



**EGE ÜNİVERSİTESİ**



**DOKTORA TEZİ**

**SİLAJLIK MISIR HASAT MAKİNASI KIYICI  
BIÇAKLARININ TERMAL PÜSKÜRTME YÖNTEMİ  
KULLANILARAK KESME ETKİNLİĞİNİN  
ARTIRILMASI**

**Öğr. Gör. Engin ERGÜL**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bülent ÇAKMAK**

**Tarım Makinaları Anabilim Dalı**

**Bilim Dalı Kodu: 501.08.00**

**Sunuş Tarihi: 26.05.2015**

**Bornova-İZMİR**

**2015**







**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**(DOKTORA TEZİ)**

**SİLAJLIK MISIR HASAT MAKİNASI KIYICI  
BIÇAKLARININ TERMAL PÜSKÜRTME YÖNTEMİ  
KULLANILARAK KESME ETKİNLİĞİNİN  
ARTIRILMASI**

**Öğr. Gör. Engin ERGÜL**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bülent ÇAKMAK**

**Tarım Makinaları Anabilim Dalı**

**Bilim Dalı Kodu: 501.08.00**

**Sunuş Tarihi: 26.05.2015**

**Bornova-İZMİR**

**2015**



**Engin ERGÜL** tarafından **DOKTORA** tezi olarak sunulan “**Silahlık Mısır Hasat Makinası Kıyıcı Bıçaklarının Termal Püskürtme Yöntemi Kullanılarak Kesme Etkinliğinin Artırılması**” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve **26.05.2015** tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday **oybirliği** ile **başarılı** bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri:**

**İmza**

**Jüri Başkanı : Doç. Dr. Bülent ÇAKMAK** .....

**Raportör Üye : Prof. Dr. Harun YALÇIN** .....

**Üye : Prof. Dr. Tuna DOĞAN** .....

**Üye : Prof. Dr. Serdar SALMAN** .....

**Üye : Doç. Dr. H. Özkan GÜLSOY** .....





# EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

## ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum **“Silajlık Mısır Hasat Makinası Kıyıcı Bıçaklarının Termal Püskürtme Yöntemi Kullanılarak Kesme Etkinliğinin Artırılması”** başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

26.05.2015

Öğr. Gör. Engin ERGÜL



**ÖZET****SİLAJLIK MISIR HASAT MAKİNASI KIYICI BIÇAKLARININ  
TERMAL PÜSKÜRTME YÖNTEMİ KULLANILARAK KESME  
ETKİNLİĞİNİN ARTIRILMASI**

ERGÜL, Engin

Doktora Tezi, Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bülent ÇAKMAK

Mayıs 2015, 112 sayfa

Bu tez çalışmasında ülkemizde yaygın olarak kullanılmakta olan tek sıra silajlık mısır hasat makinaları kıyıcı bıçaklarının kesici yüzeyi özel metalik toz karışımlarla termal püskürtme yöntemi kullanılarak kaplanıp, bıçakların kesme etkinliğinin ve kesme kalitesinin değişimi incelenmiştir. Ayrıca kesme kenarında oluşan körelme süresi uzatılarak yakıt tasarrufunun sağlanması ve kesme kalitesinin daha uzun süre korunması amaçlanmıştır.

Çalışmada tek sıra silajlık mısır hasat makinası kullanılarak üç bıçak türü denenmiştir. Bunlar; şahit bıçak (S), kaplama (A) bıçağı ve kaplama (B) bıçağı olarak adlandırılmıştır. Ana kaplama malzemesi olarak WC esaslı toz alaşımlar kullanılmıştır. Kaplama A bıçağının içeriği; WC-Ni-Cr-Co-B-Si toz alaşımı, kaplama B bıçağının ise WC-Ni-Cr-B-Si toz alaşımıdır. Şahit bıçakta herhangi bir işlem yapılmamıştır.

Her üç bıçakla da mısır hasadı yapılmıştır. 30 da'lık hasat sonunda A bıçağının saatlik yakıt tüketimi ortalama  $5,66 \text{ Lh}^{-1}$  olurken, B bıçağı için  $7,07 \text{ Lh}^{-1}$ , S bıçağı için ise  $7,31 \text{ Lh}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Bıçakların 30 da'lık hasadında ortalama güç ihtiyacı değerleri A bıçağının  $21,9 \text{ kW}$ , B bıçağının  $23,5 \text{ kW}$ , S bıçağının için ise  $25,8 \text{ kW}$ 'dır. S bıçağı, A ve B bıçaklarına göre daha yüksek güç tüketimine sahiptir. A bıçağının ortalama güç ihtiyacı ve yakıt tüketim değerlerinin diğer iki bıçaktan (B-S) belirgin şekilde farklı (daha düşük) olduğu görülmüştür. Ürününün hedeflenen kıyma boyu değerinin A bıçağıyla % 91,8 oranında sağlandığı saptanmıştır.

**Anahtar sözcükler:** Hasat makinası, Toz kaplama, Yakıt tüketimi, Silaj, Kıyıcı bıçak



**ABSTRACT****INCREASE THE CUTTING EFFICIENCY OF CHOPPER BLADES  
OF CORN HARVESTING MACHINE FOR SILAGE BY USING  
THERMAL SPRAY COATING**

ERGÜL, Engin

Ph. D. Thesis in Agricultural Machinery

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bülent ÇAKMAK

May 2015, 112 pages

In this thesis, cutting surface of chopper blades of single row silage corn harvester machine which are used widely in our country, were coated by thermal spray method with special metal powder mixture and the changes in the blades cutting efficiency and cutting quality were studied. Besides, by extending blunt time on cutting edge, fuel saving and protection of long time cutting quality is aimed.

At this study, three blade types were tested by using single row silage corn harvester. These are called; Original Blade (S), Coating (A) Blade and Coating (B) Blade. WC based powder alloys are used as main coating. The content of the Coating (A) blade is; WC-Ni-Cr-Co-B-Si powder alloy, the content of the Coating (B) Blade is; WC-Ni-Cr-B-Si powder alloy. There is no process on the Original Blade.

Corn harvested by using all three blades. At the end of the 30 da harvesting, average hourly fuel consumption is 5.66 Lh<sup>-1</sup> for blade A, 7.07 Lh<sup>-1</sup> for blade B and it is measured 7.31 Lh<sup>-1</sup> for blade S. During 30 da harvesting, average power requirements of blades are; 21.9 kW for blade A, 23.5 kW for blade B and 25.8 kW for blade S. The blade S has higher power consumption than blades A and B. The average power requirement and fuel consumption of blade (A) is seen to be clearly different (lower) from other two (B-S) blades. Target chopper length of the crop provided by blade A with 91.8% rate.

**Keywords:** Harvesting machine, Powder coating, Fuel consumption, Silage, Chopper blade



## TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında bilgi ve deneyimleri ile beni yönlendiren, saygıdeğer hocam Doç. Dr. Bülent ÇAKMAK'a, Tez İzleme Komitesi üyeleri değerli hocalarım Prof. Dr. Harun YALÇIN, Prof. Dr. Tuna DOĞAN'a, doktora çalışmalarımın yapılmasında olanak sağlayan ve destek veren Evrenosoğlu Çiftliği sahiplerinden Dr. Mehmet EVRENOSOĞLU'na ve Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Araştırma Uygulama ve Üretim Çiftliği çalışanlarına, alan çalışmalarım sırasında yardımcı olan ve tecrübelerini esirgemeyen Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü çalışanlarına teşekkür ederim.

Beni yetiştirip, bu günlere gelmemde gösterdikleri her türlü özveri ve desteklerinden dolayı annem Sabahat ERGÜL ve babam Hüseyin ERGÜL'e, gerek hayatımda gerekse doktora çalışmalarım esnasında gösterdiği anlayış ve verdiği desteklerinden dolayı değerli eşim Öğr. Gör. Aliye ERGÜL'e, varlığıyla hayatıma anlam katan kızım Eylül İrem ERGÜL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.





**İÇİNDEKİLER**

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	ix
TEŞEKKÜR .....	xi
İÇİNDEKİLER .....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xxvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xxix
1. GİRİŞ .....	1
1.1 Hayvansal Üretim .....	1
1.1.1 Dünyada hayvansal üretim .....	2
1.1.2 Türkiye’de hayvansal üretim .....	5
1.2 Büyükbaş Hayvan Yetiştiriciliği .....	6
1.3 Hayvansal Üretimde Yemin Önemi ve Silajlık Yem .....	7
1.3.1 Toprak üstü plastik örtülü silolar .....	12
1.3.2 Yer üstü beton silolar .....	13
1.3.3 Silindirik balya silajı .....	13
1.3.4 Sosis tipi silolar .....	14

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
1.3.5 Kule tipi silolar .....	14
1.4 Bitkisel Materyalin Kesilme Mekanığı .....	15
1.5 Kaba Yem Hasadında Kullanılan Makinalar .....	17
1.5.1 Silajlık ot hasat makinaları .....	18
1.5.2 Silajlık mısır hasat makinaları .....	19
1.5.3 Silajlık mısır hasat makinalarının parçaları .....	21
1.5.4 Silajlık mısır hasat makinalarının çalışma sistemi .....	23
1.6 Termal Püskürtme Yöntemi .....	27
1.6.1 Plazma kaplama yöntemi .....	30
1.6.2 Yüksek hızda oksî-yakıt püskürtme yöntemi (HVOF) .....	31
1.6.3 Alevle tel püskürtme yöntemi .....	32
1.6.4 Elektrik arkı ile tel püskürtme yöntemi .....	34
1.6.5 Alevle toz püskürtme yöntemi .....	35
1.7 Kaplanacak Yüzeylerin Hazırlanması .....	37
1.7.1 Kum püskürterek yüzey hazırlama .....	37
1.7.2 Mekanik olarak yüzey hazırlama .....	38
1.8 Aşınma Mekanizması .....	38

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
1.8.1 Adhesif aşınma.....	39
1.8.2 Abrasif aşınma.....	39
1.8.3 Korozif aşınma .....	40
1.8.4 Erozyon aşınması .....	41
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	42
3. ÇALIŞMANIN AMACI .....	49
4. MATERYAL .....	52
4.1 Hasadı Yapılan İkinci Ürün Mısır .....	52
4.2 Deneme Süresi ve Yeri .....	53
4.3 Denemelerde Kullanılan Traktör .....	54
4.4 Denemelerde Kullanılan Tek Sıra Silajlık Mısır Hasat Makinası .....	56
4.5 Denemelerde Kullanılan Ölçüm Sistemi .....	58
4.5.1 Veri kayıt seti .....	58
4.5.2 Torkmetre .....	59
4.5.3 Yakıt ölçüm sistemi.....	60
4.5.4 Üniversal sertlik ölçüm cihazı.....	63
4.5.5 Etüv .....	63

