

## 2.5. Silaj Makinaları (Yeşil Yem Kıyma Makinaları)

Silaj makinası, silaj yapılmak üzere namlu haline getirilmiş yeşil yemleri toplayarak kıyan veya biçilmemiş yeşil yem bitkilerini biçen, parçalayan ve üfleyerek bir araca dolduran kendi yürür veya traktörle kullanılan makinadır. Silaj makinaları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- 1-Taşınma durumlarına göre
  - 1.1-Kendi yürür silaj makinaları
  - 1.2-Traktörle çalıştırılan silaj makinaları
    - 1.2.1-Asma tip
    - 1.2.2-Çekilir tip
- 2-Kıyma boyutuna göre
  - 2.1-Uzun boyutlu kıyma düzenli silaj makinaları
  - 2.2.Kısa boyutlu kıyma düzenli silaj makinaları
    - 2.2.1-Değişken boyutlu
    - 2.2.2-Eşit boyutlu'
- 3-Kesici organlara göre
  - 3.1-Çarpmalı tip silaj makinaları
  - 3.2-Diskli tip silaj makinaları
  - 3.3-Tamburlu tip silaj makinaları
- 4-Özel Silaj makinaları
  - 4.1-Mısır silaj makinaları
  - 4.2-Ot silaj makinaları

### 2.5.1.Taşınma Durumlarına Göre Silaj Makinaları

Kendi yürür tip silaj makinalarında güç kaynağı ile silaj düzeni aynı makina üzerindedir. Yani silaj makinasında motor, aktarma organları, dümenleme sistemi blok halinde olup bağımsız olarak hareket edebilmektedir. İş verimleri yüksek olup pratik ve kullanışlıdır. Ne var ki, pahalı ve çok büyük işletmeler için uygundur.

Yaygın olarak kullanılan, hareketini traktör kuyruk milinden alan silaj makinaları çekilir ya da asma tip olabilmektedir. Traktörden hareketini alırlar, traktöre bağımlıdır. Çekilir tipler traktörün arkasına, arka yanına ve ön yanına bağlanabilir. Asma silaj makinalarının hareket etme yetenekleri daha iyidir. Ancak iş genişlikleri çekilir tiplere göre daha azdır ve daha hafiftirler.

### 2.5.2.Kıyma Boyutuna Göre Silaj Makinaları

Silolama tekniği ve bitki çeşidine göre silajın kıyma boyutu değişir. Bu yönden silaj makinaları kıyma boyutuna göre uzun boyutlu ve kısa boyutlu olarak ikiye ayrılır.

#### 2.5.2.1.Uzun Boyutlu Kıyma Düzenli Silaj Makinaları

İnce saplı ve kısa boylu kaba yem bitkilerinin kıyılmasında fazla parçalanma gereksinimi olmadığından toplama düzenli tarım arabalarına kıyma düzenleri eklenerek kıyma ve yükleme aynı anda yapılmaktadır. Yükleme elemanları ile tarla yüzeyinden alınan materyal, iletim kanalına yerleştirilen sabit, hareketli ve döner bıçaklar yardımıyla 40–70 mm uzunluğunda

kesilerek tarım arabasına yüklenirken uzun boyutlu kıyılmış kaba yem, kasa tabanında sonsuz zincirli götürücü yardımıyla siloya dökülür.

Uzun boyutlu silaj makinaları temelde toplayıcı, iletilici, kıyıcı ve yükleme (tarım) arabasından oluşur. Toplayıcılar bantlı, zincirli ve tamburlu olabilmektedir. İletim düzenleri ise tamburlu (oynak parmaklı ya da sabit parmaklı), salınlı, itmeli ve taraklı yapıdadır. (Şekil 2.34)

En yaygın kullanılan iletilici salınlı iletilicidir. Çünkü bu iletiliciler; basit, sağlam ve ucuzdur. Diğer iletilicilerin pahalı olmaları ve işlemlerini tam olarak yerine getirmemeleri nedeniyle kullanımları kısıtlıdır. Yemin yüklenmesi sürecinde kıyılmasını yani küçük boyutlara ayrılmasını kıyıcı bıçaklar gerçekleştirmektedir.

