklar sıkıştırıldığında gerekli olan alan, sıkıştırılmadan depolandığında gerekli olan alanın sadece %4’üne karşılık gelmektedir.

1. Yemek atığı ve park/bahçe atıkları çıkarıldığında, sıkıştırılmamış yığın yoğunluğu şu şekilde hesaplanır:

**ÖRNEK 4.1**

Aşağıda bilgileri verilen evsel katı atık numunesi örneğinin, ortalama nem içeriğini hesaplayınız. Hesaplamalarınızı 100 kg örneklem için yapınız.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Atık** | **Nem içeriği (%)** | **Yüzdece ağırlık (%)** | **Atılan ağırlık (kg)** |
| **Kağıt atığı** | 7 | 25 | 25 |
| **Park/bahçe atığı** | 55 | 18 | 18 |
| **Yemek atığı** | 65 | 20 | 20 |
| **Plastik** | 2 | 5 | 5 |
| **Tahta/odun** | 20 | 8 | 8 |
| **Cam** | 3 | 7 | 7 |
| **Metal** | 3 | 9 | 9 |
| **Tekstil** | 12 | 8 | 8 |
| **Toplam** |  | **100** |  |

***Çözüm 4.1***

Evsel katı atık numunesinde bulunan her bir atık bileşeninin kuru ağırlığı aşağıdaki formülasyon kullanılarak hesaplanmıştır:

Buna göre;

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Atık** | **Nem içeriği (%)** | **Yüzdece ağırlık (%)** | **Atılan ağırlık (kg)** | **Kuru ağırlık (kg)** |
| **Kağıt atığı** | 7 | 25 | 25 |  |
| **Park/bahçe atığı** | 55 | 18 | 18 |  |
| **Yemek atığı** | 65 | 20 | 20 |  |
| **Plastik** | 2 | 5 | 5 |  |
| **Tahta/odun** | 20 | 8 | 8 |  |
| **Cam** | 3 | 7 | 7 |  |
| **Metal** | 3 | 9 | 9 |  |
| **Tekstil** | 12 | 8 | 8 |  |
| **Toplam** |  | **100** |  |  |

Yapılan hesaplara göre 100 kg atıktaki toplam kuru ağırlık 72,21 kg olarak bulunmuştur. Buna göre evsel katı atık örneğinin nem muhtevası

olarak bulunur.

**Örnek 4.2. Nem İçeriğinin Hesabı**

Bir katı atıktaki bileşenler ve bu bileşenlerin nem içerikleri aşağıdaki gibidir:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Katı atık | Yüzdece içerik | Nem muhtevası |
| Kağıt | 50 | 6 |
| Cam | 20 | 2 |
| Yiyecek | 20 | 70 |
| Bahçe | 10 | 60 |

Buna göre bu karışık atığın nem içeriğini hesaplayınız.

***Çözüm 4.2.***

*Bu katı atık numunesinin ıslak ağırlığının 100 kg olduğu düşünülerek bileşenler tablo haline getirilirse, bu verilere göre su muhtevası, ıslak ağırlık bazında, aşağıdaki gibi hesaplanabilir:*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Bileşen* | *Yaş Ağırlık, kg* | *Su Muhtevası, %* | *Kuru Ağırlık, kg* |
| *Kağıt* | *50* | *6* | *47* |
| *Cam* | *20* | *2* | *19* |
| *Yiyecek atıkları* | *20* | *70* | *6* |
| *Bahçe atıkları* | *10* | *60* | *4* |
| *Toplam* | *100* |  | *76* |

**

*bulunur.*

***ÖRNEK 1.2***

*Karışık bir evsel atığın 10 g’ı 8850 cal/°C'lik ısı kapasitesine sahip bir kalorimetrede yakılmaktadır. Yanma sırasındaki sıcaklık artışı 3.35°C olduğuna göre, numunenin ısı değerini hesaplayınız. (Not: 1 btu 252 kalori; 1 lb 453,6 g)*

***Çözüm 1.2***

***ÖRNEK 1.3***

*Örnek 1.1’de kimyasal bileşimi bulunan evsel katı atık örneğinin enerji içeriğini bulunuz.*

***Çözüm 1.3***

*Örnek 1.1’de yapılan uygulamada, evsel katı atık örneğinin kimyasal formülü C655.3H1028.8O407.7N10.1S olarak bulunmuştu. Aynı zamanda her bir elementin ağırlıkları da hesaplanmıştı. Bu veriler doğrultusunda elementlerin ağırlıkça yüzdeleri aşağıdaki tabloda verilmiştir:*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | ***Ağırlık (kg)*** | ***Ağırlıkça yüzde (%)*** |
| ***C*** | *12,27* | *50,43* |
| ***H*** | *1,62* | *6,66* |
| ***O*** | *10,17* | *41,80* |
| ***N*** | *0,22* | *0,90* |
| ***S*** | *0,05* | *0,21* |
| ***Kül*** | *-* | *-* |

*Buna göre, Modifiye Dulong formülü kullanıldığınd atığın enerji içeriği*

*olarak bulunur.*

***ÖRNEK 1.4***

*Aşağıda özellikleri verilmiş evsel katı atığın enerji içeriğini Khan Denklemi’ni kullanarak bulunuz.*

|  |  |
| --- | --- |
|  | ***Yüzdece ağırlık (%)*** |
| ***Kağıt*** | *37* |
| ***Plastik*** | *7* |
| ***Cam*** | *9,0* |
| ***Metal*** | *6* |
| ***Yemek atığı*** | *24* |
| ***Tekstil*** | *2* |
| ***Diğer*** | *15* |
| ***TOPLAM*** | ***100*** |

***Çözüm 1.4***

*Daha önce de bahsedildiği üzere, bir evsel katı atık örneğinin ısı içeriği, bileşimin bir fonksiyonudur. Özellikle kağıt, plastik, gıda ve park/bahçe atıkları gibi yüksek Btu değerlerine sahip olan malzemelerin yüzdesinin yüksek olması, yüksek ısı eldesini sağlayacaktır. Buna karşın, nem ve kül gibi inorganik içerik yanma ısısının azalmasına sebep olacaktır.*

*Her bir atık madde için ısı değerleri, Modifiye Dulong formülü olarak bilinen şu formül kullanılarak hesaplanabilir:*

*Formülde C, H2, O2, S ve N değerleri ağırlık yüzdesini gösterir.*

*Khan ve ark (1991) ise daha doğrudan bir yaklaşım kullanarak evsel katı atığın enerji içeriğini şu eşitlikle hesaplamıştır:*

*Denklemde E MJ/kg birimi ile enerji içeriğini, F yemek atıklarının ağırlıkça yüzdesini, CP karton ve kağıt yüzdesini, PLR ise plastik ve lastik yüzdesini gösterir.*