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
4.5.6 Hassas terazi .....	64
4.5.7 Elek sistemi.....	64
4.5.8 Dizüstü bilgisayar .....	65
4.6 Denemelerde Kullanılan Kıyıcı Bıçaklar .....	65
4.7 Kaplama Malzemesi.....	69
4.7.1 WC-Co toz alaşımlı kaplama malzemesi (Kaplama A).....	69
4.7.2 WC toz alaşımlı kaplama malzemesi (Kaplama B).....	70
5. KULLANILAN YÖNTEM.....	71
5.1 Kıyıcı Bıçakların Kaplanması.....	71
5.2 Bıçak ve Kaplama Sertliğinin Ölçülmesi.....	73
5.3 Çalışma Koşulları.....	73
5.4 Deneme Alanı Koşulları .....	75
5.5 Ölçümlerin Alınması.....	75
5.6 İstatistik Analiz Yöntemi .....	76
5.7 Güç Tüketiminin Belirlenmesi.....	76
5.8 Yakıt Tüketiminin Belirlenmesi .....	77
5.9 Kıyılan Üründe Nem Tayini .....	77

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
5.10 Elek Analizi .....	78
5.11 SEM <sub>1</sub> , EDS ve XRD Görüntüleri .....	78
6. BULGULAR.....	81
6.1 Bıçak Özellikleri.....	81
6.1.1 Bıçak bileme açısı .....	81
6.1.2 Yüzey ve kaplama kontrolü.....	81
6.1.3 Bıçak sertliği (VSD).....	82
6.2 Bıçakların Güç Tüketimine Etkisi .....	83
6.3 Bıçakların Yakıt Tüketimine Etkisi.....	88
6.4 Kıyılan Ürün Nemi .....	94
6.5 Kıyılan Ürünün Ortalama Kıyma Boyu.....	94
6.6 SEM <sub>1</sub> , EDS ve XRD Görüntüleri .....	95
6.7 Ekonomik Değerlendirme.....	100
7. TARTIŞMA .....	102
8. SONUÇ .....	103
9. ÖNERİLER.....	106
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	107

**İÇİNDEKİLER (devam)**

Sayfa

ÖZGEÇMİŞ ..... 112

EKLER

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 2011 yılında kişi başına düşen günlük protein oranları (FAO, 2014). ....	3
1.2 2011 yılında kişi başına düşen günlük hayvansal ve bitkisel protein oranları (FAO, 2014). ....	3
1.3 Dünya ülkelerinde büyükbaş ve küçükbaş hayvan varlığı (TİGEM, 2013). ....	5
1.4 Türkiye'de büyükbaş ve küçükbaş hayvan varlığı (FAO, 2014). ....	6
1.5 Mısır dışında süt hattı (Hayvancılık, 2013). ....	11
1.6 Danedeki süt hattı (olgunluk) ve beklenen verim arasındaki ilişki (Hayvancılık, 2013). ....	11
1.7 Toprak üstü plastik örtülü silonun kesiti. ....	12
1.8 Yerüstü beton silo kesiti. ....	13
1.9 Plastik kaplı silindirik balya silajı. ....	13
1.10 Sosis tipi silo yapımı (Besi Yemi, 2013). ....	14
1.11 Kule tipi silolar (Besi Yemi, 2013). ....	15
1.12 a) Temel kesme kavramı şematik gösterimi b) Bıçak kanadı ve bıçak ucu şematik gösterimi (Persson, 1987). ....	15
1.13 a) Karşı bıçak ile makaslamanın şematik gösterimi b) Kesici bıçak özelliklerinin şematik gösterimi (Persson, 1987). ....	16
1.14 a) Bıçak kenar keskinliğinin ve uç açılarının şematik görünümü (Persson, 1987). b) Silajlık mısır hasat makinası kıyııcı bıçak uç açısı. ....	16

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.15 Kesilme mekanizması şematik gösterimi (Persson, 1987).....	17
1.16 a) Yırtmalı kesim şematik gösterimi b) Ezerek koparmalı kesim şematik gösterimi (Persson, 1987).....	17
1.17 Parçalayıcı silajlık ot hasat makinası. ....	18
1.18 Toplayıcı silajlık ot hasat makinası (Safer, 2014).....	19
1.19 Tek sıralı silajlık mısır hasat makinası.....	20
1.20 Sıra bağımsız silajlık mısır hasat makinası. ....	20
1.21 Silajlık mısır hasat makinası biçme düzeni.....	21
1.22 Parçalı bıçaklı tamburun kıyma ünitesi (Kasap vd., 2000). ....	22
1.23 Silajlık mısır hasat makinası diskli kıyma ünitesi.....	22
1.24 Silajlık mısır hasat makinası üfleme ünitesi. ....	23
1.25 Silajlık mısır hasat makinası mafsalı mil ve dişli kutusu.....	24
1.26 Diskli kıyma düzeninde kıyma ve üfleme işlemi (Kasap vd., 2000). ....	24
1.27 Kaplama kalitesini ortaya koyan karşılaştırmalı enkesit görüşleri (John Deere, 2014).....	27
1.28 Farklı kaplama kalitesinde uygulama sonrası görülen aşınma (John Deere, 2014).....	27
1.29 Plazma kaplama yönteminin şematik gösterimi (Tsetinc, 2013) .....	31



**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.30 Plazma kaplama yönteminin uygulama alanları (Gordon England, 2013).....	31
1.31 Yüksek hızlı alevle püskürtme yönteminin şematik gösterimi (Prokap, 2014).....	32
1.32 Yüksek hızlı alevle püskürtme yönteminin uygulama alanları (Advanced Coating, 2013).....	32
1.33 Alevle tel püskürtme yönteminin şematik gösterimi (Hayden Corp, 2013).....	33
1.34 Alevle tel püskürtme yönteminin uygulanması (Prokap, 2014).....	34
1.35 Elektrik arkı ile tel püskürtme yönteminin şematik gösterimi (Sulzer, 2013).....	35
1.36 Elektrik arkı ile tel püskürtme yönteminin uygulama alanları (Gulf Energy, 2013) .....	35
1.37 Alevle toz püskürtme yönteminin şematik gösterimi (Gordon England, 2013).....	36
1.38 Alevle toz püskürtme yönteminin uygulama alanları (Gordon England, 2013).....	36
1.39 Adhesif aşınma (Gordon England, 2013).....	39
1.40 İki elemanlı abrasif aşınma (Gordon England, 2013).....	40
1.41 Üç elemanlı abrasif aşınma (Gordon England, 2013) .....	40

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.42 Erozyon aşınması (Gordon England, 2013).....	41
3.1 Silajlık mısır hasat makinalarının yıllara göre sayıları ve yıllık artış değerleri (TÜİK, 2014). .....	49
3.2 Yıllara göre silajlık mısır üretimi (t). .....	50
3.3 Silajlık mısır hasat makinalarında kullanılan kıyma bıçağı örneği. ....	50
3.4 Keskin kenarın keskinliğini yitirerek zaman içinde körelmesi ve kesme kuvvetinin artışı. ....	51
4.1 Ekimlerde kullanılan mısır tohumu.....	52
4.2 Silajlık ikinci ürün mısır bitkisi. ....	53
4.3 Evrenosoğlu çiftliği deneme alanı.....	54
4.4 Ziraat Fakültesi Menemen Araştırma Uygulama ve Üretim Çiftliği deneme alanı. ....	54
4.5 Çalışmada kullanılan Landini Powerform 75 model traktör.....	55
4.6 Çalışmada kullanılan Türk Fiat 80-66 DT model traktör. ....	55
4.7 Hidrolik kumandalı silajlık mısır hasat makinası. ....	56
4.8 Silajlık mısır hasat makinası içindeki disk üzerine takılmış kıyıcı bıçaklar.....	57
4.9 Veri kayıt seti. ....	58

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.10 Veri kayıt setinin şematik görünümü.....	59
4.11 Traktör kuyruk mili ile kardan mili arasına bağlı torkmetre. ....	59
4.12 Yakıt ölçüm sistemi şematik görünümü. ....	60
4.13 Yakıt ölçme cihazı sinyal özelliği.....	61
4.14 Traktör yakıt borularına bağlı yakıt ölçüm sistemi.....	62
4.15 Yakıt ölçüm sistemi şematik görünümü. ....	62
4.16 Mikro sertlik ölçümünde kullanılan Vickers universal sertlik ölçüm cihazı.....	63
4.17 Analizlerde kullanılan etüv.....	63
4.18 a) Yaş numunenin hassas terazi ile ölçümü, b) Kuruma sonrası numuneler. ....	64
4.19 Elek sistemi ve hareket motoru.....	64
4.20 Denemelerde kullanılan altı katlı elek. ....	65
4.21 Denemelerde kullanılan dizüstü bilgisayar.....	65
4.22 Kırma ünitesine bağlı S kodlu bıçak. ....	66
4.23 Kırma ünitesine bağlı A kodlu bıçak. ....	66
4.24 Kırma ünitesine bağlı B kodlu bıçak. ....	66

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.25 Kıyıcı bıçak teknik resmi. ....	67
4.26 Kıyıcı bıçak üzerinde bulunan delikler. ....	68
4.27 Disk üzerinde bulunan üfleme kanadı. ....	68
5.1 Termal püskürtme yöntemi ile silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçaklarının kaplanması. ....	72
5.2 Numune üzerinden Vickers mikro sertlik ölçümü. ....	73
5.3 Tork tabancası ile bıçak değiştirme. ....	74
5.4 Alan denemelerinden bir görüntü. ....	75
5.5 Mikroyapı tayininde kullanılan SEM <sub>1</sub> analiz cihazı. ....	78
5.6 Bileşik tanımlamalarında kullanılan XRD analiz cihazı. ....	79
6.1 Silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçak uç açısı. ....	81
6.2 B kodlu bıçak üzerinde kaplamanın attığı kesme kenarı. ....	82
6.3 A kodlu bıçakta ana malzeme ve kaplamaya ait VSD. ....	83
6.4 Bıçakların güç tüketim değerlerinin hasat edilen alana bağlı değişimi. ....	84
6.5 Bıçaklarının ortalama güç tüketimlerinin ve standart hata değerlerinin hasat alanına bağlı değişimi. ....	88
6.6 Bıçakların yakıt tüketimi değerlerinin hasat edilen alana bağlı değişimi. ..	90