En çok kullanılan bıçak tipi sabit bıçak tipidir. İletim kanalında iletilen yeşil yem bıçak tarafından kesilerek arabaya gönderilir. Diğer iki bıçak (git-gel hareketli ve döner diskli) karmaşık yapıya sahiptir. Ancak ürünün düzgün ve akıcı bir şekilde kesilmesini sağlar.

### **2.5.2.2.Kısa Boyutlu Kıyma Düzenli Silaj Makinaları**

Kalın saplı ve uzun boylu yem bitkilerinin silolama ve yemleme tekniği yönünden kıyılarak küçük boyutlara getirilmesi gerekmektedir. Kısa boyutlu kıyma düzenli silaj makinaları yardımıyla uzun boyutlu kıyma düzenli silaj makinalarındaki toplama, kıyma ve iletim işlemleri yapılmaktadır. Bu nedenle kısa boyutlu kıyma düzenli silaj makinaları tarım arabasından ayrı olarak bir bütün halinde çalışmakta, yem biçilmekte ya da toplanmakta, kıyılmakta ve üflenmektedir. Materyal, basit yapılı tek akslı veya iki akslı tarım arabasına doldurularak siloya götürülmektedir. Bazen de silo yakınına kurulan kıyma düzeni ile biçilerek getirilen kaba yem kıyılabilir. Kısa boyutlu kıyma düzenli silaj makinaları kıyılan materyalin boyutunun değişken veya eşit oluşuna göre iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar değişken boyutlu ve eşit boyutlu kesme yapan kıyma düzenli silaj makinalarıdır.

#### **2.5.2.2.1.Değişken Boyutlu (Çarpmalı) Kıyma Düzenine Sahip Silaj Makinaları**

Değişken boyutlu kıyma düzenine sahip silaj makinalarında tarla yüzeyine paralel bir mil üzerine serbest bağlanmış bıçaklar bitkiyi biçmekte ve eşit olmayan boyutlarda kıymaktadır. Yeşil yemin tarlada biçilmesi, kıyılması ve taşıyıcıya yüklenmesi aynı ünite tarafından yapılmaktadır. Biçme ünitesi yeşil yemi kesmeden, çarparak biçmekte, kıyarak üfleyiciye oradan da sevk borusuna göndermektedir.

Değişken boyutlu kıyma düzenine sahip silaj makinalarının bazılarında kanatlı tip ikinci kıyma ünitesi eklenerek, ikinci bir kıyma işlemi uygulanır ve böylece iki kez kıyıldıktan sonra yeşil yem ikinci kıyma ünitesi tarafından taşıyıcıya yüklenir. Şekil 2.35'de çarpmalı tip değişken boyutlu kıyma düzenine sahip iki silaj makinasının bıçak tipleri, dizilişleri ile genel görünüşleri verilmiştir.

Şekilde görülen a tipi silaj makinasında bitki biçilmekte ve aynı ünite tarafından sevk borusuna gönderilmektedir. Bıçakların biçimi ve dizilişi yemi kesip, hemen fırlatacak şekildedir. Kıyma boyu b makinasından daha fazladır.

Tip b'de ise bitki biçilmekte ve taşıma helezonuyla fırlatma ünitesine gelerek kanatlar yardımıyla sevk borusuna gönderilmektedir. Bu tip makinaların bazılarında fırlatıcı düzen yalnızca fırlatma işlemi yapmamakta, kesici bıçakların karşısına karşı bıçak konularak kesme

işlemi de gerçekleştirilmektedir. Kıyma boyları ikinci bir kıyma işlemi nedeniyle daha küçük olabilmektedir.

Çarpmalı tip biçme düzenli silaj makinaları basit, ucuz ve aynı zamanda universal kullanıma sahiptir. Bu tip makinalar yalnızca otların, mısırın, yeşil yemin biçilmesinde değil aynı zamanda şekerpancarı ve patates yapraklarının koparılmasında da kullanılmaktadır.