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.7 Bıçaklarının ortalama yakıt tüketimlerinin ve standart hata değerlerinin hasat alanına bağlı değişimi.....	93
6.8 Kaplama kesitinin SEM <sub>1</sub> analiz cihazında kaplama kalınlığı ölçümü.....	95
6.9 Kaplama kesitinin SEM <sub>1</sub> analiz cihazında X500 büyütme.....	96
6.10 Kaplama kesitinin SEM <sub>1</sub> analiz cihazında X600 büyütme.....	97
6.11 Kaplama kesitinin SEM <sub>1</sub> analiz cihazında X700 büyütme.....	97
6.12 Kaplamanın kesitinde EDS element analizi bölgeleri. ....	98
6.13 Kaplama malzemesi EDS element analiz değerleri.....	99
6.14 Ana malzeme EDS element analiz değerleri. ....	100
8.1 Kaplanan kıyııcı bıçak kanatçık yüzeyi. ....	103

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 2011 yılında kişi başına düşen günlük protein oranları (FAO, 2014).....	2
1.2 2011 yılında dünyada kişi başına düşen günlük et miktarı (FAO, 2014). ....	4
1.3 Yıllara göre dünya ülkelerinde hayvan varlığı (FAO, 2014).....	4
1.4 Yıllara göre dünya ülkelerinde büyükbaş ve küçükbaş hayvan varlığı (FAO, 2014).....	4
1.5 Yıllara göre Türkiye’de hayvan varlığı (FAO, 2014). ....	6
1.6 Yıllara göre Türkiye’de büyükbaş ve küçükbaş hayvan varlığı (FAO, 2014). ....	6
4.1 Silajlık mısır hasat makinasının teknik özellikleri. ....	57
4.2 Elek sisteminde bulunan elek çapları. ....	64
4.3 1040 malzemenin kimyasal bileşimi (%). ....	67
4.4 1040 malzemenin fiziksel özellikleri. ....	67
4.5 Kıyııcı bıçak ürün bilgisi. ....	68
4.6 Kaplama A toz alaşımının ana bileşenin tipik kimyasal analizi (%). ....	69
4.7 Sanayi uygulamalarında kullanılan kaplama A malzemesinin bazı etiket özellikleri. ....	69
4.8 Kaplama B toz alaşımının tipik kimyasal analizi (%). ....	70
4.9 Sanayi uygulamalarında kullanılan kaplama B malzemesinin bazı etiket özellikleri. ....	70

## ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
6.1 Vickers mikro sertlik deney değerleri.....	83
6.2 90 da alanda yapılan mısır hasadı sırasına A, B ve S bıçaklarının ortalama güç tüketimi ve standart hata değerleri.....	85
6.3 Güç tüketimine ait ANOVA sonuçları (p:0,05).....	86
6.4 Bıçakların 30 da hasat alanında hesaplanan ortalama güç tüketimi ve DUNCAN gruplaması. ....	86
6.5 Hasat alanına bağlı hesaplanan ortalama güç tüketimi ve DUNCAN gruplaması. ....	87
6.6 Hasat alanına bağlı S ve A bıçaklarının ortalama güç tüketimleri arasındaki fark değerleri. ....	87
6.7 90 da alanda yapılan mısır hasadı sırasında A, B ve S bıçaklarının ortalama yakıt tüketimi ve standart hata değerleri.....	90
6.8 Yakıt tüketimine ait ANOVA sonuçları ( $\alpha$ :0,05). ....	91
6.9 Bıçakların 30 da hasat alanında hesaplanan ortalama yakıt tüketimi ve DUNCAN gruplaması. ....	92
6.10 Hasat alanına bağlı hesaplanan ortalama yakıt tüketimi ve DUNCAN gruplaması ....	92
6.11 Hasat alanına bağlı S ve A bıçaklarının ortalama yakıt tüketimleri arasındaki fark değerleri.....	93
6.12 Kıyılan ürünlerin ortalama nem değerleri.....	94

**ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)**

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
6.13 Kıyma ve dağılım kalitesi için elek analizi ortalama değerleri.....	95
6.14 Kıyma ve dağılım kalitesi için elek analizi.....	95
6.15 Kaplama malzemesi EDS element analiz değerleri.....	98
6.16 Ana malzeme EDS element analiz değerleri.....	99



**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
WC	Tungsten Karbür
W <sub>0</sub>	Yaş Ürün Ağırlığı (g)
W	Kuru Ürün Ağırlığı (g)
<u>Kısaltmalar</u>	
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations - Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
HVOF	High Velocity Oxygen Fuel - Yüksek Hızda Oksi Yakıt Püskürtme
SEM <sub>1</sub>	Scanning Electron Microscope - Taramalı Elektron Mikroskobu
SEM <sub>2</sub>	Standard Error of the Mean - Ortalamanın Standart Hatası
EDS	Energy Dispersive Spectrometr - Enerji Dağılım Spektrometresi
XRD	X-Ray Diffraction - X-Işını Kırınım Yöntemi
KM	Kuru Madde
ME	Metabolik Enerji
VSD	Vickers Sertlik Değeri

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

RSD-C	Rockwell C Sertlik Değeri
VPS	Vacuum Plasma Spraying - Vakum Plazma Püskürtme
APS	Air Plasma Spraying - Hava Plazma Püskürtme
HVOF	High Velocity Oxygen Fuel - Yüksek Hızda Oksi Yakıt Püskürtme
BG	Beygir Gücü
AC	Alternating Current - Alternatif Akım
DC	Direct Current - Doğru Akım
MS	Microsoft
PTO	Power Take Off - Traktör Kuyruk Mili
RPM	Revolutions Per Minute - Dakikadaki Devir Sayısı
SPSS	Statistical Package For The Social Sciences - Sosyal Bilimler için İstatistik Paket
VK	Varyans Katsayısı

## 1.GİRİŞ

Gelişen ve değişen dünyada insanoğlunun geçmişte var olan, bugün yaşanan ve gelecekte de hissedilecek önemli ve değişmez sorunlarının başında yeterli ve dengeli beslenme gelmektedir. Bu olgu, hayvansal ürünleri beslenme üzerindeki birçok önemli özelliği nedeniyle vazgeçilmez ve diğer besin maddeleri ile ikame edilemez bir konuma taşımaktadır. İnsan beslenmesinde en değerli ürün grubunu hayvansal kökenli ürünler (et, süt, yumurta, bal vb. ürünler) oluşturmaktadır. Bu ürünlerden elde edilen hayvansal proteinlerin yerini başka bir madde dolduramamaktadır. İnsanın büyümesi, gelişmesi ve sağlıklı kalabilmesinin yanı sıra beyin gelişimi bakımından da önemli olan sekiz adet aminoasit sadece hayvansal kökenli proteinlerde yeterli miktarda bulunmaktadır. Sağlıklı bir insanın vücut ağırlığının her kilogramı için günde 1 g protein tüketmesi ve bunun da % 42'sinin hayvansal kökenli olması gerekmektedir. Hayvansal besinlerdeki protein miktarları ette % 15-20, balıkta % 19-24, yumurtada % 12, sütte % 3-4, peyirde ise % 15-25'dir. Bu nedenle kırmızı et, beyaz et, süt, yumurta gibi hayvansal ürünlerin düzenli olarak tüketilmesi gerekmektedir; ancak ülkemizde tüketilen günlük protein miktarının % 73'ü bitkisel kökenli gıda maddelerinden karşılanmaktadır (TİGEM, 2013).

### 1.1 Hayvansal Üretim

İnsanların yeterli ve dengeli beslenmesinde önemli rolü bulunan hayvancılık sektörü; ulusal geliri ve istihdamı artırmak, et, süt, tekstil, deri, kozmetik ve ilaç sanayisine hammadde sağlamak, kalkınmaya katkıda bulunmak ve ihracat yoluyla döviz gelirlerini artırmak gibi önemli ekonomik ve sosyal fonksiyonlara sahiptir. Bugün, temel olarak hayvancılığa dayalı yem, et ve et ürünleri, süt ve süt ürünleri, dericilik ve tekstil sanayileri, veteriner ilaçları ve hayvancılık takım sanayileri yeni istihdam alanları yaratmakta, hayvancılığa girdi sağlamakta ve hayvansal ürünlerin işlenmesiyle katma değer yaratmaktadır.

Günümüzde ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin belirlenmesinde kullanılan önemli ölçütlerden birisi de kişi başına tüketilen hayvansal besin miktarıdır.

Hayvansal protein tüketimi ile kalkınma arasında doğrusal bir ilişkinin var olduğu öngörülmektedir (TİGEM, 2013).

### 1.1.1 Dünyada hayvansal üretim

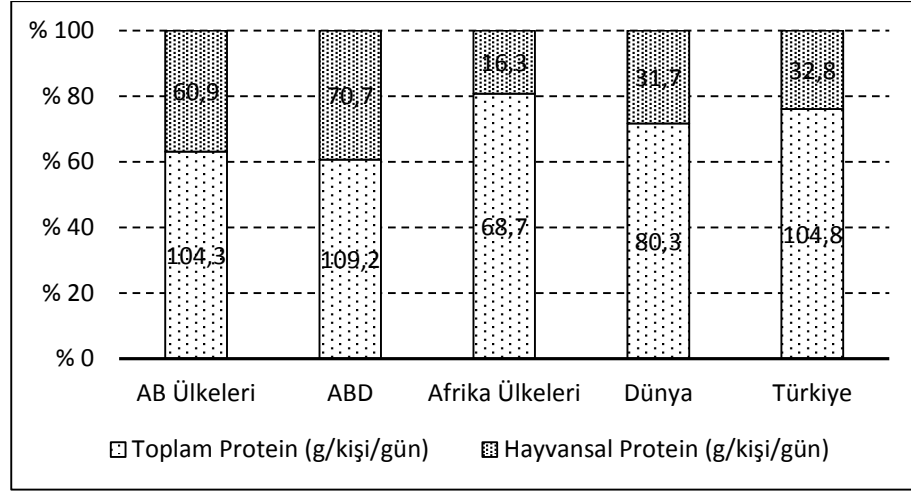
Başta et, süt ve yumurta gibi gıda maddeleri olmak üzere insanların önemli ihtiyaçlarını karşılayan hayvancılık, tarımın önemli alt sektörlerinden biridir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) verilerine göre tarım sektörü 2009 yılında dünya gayri safi hasılasının % 3'ünü oluşturmakta, hayvancılık sektörü ise tarımsal gayri safi hasılanın % 37'sini oluşturmaktadır. Bu oran AB ülkelerinde % 48, ABD'de % 44 iken gelişmekte olan ülkelere ortalama % 30'dur (TİGEM, 2013).

Dünya genelinde kişi başına ortalama günlük protein tüketimi 80,3 g olup, bunun 31,7 g'ı hayvansal kaynaklı proteinlerden karşılanmaktadır (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1 2011 yılında kişi başına düşen günlük protein oranları (FAO, 2014).

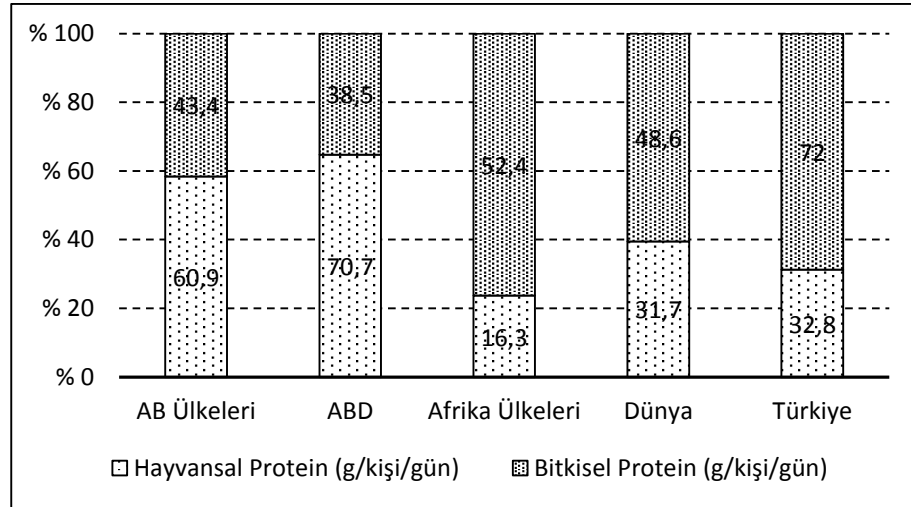
Ülke	Toplam Protein (g/kişi/gün)	Hayvansal Protein (g/kişi/gün)	Oran (%)
AB Ülkeleri	104,3	60,9	58,4
ABD	109,2	70,7	64,7
Afrika Ülkeleri	68,7	16,3	23,7
Dünya	80,3	31,7	39,5
Türkiye	104,8	32,8	31,3

Gelişmiş ülkelerde, gelişmekte olan ülkelere göre kişi başına günlük protein tüketim miktarı iki kat fazla olurken, proteinlerin hayvansal ürünlerden karşılanma oranları gelişmekte olan ülkelere yaklaşık % 23,7'dir. Bu oran gelişmiş ülkelere % 65,8'lere kadar çıkmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 2011 yılında kişi başına düşen günlük protein oranları (FAO, 2014).

2011 yılında kişi başına düşen günlük hayvansal ve bitkisel protein oranlarına bakıldığında gelişmiş ülkelerde hayvansal protein tüketimi fazlayken gelişmekte olan ülkelerde bunun tam tersine bitkisel protein tüketimi fazladır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 2011 yılında kişi başına düşen günlük hayvansal ve bitkisel protein oranları (FAO, 2014).

Dengeli beslenmede önemi fazla olan gıdalardan 2011 yılı FAO verilerine göre dünyada her gün kişi başına 14,3 g et tedarikinin olduğu görülmektedir. Bu et tedarikinin 4,5 g'ı domuz, 5 g'ı kanatlı, 3,6 g'ı büyükbaş, 0,7 g'ı küçükbaş ve 0,5 g'ı ise diğerleri oluşturmaktadır (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.2 2011 yılında dünyada kişi başına düşen günlük et miktarı (FAO, 2014).

	Büyükbaş (g/kişi/gün)	Küçükbaş (g/kişi/gün)	Kanatlı (g/kişi/gün)	Domuz (g/kişi/gün)	Diğer Etler (g/kişi/gün)	Toplam Et (g/kişi/gün)
Dünya	3,6	0,7	5	4,5	0,5	14,3

FAO verilerine göre 2013 yılında dünyada 1,4 milyar baş sığır, 2,1 milyar baş koyun ve keçi, 199 milyon baş manda, 27 milyon baş deve, 977 milyon baş domuz ve 23,9 milyar adet kanatlı varlığı bulunmaktadır (Çizelge 1.3).

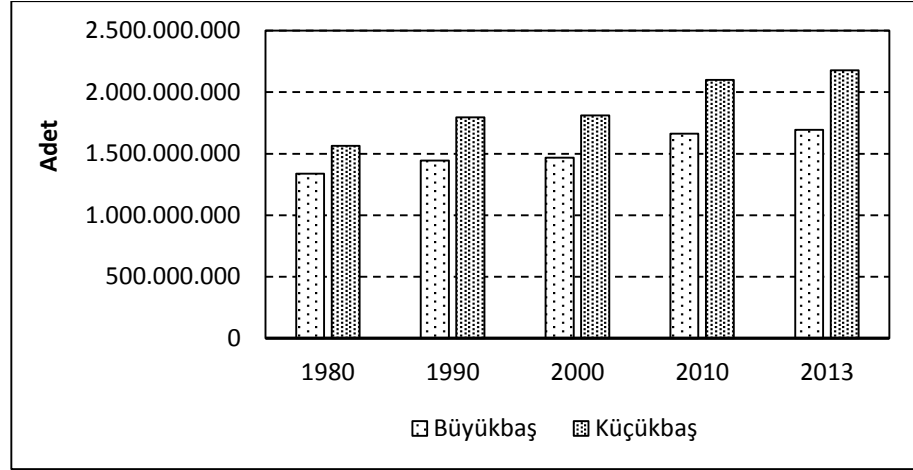
Dünya hayvan varlığının 1980 ve 2013 verileri karşılaştırılıp bir değerlendirme yapıldığında dünyada 2013 yılında hayvan varlıklarında büyükbaşta % 26, koyun ve keçide % 39 ve domuzda % 122'lik artış sağlanmıştır. Kanatlılarda ise bu artış % 300 olmuştur (Çizelge 1.3, Çizelge 1.4, Şekil 1.3).

Çizelge 1.3 Yıllara göre dünya ülkelerinde hayvan varlığı (FAO, 2014).

Hayvan Türü	1980	1990	2000	2010	2013
Sığır	1.217.018.356	1.296.816.099	1.302.894.674	1.469.035.346	1.494.348.769
Manda	121.493.833	148.184.210	164.114.424	192.702.623	199.783.549
Koyun	1.098.674.103	1.205.687.558	1.059.082.358	1.127.552.647	1.172.833.189
Keçi	464.323.188	589.220.192	751.632.381	972.463.127	1.005.603.002
Deve	17.988.175	19.884.189	20.287.005	26.249.225	27.010.350
Domuz	797.777.532	848.691.406	856.241.361	973.065.752	977.020.798
Kanatlı	7.978.259	11.787.948	16.077.023	22.433.249	23.960.903

Çizelge 1.4 Yıllara göre dünya ülkelerinde büyükbaş ve küçükbaş hayvan varlığı (FAO, 2014).

Hayvan Türü	1980	1990	2000	2010	2013
Büyükbaş	1.338.512.189	1.445.000.309	1.467.009.098	1.661.737.969	1.694.132.318
Küçükbaş	1.562.997.291	1.794.907.750	1.810.714.739	2.100.015.774	2.178.436.191



Şekil 1.3 Dünya ülkelerinde büyükbaş ve küçükbaş hayvan varlığı (TİGEM, 2013).

### 1.1.2 Türkiye’de hayvansal üretim

Türkiye’de hayvansal üretim, bitkisel üretimden sonra gelmekte ve tarımsal üretim değerinin yaklaşık % 30’unu oluşturmaktadır. Bu durumun birçok önemli nedeni bulunmakla birlikte, öncelikli neden Türkiye’de hayvancılığın ticari bir faaliyet olarak algılanmamasıdır. Geleneksel tarım kültürü içerisinde bitkisel üretim birincil üretim faaliyeti durumundadır.

Türkiye coğrafi özellikleri bakımından her türlü hayvansal ürün üretimi için uygun ortama ve oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Hayvancılık, ülkemizin artan nüfusunun yeterli ve dengeli beslenmeyi sağlamasının yanında hayvancılığa dayalı sanayiye hammadde temini açısından da büyük önem arz etmektedir (TİGEM, 2013).

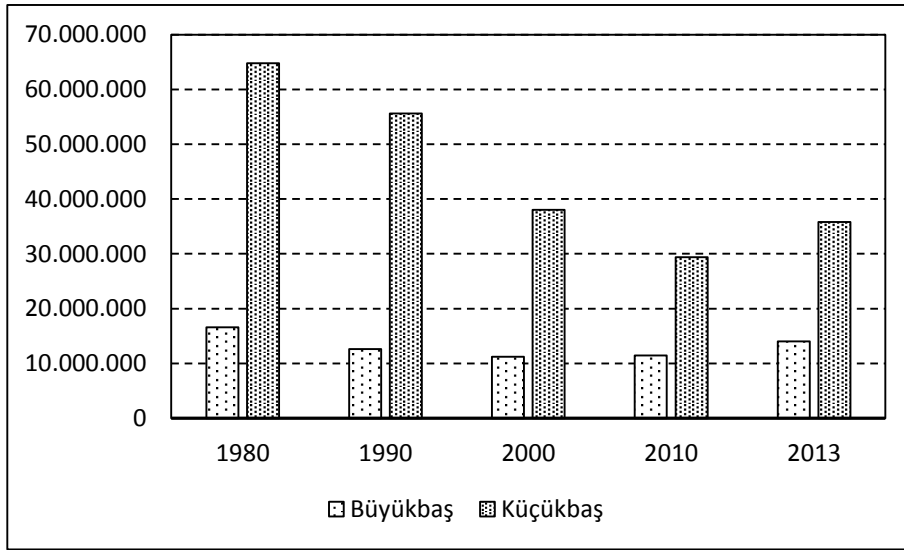
Büyükbaş hayvan yetiştiriciliği denildiğinde sığır, manda ve deve yetiştiriciliği anlaşılır. Gerek Türkiye gerekse Dünya için üretim değeri bakımından sığırın önemi daha yüksektir. Ülkemizde son yıllarda sayısı oldukça azalan manda yetiştiriciliğine son zamanlarda önem vermeye başlanmıştır (Çizelge 1.5, Çizelge 1.6, Şekil 1.4). Deve yetiştiriciliği ise sadece sembolik olarak bulunmaktadır. Ülkemizdeki hayvancılık faaliyetinin en önemli kısmını büyükbaş yetiştiriciliği oluşturmaktadır.