Bu tip makinalarda ilave düzeneğe ihtiyaç olmadan biçilmiş materyal tarladan toplanarak kıyılabilir. Yeşil yemin sevk borusu içerisindeki hareketi biçme ya da kıyma düzeninin etkisiyle gerçekleşmektedir. Bıçaklar yatay izdüşümleri alındığında milin çevresine gelmeyecek şekilde helezonik biçimde yerleştirilmiştir.

Bıçakların çevre hızı 25–47 m/s arasında değişmektedir. Bıçak sayısı iş genişliğine bağlıdır. İş genişliği 1.1 m olabilmektedir. Parçalama ya da kıyma boyutu karşı bıçağın aktif bıçaklara yaklaştırılıp, uzaklaştırılmasıyla değiştirilir.

Bu tip makinaların sakıncaları;

- a- Silajlık yemde aşırı kirlenmeye neden olmaları,
- b- Parçalama işinin düzgün olmayışı,
- c- Biçilen yeşil yemin yeniden gelişmesinde olumsuzlukların görülmesi,
- d- Eşit olmayan kıyma boyları
- e- Yüksek güç gereksinimidir

#### **2.5.2.2.2. Eşit Boyutlu (Diskli ve Tamburlu) Kıyma Düzenine Sahip Silaj Makinaları**

Eşit boyutlu kıyma düzenli silaj makinaları, makaslama kesme yapan döner bıçaklı kıyıcılardır. Bitkinin kıyılma boyu istenen uzunlukta eşit olarak ayarlanabilmektedir. Kıyma boyu ayarı

- a- Bıçak sayısının,
- b- Bıçakların bağlı olduğu döner organın devir sayısının
- c- Besleme yani ilerleme hızının değiştirilmesiyle yapılır.

Bıçak sayısının ve devir sayısının azaltılması, besleme hızının artırılması kıyma boyunu büyütür. Eşit boyutlu kıyma düzenine sahip silaj makinaları diskli ve tamburlu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Diskli ve tamburlu kıyma düzenleri sırasıyla Şekil 2.36 ve Şekil 2.37'de görülmektedir.

Diskli kıyma düzenine sahip silaj makinalarında bıçaklar dönme eksenine göre radyal ya da radyala yakın belirli bir açıyla diske bağlanmaktadır. Keskin kenarları doğru ya da eğri olan bıçakların sayısı 1–12 adet arasında değişmektedir. Diskin dönme sayısı 540–1800 d/d ve bıçakların çevre hızı ise 30–50 m/s arasındadır. Disk üzerinde bulunan kanatlar kesilen materyalin fırlatma (sevk) borusu içinden fırlatılarak iletilmesini sağlar.

Diskli silaj makinaları hem yığın haline getirilmiş yeşil yemin kıyılmasında ve hem de makinaya eklenen bir biçme düzeni yardımıyla yeşil yemin silaj yapılmasında kullanılır.

Tamburlu tip silaj makinalarında materyalin toplanması, besleyici ve yedirme organları, fırlatma borusu diskli silaj makinasının benzeridir. Tek fark kıyma düzenidir. Tamburlu kıyma düzenlerinde bıçaklar bir tamburun ya da silindirin çevresine helisel eğri şeklinde belirli bir açı (30 – 35°) altında bağlanmıştır (Şekil 2.37). Tamburun çevre uzunluğuna göre bıçak sayısı değişebilmektedir. Hareketli bıçaklar ilerleme düzleminde dönen tambur üzerine teğettir ve dönme eksenine paralel konumlandırılmıştır. Bu yapı bıçakların yerinden sökülmeden bilenmesini kolaylaştırmıştır

Tambur çapı diskli tip silaj makinasındaki disk çapından küçük, devri ise hemen hemen iki katıdır. Bunun sonucu olarak da daha kısa kıyma boyu elde edilebilir. Diskli kıyma düzeninde bıçakların her 10–14 ton materyal kıyılmasından sonra bilenmesi gerekirken, tamburlu tipte bu sorun otomatik bilemeyle ortadan kaldırılmıştır.