Çizelge 1.5 Yıllara göre Türkiye’de hayvan varlığı (FAO, 2014).

Hayvan Türü	1980	1990	2000	2010	2013
Sığır	15.567.000	12.173.000	11.054.000	11.369.800	13.916.924
Manda	1.040.000	429.000	165.000	84.726	107.435
Koyun	46.026.000	43.647.008	30.256.000	23.089.691	27.425.233
Keçi	18.775.008	11.942.000	7.774.000	6.293.233	8.357.286
Deve	12.000	2.000	1.350	1.041	1.315
Domuz	13.000	8.000	3.000	1.896	2.986
Kanatlı	58.284	69.529	246.477	234.082	257.506

Çizelge 1.6 Yıllara göre Türkiye’de büyükbaş ve küçükbaş hayvan varlığı (FAO, 2014).

Hayvan Türü	1980	1990	2000	2010	2013
Büyükbaş	16.607.000	12.602.000	11.219.000	11.454.526	14.024.359
Küçükbaş	64.801.008	55.589.008	38.030.000	29.382.924	35.782.519



Şekil 1.4 Türkiye’de büyükbaş ve küçükbaş hayvan varlığı (FAO, 2014).

## 1.2 Büyükbaş Hayvan Yetiştiriciliği

Dünya süt üretiminin tamamına yakını ve et üretiminin de % 24’ünü tek başına sağlayan sığır, besin maddesi üretiminde büyük paya sahiptir. Bu durum sığırın biyolojik avantajlarından kaynaklanmaktadır.



Sığırı önemli kılan avantajlar şu şekilde sıralanabilir (TİGEM, 2013);

- Kaba yemleri hayvansal proteine dönüştürme yeteneklerinin yüksek olması,
- Süt veriminin yüksek olması,
- Sağılma süresinin uzunluğu ve yılın her ayında süt üretimi sağlaması,
- Çok farklı iklim kuşaklarında yetiştirilme imkânının olması,
- Et üretim kapasitesi bakımından en yüksek tür olması,
- Genetik ıslah ve üremenin denetimine yönelik uygulamalara yüksek düzeyde reaksiyon göstermesi,
- Farklı koşullara uyum sağlayabilecek çok sayıda ırkının bulunmasıdır.

### 1.3 Hayvansal Üretimde Yemin Önemi ve Silajlık Yem

Geviş getiren hayvanların besin madde gereksinimlerini tümüyle sadece yoğun yemlerle karşılamak mümkün değildir. Yoğun yemlerle birlikte yeşil veya kuru kaba yemler ile silajın da rasyona<sup>1</sup> eklenmesi ve böylece hem ekonomik hem de rasyonel beslemenin gerçekleştirilmesi gerekir. Hayvanların yeşil yem gereksinimlerini doğadan taze olarak karşılamak, her bölgenin kendine özgü vejetasyon<sup>2</sup> koşulları nedeniyle yılın ancak belirli günlerinde mümkündür. Orta Avrupa ülkeleri için 160-180 gün olan bu süre, ülkemizin de dâhil olduğu Akdeniz iklim kuşağındaki ülkeler için yaklaşık 200 gün'dür. Bu nedenle yılın geri kalan zamanında hayvanların kaba yem gereksinimleri değişik kaynaklarla karşılanmak zorundadır. Vejetasyon dönemlerinde otlatılarak veya biçilerek hayvanlara verilen yemlerin fazlası, su içerikleri nedeniyle uzun süre ilk hallerindeki gibi tutulamazlar. Bozulmayı önlemek için suca zengin kaba yemlerin değişik yöntemler yardımıyla kullanılacakları döneme kadar saklanması gerekir.

İşletmelerin buldukları ekonomik ortam ve işletmecinin idare şekline göre girdi kalemlerinin oranlarında yer ve zamana göre % 20'lere varan farklar ortaya çıkmaktadır. Bu girdilerin et ve süt maliyetlerinde önem düzeyine göre sırası (Kutlu, 2014);

---

<sup>1</sup> Rasyon: Bir evcil hayvanın 24 saat içinde tüm besin ihtiyaçlarını karşılayan tüm yemler ve bunlara ait karışım oranları.

<sup>2</sup> Vejetasyon: Bir yerdeki çevreyle ilgili koşullara bağlı olarak bulunan bitki örtüsü.

- % 65 yem girdisi,
- % 17 inek sermaye faizi,
- % 6 inek yıpranma payı,
- % 5 bakıcı masrafı,
- % 3,9 genel idare masrafı,
- % 7 ahır kirası,
- % 0,4 su ve elektrik masrafı,
- % 0,3 veteriner ve ilaç masrafı,
- % 0,2 alet ve donanım masrafı,
- % 0,2 hayvan hayat sigortası şeklinde oluşmaktadır.

Bu sıralamada birinci sırayı daima % 60-75'lik oranıyla yem girdisi almaktadır. Bu nedenle iyi bir işletmeci öncelikle yem sorununu çözmeyi amaçlamalıdır.

1 kg süt üretimi için 55-60 g, 1 kg et üretimi için ise 350-400 g bitkisel protein gereklidir. Çünkü hayvan tarafından 1 L sütteki 35-40 g protein veya 1 kg etteki 190-200 g protein ancak yemdeki bitkisel protein ile üretilebilmektedir (Gökçe, 2005).

Hayvan yetiştiriciliği, ancak yem bitkileri ekimi yaptırılarak cazip ve kârlı hale getirilebilir. Ayrıca günümüzde artık iyice belirginleşen kaba yem açığını kapatmanın yollarından biri de tarla alanlarında yem bitkilerinin yetiştirilmesi ve üretilen yem bitkisinin silaj yapılarak saklanmasıdır. Silaj (silo yemi), suca zengin yemlerin, beton, taş, ahşap veya plastik malzemedan hazırlanan silo kabı içinde oluşan havasız ortamda süt asidi (laktik asit) bakterilerinin etkinliğine bırakılarak fermente edilmeleriyle elde edilen yemdir yani hayvanlar için suca zengin yemlerden hazırlanan bir çeşit turşudur (Kutlu, 2014). Hayvanların yediği her türlü ot ve yem bitkilerinin hava ile ilişkisini keserek besin değerinde hiçbir kayıp oluşmadan, hatta besin değerini artırarak mayalanmaya uğraması, yeşil yemin bulunmadığı mevsimlerde kullanılmak üzere saklanmasına silolama, siloda saklanan yemlere de silaj denir. En kısa tanımıyla, yeşil yemlerin turşulaştırılmasıdır (Filya, 2001).

İyi bir silolama ile silo edilen yemlerin bozulmadan ve besin madde içeriklerinde önemli bir kayıp olmadan saklanması sağlanır. Böylece hayvanların kaba yem gereksinimlerinin karşılanması bakımından yıl içinde süreklilik sağlanabileceği gibi ekonomik bir besleme de mümkün olabilir. Silo yeminin hayvan beslemeye ve işletme ekonomisine getireceği yararlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Kutlu, 2014);

- Hayvanların suca zengin kaba yem gereksinimlerini karşılar,
- Silolama, yani yeşil yemlerden silaj hazırlama en uygun saklama yöntemidir,
- Suca zengin yemlerin her türlü iklim koşullarında saklanmasına imkân sağlar,
- Yemler besin madde içerikleri açısından fazla kayba uğramadan uzun süre saklanabilirler,
- Silaj, hayvanlar tarafından severek tüketilir ve hayvanların iştahlarını açar,
- Silo yapılacak yem içine karışmış her türlü yabancı ot silolama ile hayvanlar için zararsız hale getirilir, toksin<sup>3</sup> etkili bazı bitkiler mayalanma nedeniyle bu etkilerini yitirirler. Dolayısıyla kaliteli ve sindirilebilirliği daha yüksek kaba yem elde edilir,
- Silolama, silo kapları açılmadığı sürece suca zengin yemlerin dış çevre koşullarından etkilenmeden ve bozulmadan 2-3 yıl gibi uzun süre ile saklanmasına olanak sağlar,
- Yem maliyeti açısından kuru madde bazında kuru otlara göre çok daha ucuz kaba yem teminine olanak sağlar,
- İleri düzeyde mekanizasyon kullanıldığından işçilik giderlerini azaltır böylece işletme ekonomisini olumlu yönde etkiler.

Yeşil yem bitkileri, hayvanların beslenmesi açısından çok önemli yem maddeleridir ancak her mevsim yeşil yem bulmak mümkün değildir. Yem bitkilerini kurutmadan yeşil olarak muhafaza ederek sürekli yeşil yem temin

---

<sup>3</sup> Toksin: Mikroorganizmaların salgıladıkları birtakım zehirli maddeler.

etmenin bir yolu da silaj yapmaktır. Kaliteli ve verimli yem bitkilerinden silajlık mısır, ikinci ürün olarak ekilebilmesi, toprak hazırlığının çok kolay olması ve elde edilen ürünün hayvan beslemede silaj olarak değerlendirilmesi açısından değerli bir üründür ve hayvan beslemede silajlık mısır ile ucuz, kaliteli ve besleyici bir yem elde edilmektedir.

Mısır bitkisi silaj yapım amacıyla dünyada da en çok kullanılan bir bitki türüdür. Kuru madde içeriğinin ve mayalanma etkinliğinin yüksek olması tercih edilme nedenlerinin başında gelir.

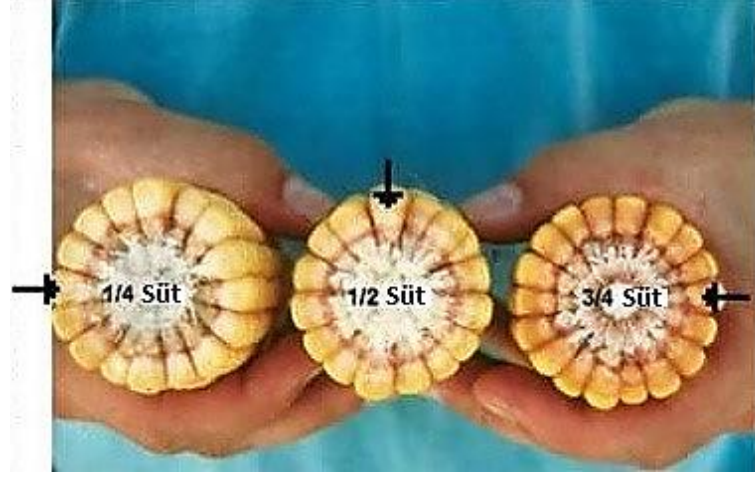
Silajlık mısır tarımında yüksek verim almanın en önemli yolu, doğru yetiştirme tekniklerini uygulamaktır. Çeşit seçiminden hasada kadar tüm yetiştirme tekniklerinin eksiksiz olarak bilinmesi ve uygulanması şarttır (Filya, 2001). Silajlık mısır yetiştiriciliğinde yüksek verim almanın ilk yolu doğru çeşit seçimidir. Çeşit seçiminde yapılan hata, diğer yetiştirme teknikleri ile giderilemez.

Silajlık olarak ekilecek mısır çeşitlerinin özellikleri;

- Bitki uzun boylu olmalı,
- Yaprak sayısı ve yaprak oranı fazla olmalı,
- Bitkide dane bağlayan koçan ağırlığı fazla olmalı,
- Silaj kalitesine olumsuz etkisi olan sap çapı fazla kalın olmamalı,
- Protein değeri yüksek olan çeşitler olmalıdır.

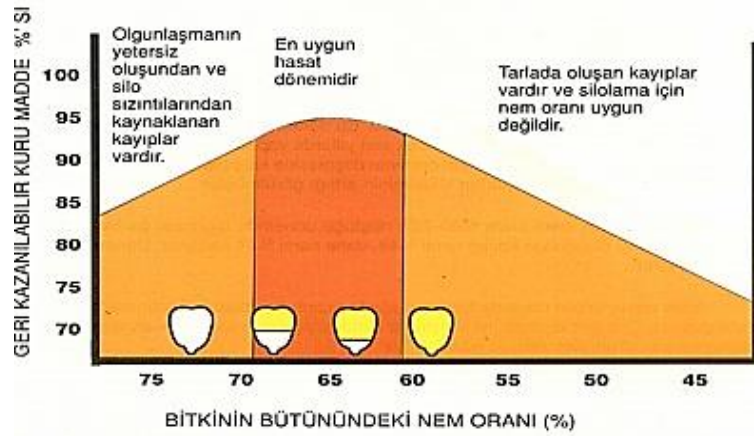
Silaj yapabilmek için yeşil yem bitkilerinin küçük parçalara ayrılması gerekir. Mısırdaki bu işlemi yapabilmek için kullanılan makinalara silajlık mısır hasat makinası denir. Silajlık mısır hasat makinaları, silaj yapılacak yem bitkilerini tarlada biçerek veya önceden biçilmiş ürünü tarladan alarak parçalayan ve taşıma vasıtasına (tarım arabası, römork, vagon vs.) üfleyerek fırlatan kendi yürür veya traktörle çekilen makinalardır. Silajlık mısır hasadı, danenin süt devresini geçirip sertleşmeye başladığı ve yaprakların henüz yeşil bulunduğu devrede yapılmaktadır. Bu dönemde bitkinin nem oranı % 65-70 civarındadır (Türkoğlu vd., 2010).

Mısır dişinde süt hattı  $\frac{1}{2}$  olmalıdır. Bu durum; dişin  $\frac{1}{2}$ 'sinin peynir kıvamında (hamur olum dönemi), diğer  $\frac{1}{2}$ 'sinin süt kıvamında olması gerekmektedir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5 Mısır dişinde süt hattı (Hayvancılık, 2013).

Silaj yapımı için mısırın en uygun hasat zamanı, nem oranının % 60-70'e düştüğü dönemdir. Bu dönemde koçandaki danelerde çukurlaşma (diş çukuru) oluşur (Şekil 1.6).



Şekil 1.6 Danedeki süt hattı (olgunluk) ve beklenen verim arasındaki ilişki (Hayvancılık, 2013).

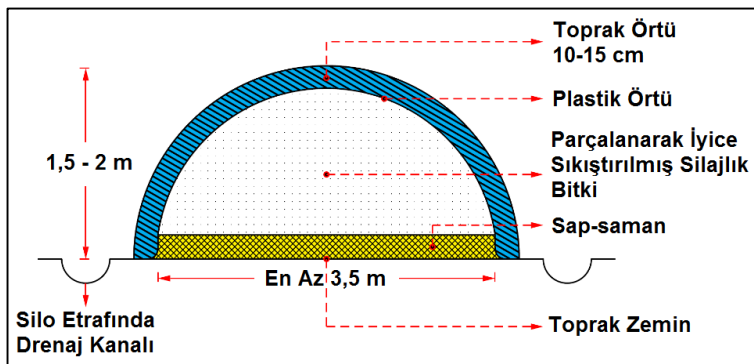
Hasat, tek veya iki sıralı silajlık mısır hasat makinası ile yapılmaktadır (Türkoğlu vd., 2010).

Silaj makinası ile biçilip kıyılan silajlık yeşil yem silolara aktarılır. Silo yerinin ve tipinin belirlenmesi önemlidir. Silo, ahıra yakın ve silajın kolayca ahıra taşınmasına elverişli olmalıdır. Silo kapasitesi işletmedeki hayvan sayısına göre belirlenir. Genel bir yaklaşımla yetişkin bir büyükbaş hayvana günde 20-30 kg silaj verildiği düşünülerek işletmedeki hayvan sayısına göre hacim belirlenir ve bundan sonra uygun silo tipi seçilir. Yaygın uygulanan silo tipleri aşağıda gruplandırılmıştır.

### 1.3.1 Toprak üstü plastik örtülü silolar

Bu siloların yapımı için ahıra yakın, su tutmayan, düz ve sert bir zemin seçilir. Bu amaçla 3,5-5 m genişlikte ve depolanacak ürün miktarına uygun uzunlukta bir alan silo yeri olarak belirlenir. Silo gübrelikten uzak olmalıdır. Ayrıca plastik örtülü toprak silolarda siloyu tırnaklı hayvanların zararından koruyacak önlemler alınmalıdır.

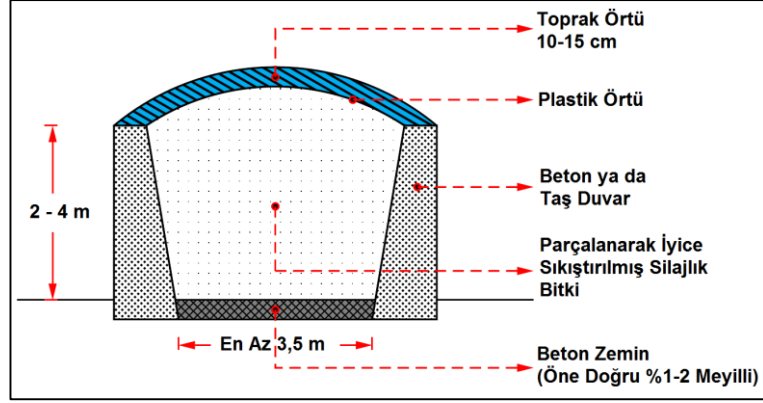
Silo yüksekliği bir traktörün rahatça çiğneme ve sıkıştırma yapabileceği yükseklikte 1,5-2 m olmalıdır. Uygun zemin özelliğine sahip alana 15-20 cm kalınlığında sap-saman serilir. Bu sergi üzerine silajlık materyal doldurulup sıkıştırıldıktan sonra üzeri kolay yırtılmayan tek parça polimer bir örtü ile tamamen örtülür. Örtünün kenarları biraz daha uzatılarak üzeri 10-15 cm kalınlıkta toprak tabakasıyla kaplanır. Silo üzerine örtülen toprak, siloya basınç yaparak silo içindeki havanın dışarı çıkmasına yardımcı olurken, silaj ve örtüyü dış etkenlerden korur. Yağışlı günlerde silo tabanını sudan korumak için silo etrafına 20-25 cm derinliğinde drenaj kanalı kazılmalıdır (Şekil 1.7).



Şekil 1.7 Toprak üstü plastik örtülü silonun kesiti.

### 1.3.2 Yer üstü beton silolar

Yer üstü beton silolar yer üstüne tabanı beton, iki veya üç tarafı beton, taş duvar veya çelikten inşa edilen genellikle önü veya arkası açık olan silolardır. Çoğu zaman 3,5-7 m genişlikte ve 2-4 m uzunlukta inşa edilirler. İnşası sırasında yan duvarlara içten uygun meyil verilmelidir. Meyil olmayan silo tabanında tam sıkıştırma olmaz ve malzemede bozulma başlar (Şekil 1.8).



Şekil 1.8 Yerüstü beton silo kesiti.

### 1.3.3 Silindirik balya silajı

Silindirik balya silajı, silajlık yem bitkilerinin biçilip balya makinaları ile balya yapıldıktan sonra balyaların ince bir plastik örtü malzemesi ile kaplanması esasına dayanmaktadır (Şekil 1.9).



Şekil 1.9 Plastik kaplı silindirik balya silajı.

Balya silajı oldukça kaliteli olup fermantasyon kayıplarının çok az oluşu, çok az işçilik gerektirmesi ve porsiyonlar halinde tüketilme özelliği nedeniyle gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Genellikle 800-1000 kg aralığında balyalar şeklinde yapılmaktadır. Bu ağırlık, taşıma, depolama ve yedirme sırasında özel donanım gerektirmektedir. Bu sakıncaları ortadan kaldırmak amacıyla silajlık materyalin 25-50 kg'lık paketler halinde torbalanarak saklanmasıyla torba silo elde edilmektedir.

#### 1.3.4 Sosis tipi silolar

Sosis tipi silolarda, parçalanmış silajlık materyal özel bir makina ile tünel şeklindeki büyük plastik siloya püskürtülerek veya paletli merdane ile sıkıştırılarak doldurulur. Doldurulduktan sonra sosis silonun çapı yaklaşık olarak 2,5-3,5 m boyu ise 30-70 m olabilmektedir (Şekil 1.10).



Şekil 1.10 Sosis tipi silo yapımı (Besi Yemi, 2013).

#### 1.3.5 Kule tipi silolar

Daha çok endüstriyel boyutlarda üretim yapan 250-300 baştan fazla süt sığırı veya 1000 baştan fazla besi sığırı olan ve her zaman silajlık yeşil ürünlerin bulunabildiği ülke ve bölgelerde kullanılmaktadır (Şekil 1.11).