Modern silaj makinalarında tambur çapı oldukça küçük olup 480–490 mm dolayındadır. Tambur çapının, dolayısıyla ağırlığının az olması atalet momentinin küçük olmasına bu da sık tıkanmalara neden olur ve aşırı momentleri yenmek için ek motor gücüne gereksinim gösterir. Silaj makinalarında bu nedenle % 10–15 rezerv motor gücüne gereksinim vardır. Tamburlu kıyma düzeninin tercih nedenlerinden birisi de bıçak uzunluğunun her noktasındaki hızın sabit olmasıdır. Hâlbuki diskli kıyma düzeninde bıçakların hızı başından ucuna doğru 31 m/s den 47 m/s'ye kadar değişebilmektedir.

Tamburlu silaj makinalarında kıyılan materyalin sevk borusuna gönderilmesinde, çoğunlukla ayrı bir fırlatıcı kullanılmaktadır. Ancak, materyal iletimi için bıçaklara özel biçim verilerek fırlatıcı kanat özelliği de kazandırılarak, kıyııcı düzen aynı zamanda fırlatıcı olarak da kullanılmaktadır. Şekil 2.39' da direkt fırlatmalı tamburlu tip bir silaj makinası örneği verilmiştir.

### 2.5.3.Özel Silaj Makinaları

Özel Silaj makinaları çarpmalı, diskli ya da tamburlu olabilmektedir. Özel mısır silaj makinasına mısırın hasadını sağlayan özel düzenek eklenerek mısır silajı yapılmaktadır. Mısır hasat düzeneği çıkartılarak toplama düzeni de eklenebilmektedir. Ot silaj makinaları; baklagil+buğdaygil, serin iklim buğdaygilleri ve yonca gibi alçak boylu, ince gövdeli silajlık materyalin hasadında yaygın olarak kullanılmaktadır. Mısır, sorgum gibi sıcak iklim bitkilerinin hasadında da son yıllara kadar kullanılan ot silaj makinaları, bu çeşit silajlık bitkilerin hasadında yerini mısır silaj makinalarına bırakmıştır.

### 2.5.4.Silaj Makinalarında Teorik Kıyma Boyunun Hesaplanması

Diskli ve tamburlu tip kıyma düzenine sahip silaj makinalarında teorik kıyma boyu şu bağıntı yardımıyla hesaplanabilir.

$$L_t = 6 \times 10^4 \frac{V_b}{n_a \cdot z}$$

$$V_b = \frac{2\pi r_b n_b}{60}$$

Burada;

- $L_t$  = Materyalin teorik kıyma boyu (mm)  
 $V_b$  = Kıyılan yeşil yemin besleme hızı (m/s)  
 $n_a$  = Diskin ya da tamburun devir sayısı (d/d)  
 $z$  = Disk ya da tambur üzerindeki bıçak sayısı (adet)  
 $r_b$  = Besleme tamburunun yarıçapı (m)  
 $n_b$  = Besleme tamburunun devir sayısıdır (d/d).

### 2.5.5.Silaj Makinalarında Güç Gereksinimi

Bir silaj makinasıyla hasatta toplam ( $N_T$ ) güç gereksinimi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$N_T = N_{TR} + N_K + N_S + N_A$$

Traktörün kendini hareket ettirme gücü traktörün ağırlık, tekerlek boyutları, zemin durumu, eğim gibi koşullara bağlıdır. Silaj makinası için gerekli çeki gücü birinci derecede kütlesi ve yüklenen silaj miktarına göre artar ya da azalır. Silaj makinalarının birbirleriyle kıyaslanmalarında en önemli ölçüt kuyruk mili gücü gereksinimidir. Kanofojski ve Karwowski'ye göre silaj makinalarında kuyruk mili gücü aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır.

$$N_K = N_C + N_Z + N_W + N_P + N_D$$

Burada;

- $N_K$  = Kuyruk mili gücü gereksinimi  
 $N_C$  = Kıyıcı düzende tüketilen güç  
 $N_Z$  = Ezici ve baskı silindirlerinde tüketilen güç  
 $N_W$  = Ön ezici silindirlerde tüketilen güç  
 $N_P$  = Toplayıcıda ve iletilicilerde tüketilen güç  
 $N_D$  = Makinanın transmisyon ünitelerinde tüketilen güçtür.