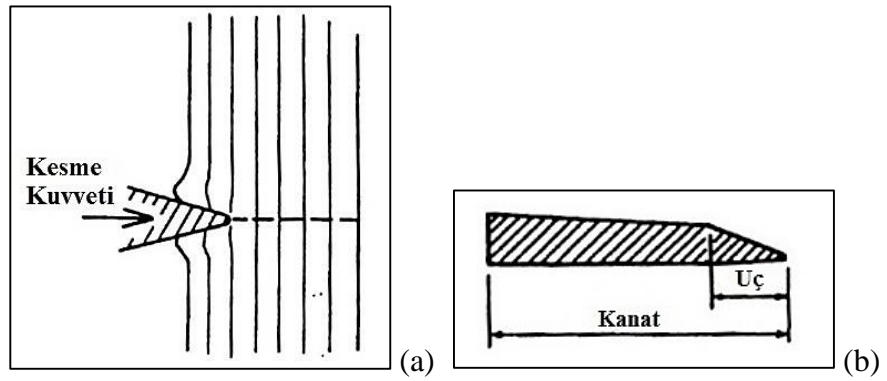




Şekil 1.11 Kule tipi silolar (Besi Yemi, 2013).

#### 1.4 Bitkisel Materyalin Kesilme Mekanikliği

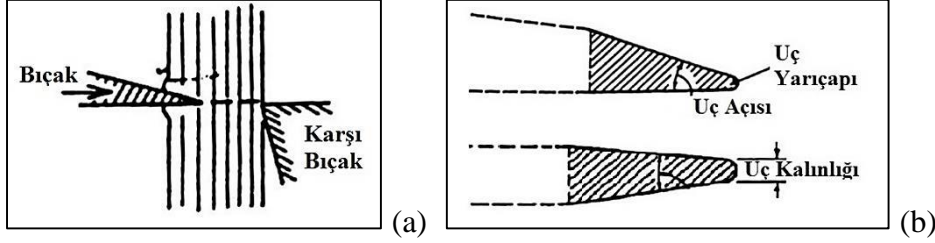
Silajın hazırlanmasında ilk aşama mısır bitkisinin gövdeden kesilip ayrılması ve uygun boyda kıyılmasıdır. Uygun kıyma boyunda kıyılan mısır silaj için hazırdır. Mısırın kıyılması sırasından hedeflenen kıyma boyu ve şekli ürünün kalitesi açısından önemlidir. Mısır bitkisinin kesilmesi ve kıyılmasında kullanılan, temel kesme işlemi gerçekleştiren alet veya aktif elemana bıçak adı verilir. Bıçaklar kesilecek olan gövdeye ya da malzemeye bir kesme kuvveti uygular ve kesme gerçekleşir (Şekil 1.12a) İşlevsel bir bıçak; bıçak ucu ve bıçak kanadı olmak üzere iki bölümden oluşur (Şekil 1.12b).



Şekil 1.12 a) Temel kesme kavramı şematik gösterimi b) Bıçak kanadı ve bıçak ucu şematik gösterimi (Persson, 1987).

Kesme işleminde uygulanan kesme kuvveti gövdeyi yana doğru itme eğiliminde olur. Birçok kesme sistemi gövdeyi desteklemek ve kesmeye yardımcı olmak amacıyla karşı bıçak ile makaslama özelliğine sahiptir (Şekil 1.13a). Bıçaklara ait önemli ölçülerin şematik gösterimi Şekil 1.13b'de verilmiştir. Bıçak

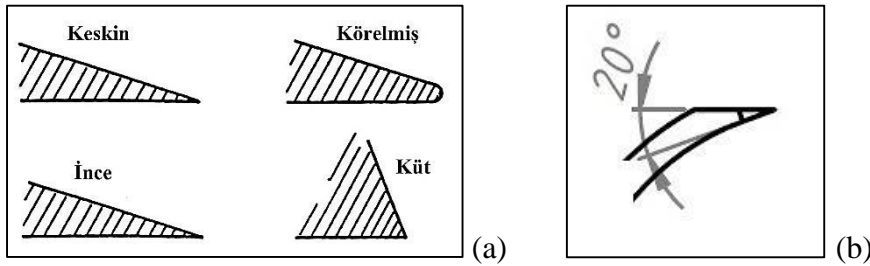
uç açısı kesici yüzeylerin arasında kalan açıdır. Uç yarıçapı kesme işlemi sonrasında oluşan uçtaki körelmenin yarıçap cinsinden değeridir. Uç kalınlığı ise yine kesme işlemi ardından oluşan körelmenin kalınlığıdır.



Şekil 1.13 a) Karşı bıçak ile makaslamanın şematik gösterimi b) Kesici bıçak özelliklerinin şematik gösterimi (Persson, 1987).

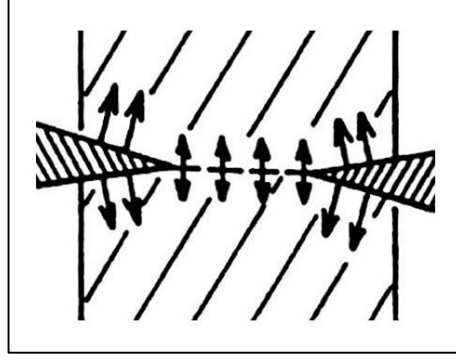
Bıçakların kenar keskinliğine ve uç açlarına bağlı tanımlamalar ve buna karşılık gelen şematik görünüm Şekil 1.14a'da görülmektedir. Bıçakların keskinliği ve uç açıları, kesme mekanizması üzerinde büyük öneme sahiptir. Körelme ve kütleşmeyle orantılı olarak kesme için gerekli kesme kuvveti de artmaktadır.

Silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçaklarının uç açıları genellikle  $20^\circ$  olacak şekilde bilenirler (Şekil 1.14b). Kıyıcı bıçakların eğimli yapısı nedeniyle körelmeye bağlı olarak bileme işlemine devam edildiğinde uç açısı artmaktadır.



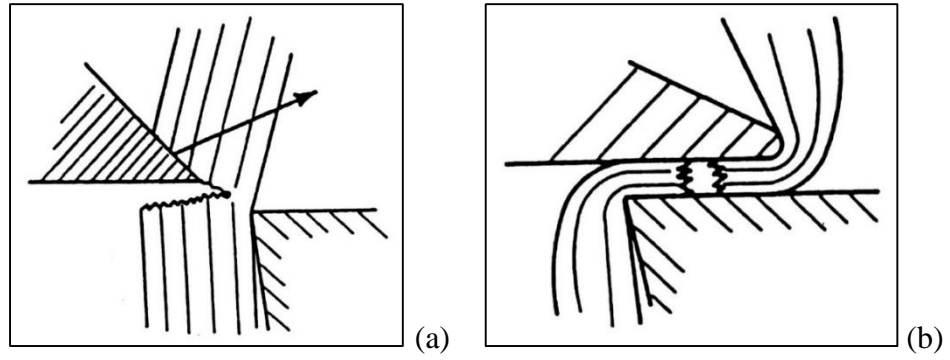
Şekil 1.14 a) Bıçak kenar keskinliğinin ve uç açılarının şematik görünümü (Persson, 1987). b) Silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçak uç açısı.

Kıyıcı bıçak iyi bir şekilde bilendiğinde bıçak üzerinde sürtünme kuvveti az olduğundan kesilme kuvveti de düşüktür. Keskin bir bıçakla kesilmede bitki gövdesi üzerinde bıçak hareketine dik kuvvetler oluşur ve bu da bitkiyi parçalamak için yeteri kadar güçlü bir kesme sağlar (Şekil 1.15).



Şekil 1.15 Kesilme mekanizması şematik gösterimi (Persson, 1987).

Kesici bıçak ve karşıt bıçak arasında yeteri kadar boşluk ve bıçakların keskin olması durumunda kesme kuvveti etkisiyle bitki yırtılarak kesilecektir (Şekil 1.16a). Kesici bıçak ve karşıt bıçak arasında yeteri kadar boşluk olsa dahi kesici bıçak kör ise bıçak bitkiyi kesmek yerine oluşan kuvvetin etkisiyle koparacaktır (Şekil 1.16b). Bu ise istenmeyen bir durumdur ve bıçağın ucunun her zaman belirli bir uç açısından büyük olmaması istenir. Bu nedenle silajlık mısır hasat makinalarının üzerinde bıçak köreldikçe (uç açısı büyüdükçe) kullanılan bir bileme sistemi bulunur.



Şekil 1.16 a) Yırtmalı kesim şematik gösterimi b) Ezerek koparmalı kesim şematik gösterimi (Persson, 1987).

## 1.5 Kaba Yem Hasadında Kullanılan Makinalar

Hayvan beslenmesinde önemli yer tutan silajın tarladan işletmeye gelene kadar olan süreçte geçirdiği tüm makinalı işlemlere silaj mekanizasyonu denir. Silaj makinaları, silaj yapılacak bitki çeşidine, makinanın kapasitesine, yapısına ve çalışma biçimine göre değişik tip ve büyüklükte olabilmektedir. Silaj makinalarının sınıflandırılması aşağıdaki gibi yapılabilir (Safer, 2014);

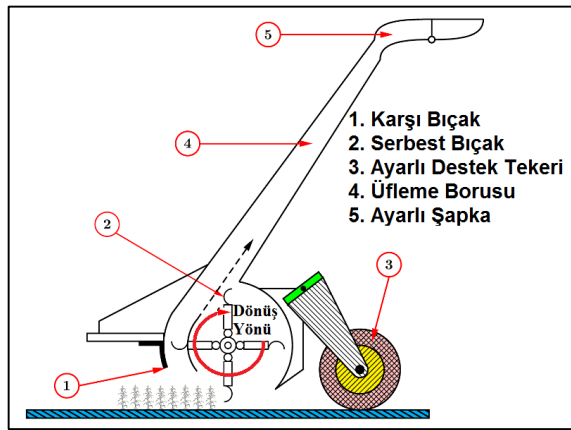
- Silajlık ot hasat makinaları
  - Parçalayıcı silajlık ot hasat makinaları
  - Toparlayıcı silajlık ot hasat makinaları
- Silajlık mısır hasat makinaları

### 1.5.1 Silajlık ot hasat makinaları

Her türlü yeşil yemden silaj yapmak mümkündür. Bu amaçla en fazla kullanılan bitkiler mısır, sorgum, sudan otu, sorgum-sudan otu melezi, fiğ-tahıl karışımları, İtalyan çimi, arpa, buğday, ayçiçeği vb. dir. Silaj üretiminde çoğunlukla tercih edilen bu bitkiler yanında yonca ve doğal çayırlardan da yararlanılmaktadır. Bu bitkilerin silajı, parçalayıcı ve toplayıcı silajlık ot hasat makinaları ile yapılmaktadır (Türkoğlu vd., 2010).