Srivastava et al. (1993)' e göre tamburlu ve diskli tip kıyıcı düzende tüketilen güç aşağıda verilen bir dizi bağıntılarla hesaplanabilir.

Materyalin kıyılması için gerekli güç ( $N_{kg}$ ) :

$$N_{kg} = \frac{1000 C_f F_s Q_t}{\rho_m L_t}$$

Burada;

$N_{kg}$  = Materyalin tamburlu ve diskli tip kıyma düzeninde kıyılması için gerekli olan güç (kW)

$C_f$  = Ortalama özgül kesme kuvvetinin maksimum özgül kesme kuvvetine oranı

$F_s$  = Kıyma bıçağının birim uzunluğuna düşen maksimum özgül kesme kuvveti(N/mm)

$L_t$  = Materyalin teorik kıyma boyu (mm)

$\rho_m$  = Yeşil yemin kıyıcıya girişteki özgül kütleleridir (kg/m<sup>3</sup>) .

$Q_t$  = Kıyıcının kuramsal işleme kapasitesi (kg/s) olup aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$Q_t = \frac{\rho_m A_t L_t z n_a}{6 \times 10^8}$$

Burada;

$Q_t$  = Kıyıcının kuramsal işleme kapasitesi (kg/s)

$\rho_m$  = Yeşil yemin kıyıcıya girişteki özgül kütlesi (kg/m<sup>3</sup>)

$A_t$  = Kıyıcıya yeşil yemin yedirilmesindeki boğazın kesit alanı (cm<sup>2</sup>)

$L_t$  = Materyalin teorik kıyma boyu (mm)

$z$  = Disk ya da tambur üzerindeki bıçak sayısı (adet)

$n_a$  = Diskin ya da tamburun devir sayısıdır (d/d).

Özgül kesme enerjisi farklı silaj makinalarının karşılaştırılmasında çok kullanılan bir ölçüttür. Özgül kesme enerjisi aşağıdaki gibi bulunur.

$$E_{sc} = \frac{1000 C_f F_s}{\rho_m}$$

Burada;

$E_{sc}$  = Tamburun ya da diskin birim kütlesine düşen özgül kesme enerjisidir (J.m/kg).

Özgül kesme enerjisine bağlı olarak kesme gücü hesaplanabilir.

$$N_{kg} = \frac{E_{sc} Q_t}{L_t}$$

Özgül kesme enerjisi maksimum özgül kesme kuvvetiyle orantılıdır. Buna göre bıçak keskinliğinin ve bıçak-karşı bıçak arasındaki mesafenin, güç gereksiniminin azaltılmasında önemli bir yeri vardır. Bıçağın keskin kenar kalınlığının 0.1 mm'den 0.3 mm'ye yükselerek körelmesi güç tüketimini yaklaşık 2 kat artırır. Yine bıçak-karşı bıçak arasındaki açıklığın 0.1 mm'den 0.4 mm'ye yükselmesi güç tüketimini ikiye katlar.

Körelme ve aralık artışının birlikte meydana gelmesi güç tüketimini yaklaşık 3 kat artırır. Ayrıca bıçağın körelmesi ve aralığın çok artması otun kesilmeden yırtılmasına yol açar. Bıçakların körelmemesi için otomatik biley taşı kullanılır. Yine metal parçacıklarının kıyma düzenine ve silajın içerisine girmemesi için boğaz girişinde metal sensörü kullanılır. Metal sensörü sayesinde yedirici silindirlerin hareketi otomatik olarak kesilir ve silindirler ters çevrilerek metal dışarı alınır.

Kıyma düzeninde kıyılan materyal ile kıyıcı düzen ve diğer yüzeyler arasındaki sürtünmeden kaynaklanan güç tüketimi aşağıdaki bağıntı ile bulunabilir.

$$N_s = \frac{\beta \mu Q_t V_t^2}{1000}$$

Burada;

$N_s$  = Silajın kıyma düzenindeki sürtünmesinden kaynaklanan güç kaybı (kW)

$\beta$  = Silaj materyalinin temas ettiği sürtünme yüzeyi yayının büyüklüğü ya da ortalama temas açısı (radyan)

$\mu$  = Silaj ve kıyma düzenini çevreleyen çelik muhafaza arasındaki sürtünme katsayısı

$Q_t$  = İşleme ya da besleme kapasitesi (kg/s)

$V_t$  = Tamburun ya da diskin çevre hızıdır (m/s).

Çelik ve silaj arasındaki sürtünme katsayısı ( $\mu$ ) silajın tipine, nem içeriğine, kıyıcı düzenin çevre hızına ve diğer faktörlere bağlı olarak 0.2 ile 0.8 arasında değişir. Çevre hızının 20–28 m/s olduğu koşulda mısır ve yonca için parlatılmış çelik yüzey ile silaj arasındaki sürtünme açısı 0.49 alınabilir.

Yeşil yem kıyıldıktan sonra arkadaki treylere fırlatılması ya da iletilmesi gerekir. Bu iletimin gerçekleştirilmesi için silajın hızı tambur ya da disk hızına yükseltilir yani silaj ivmelendirilir. Bu yükseltme için ilave güce ihtiyaç vardır. Bu güç tüketimi şu şekilde hesaplanabilir.

$$N_{iv} = \frac{Q_t V_{cb}^2}{2000}$$

Burada;

$N_{iv}$  = Silajın ivmelendirilmesi için gerekli güç (kW)

$Q_t$  = İşleme ya da besleme kapasitesi (kg/s)

$V_{cb}$  = Tamburda ya da diskte bulunan bıçakların çevre hızıdır (m/s).

Hem tambur hem de disk silaj iletimi sırasında havayı da iletmektedir. Havanın da bir direnci söz konusudur. Hava direncini yenmek için gerekli olan güç aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$N_h = \frac{V_{cb}^3}{16600}$$

Burada;

$N_h$  = Havanın iletilmesi için gerekli güçtür (kW).

Silaj makinasının kıyma düzeninde yukarıda sıralanan güç tüketimlerinin dışında kalan özellikle besleme ve diğer silindirlerin neden olduğu güç kaybı ise aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$N_d = C_{ho} + C_{h1} Q_t$$

Burada;

$N_d$  = Silindirler ve diğer kısımlarda meydana gelen güç kaybı (kW)

$C_{ho}$  = Sabit katsayı (kW)

$C_{h1}$  = Sabit katsayı (kW.s/kg)

$Q_t$  = İşleme ya da besleme kapasitesidir (kg/s).

Yukarıda sıralanan güç tüketimleri toplanarak silaj makinasının toplam kuyruk mili gücü bulunabilir.

$$N_K = N_{kg} + N_s + N_{iv} + N_h + N_d$$

Hava direnci için gerekli olan güç tüketimi dışındaki güçlerde besleme kapasitesinin doğrudan etkisi vardır. Eğer yukarıdaki hesaplamalarda veri sıkıntısı çekiliyorsa aşağıdaki formülle de kabaca bir güç hesabı yapılabilir.

$$N_K = 1.5 + 3.3 C_r C_c Q_t$$

Burada;

$N_K$  = Silaj makinası kuyruk mili gücü (kW)

$C_r$  = İkinci kıyma faktörüdür. İkinci bir kıyma düzeni yoksa 1 varsa 2 alınır.

$C_c$  = Ürün faktörüdür. Yeşil mısır için 1, yeşil yonca için 1.33 ve nemi düşük silaj ya da kuru ot için 2 alınabilir.

$Q_t$  = İşleme ya da besleme kapasitesidir (kg/s).