#### 1.5.1.1 Parçalayıcı silajlık ot hasat makinaları

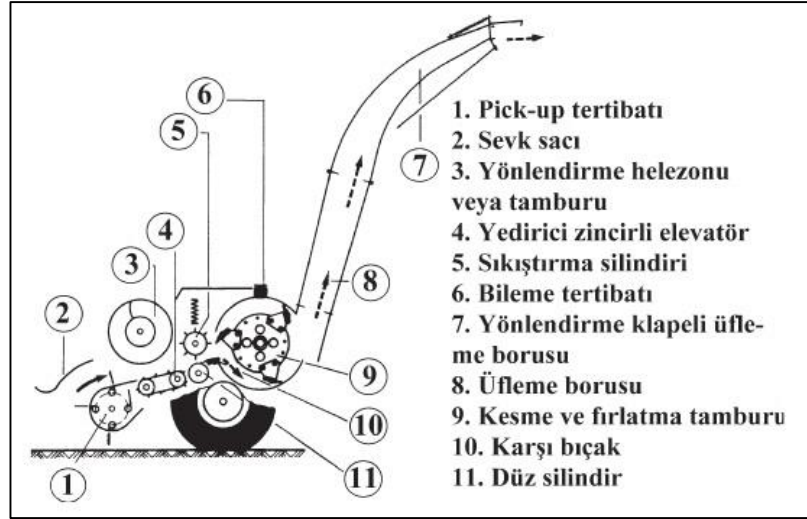
Parçalayıcı silajlık ot hasat makinaları, traktörün üç nokta askı sistemine bağlıdır ve kuyruk milinden hareket alarak çalışırlar (Türkoğlu vd., 2010). Parçalama düzeni, 16-21 adet serbest salınımlı bıçak, 1 adet sabit bıçak ve bıçakların bağlı bulunduğu bir volandan oluşur. Parçalanan ot davlumbaz ile bacaya, bacadan da tarım arabasına sevk edildiği gibi parçalandığı yere de bırakılabilir (Şekil 1.17) (Türkoğlu vd., 2010).



Şekil 1.17 Parçalayıcı silajlık ot hasat makinası.

### 1.5.1.2 Toplayıcı silajlık ot hasat makinaları

Toplayıcı silajlık ot hasat makinalarının parçalayıcı silajlık ot hasat makinalarından farkı, biçilmiş ve akrobat tırmık vasıtasıyla tarla üzerinde namlu<sup>4</sup> yapılmış otların silaj yapımında kullanılmasıdır. Biçilip bırakılmış veya namlu haline getirilmiş otlar toplayıcı düzenindeki yaylı parmaklar tarafından toplanıp makina kıyma düzenine iletilir (Şekil 1.18) (Türkoğlu vd., 2010).



Şekil 1.18 Toplayıcı silajlık ot hasat makinası (Safer, 2014).

### 1.5.2 Silajlık mısır hasat makinaları

Mısır, ülkemizde silajı en yaygın yapılan bitkidir. Genel olarak hayvancılık işletmelerinin küçük, arazi yapısının parçalı olması nedeniyle silajlık mısır ekiliş alanları da küçük olmaktadır. Bu nedenle ülkemizde yaygın olarak tek sıralı silajlık mısır hasat makinaları kullanılmaktadır. Diğer yandan iki sıralı ve sıra bağımsız silajlık mısır hasat makinaları da giderek yaygınlaşmaktadır (Türkoğlu vd., 2010).

#### 1.5.2.1 Tek sıralı silajlık mısır hasat makinaları

Tek sıralı silajlık mısır hasat makinaları asma tip olup silajlık mısır ve sıraya ekilmiş boylu yem bitkilerinin hasat edilmesinde kullanılır. Traktör üç nokta askı

<sup>4</sup> Namlu: Otların bir hat boyunca toparlanması.

sistemine bağlıdır ve kuyruk milinden hareket alarak çalışırlar. Tek sıralı olduklarından manevra yetenekleri yüksektir (Şekil 1.19).



Şekil 1.19 Tek sıralı silajlık mısır hasat makinası.

### **1.5.2.2 Sıra bağımsız silajlık mısır hasat makinaları**

Bu tip makinaların kapasitesi tek sıralılara göre daha fazladır. Bu makinaların çalışması için gerekli güç ihtiyacı, sıra sayısı arttıkça artmaktadır. Çalışma prensibi tek sıralı makinalar ile aynıdır. Aynı anda birden fazla mısır sırasını hasat edebilecek şekilde tasarlanmışlardır (Şekil 1.20).



Şekil 1.20 Sıra bağımsız silajlık mısır hasat makinası.

### 1.5.3 Silajlık mısır hasat makinalarının parçaları

Silajlık mısır hasat makinaları genellikle traktör kuyruk milinden hareket olarak çalışır. Tek sıralı olanlar asma, çok sıralı olanlar hem asma hem de çekme tip olabilir. Bu makinalar beş kısımdan oluşurlar;

- Biçme ünitesi,
- Kıyma ünitesi,
- Üfleme ünitesi,
- Bağlantı düzeni,
- Hareket iletim düzenidir.

#### 1.5.3.1 Biçme ünitesi

Biçme ünitesi; bitkisel ürünü (mısır) biçip kıyma ünitesine gönderen organdır. Biçme ünitesi, makinanın özelliğine göre tek sıralı olabileceği gibi daha fazla sıralı veya sıra bağımsız da olabilmektedir. Biçme ünitesinde dikey konumda ve dönerek çalışan tamburlar bulunur (Şekil 1.21). Makinanın ilerlemesi sırasında bu tamburların üzerinde bulunan bıçaklar ürünü keserek kıyma ünitesini besler.



Şekil 1.21 Silajlık mısır hasat makinası biçme düzeni.

#### 1.5.3.2 Kıyma ünitesi

Kıyma ünitesi; çalışma sistemine göre genel olarak tamburlu ve diskli olmak üzere iki grupta incelenebilir. Tamburlu parçalama sistemlerinde yatay durumda bulunan ve dönerek çalışan bir tambur ve etrafında bıçaklar yer alır (Şekil 1.22). Tambur üzerinde bulunan bıçaklar ile sabit olan karşı bıçak arasında kalan ürün

parçalanır. Tambur üzerinde bulunan bıçaklar tambur boyunca yekpare olabileceği gibi parçalı da olabilir. Bıçak sayısına ve tamburun devrine bağlı olarak materyalin parçalanma büyüklüğü de değişmektedir.



Şekil 1.22 Parçalı bıçaklı tamburun kıyma ünitesi (Kasap vd., 2000).

Diskli kıyma sistemlerinde ise üzerinde 1-12 arası bıçak bulunan ortalama 1 m çapında bir disk bulunur (Şekil 1.23). Bıçaklar ve biçilen ürünü üfleyici (fırlatıcı) kanatlar, disk üzerine sökülebilir şekilde bağlanmıştır. Üfleyici kanatlar biçilen ürünü üfleme kanalından bacaya doğru iletir.

Diskli kıyma sisteminde makinanın kıyma için gerekli güç ihtiyacı daha düşük ancak kıyılan ürünü üfleme için gerekli güç ihtiyacı daha yüksektir. Tamburlu parçalama sistemlerinde ise bıçakların bilenmesi daha kolaydır.



Şekil 1.23 Silajlık mısır hasat makinası diskli kıyma ünitesi.



### 1.5.3.3 Üfleme ünitesi

Kıyıcı bıçaklar ile birlikte çalışan hava paletlerinden veya bir vantilatörden meydana gelmiştir. Kıyılan materyal hava akımı vasıtasıyla makinanın arkasına bağlanarak çekilen veya başka bir traktörün çektiği tarım arabasına üflenir (Şekil 1.24) (Alibaş vd., 1995).



Şekil 1.24 Silajlık mısır hasat makinası üfleme ünitesi.

### 1.5.3.4 Bağlantı düzeni

Makinanın traktöre bağlandığı bölümdür. Ülkemizde üretilen ve kullanılan silajlık mısır hasat makinaları genellikle asılı tip olmakla birlikte çekilir tip olanları da bulunmaktadır.

### 1.5.3.5 Hareket iletim düzeni

Traktörden alınan hareketin çalışan organlara iletiildiği kısımdır. Traktör kuyruk milinden mafsallı mil (şaft) ile alınan hareket genellikle kayış kasnak sistemi ile makinaya iletilmektedir.

### 1.5.4 Silajlık mısır hasat makinalarının çalışma sistemi

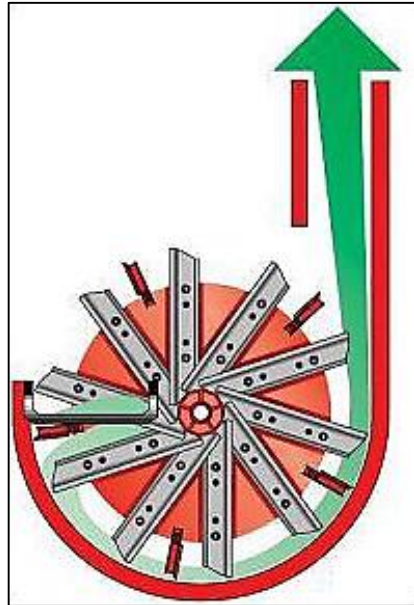
Traktör kuyruk miline bağlanan mafsallı bir mil yardımıyla alınan hareket, ilk olarak hız kutusu grubuna gelmekte buradan da kayış kasnak sistemi veya ikinci bir şaft yardımıyla ikinci hız kutusu grubu aracılığı ile hareketli parçalara (biçme ve kıyma düzeni) iletilmektedir (Şekil 1.25).



Şekil 1.25 Silajlık mısır hasat makinası mafsallı mil ve dişli kutusu.

Makinanın ilerlemesiyle birlikte materyal, biçme düzeneği üzerinde bulunan ve dönerik çalışan bıçaklar tarafından biçilmekte, diskin dönme hareketi sayesinde parçalayıcı düzeneğe iletilmektedir.

Diskli parçalama düzeninde, biçme ünitesinden biçilerek gelen ürün, hızla dönen disk üzerinde bulunan bıçak ve karşıt bıçak arasında kıyılarak üflenmektedir (Şekil 1.26). Burada biçilen materyal disk devrine ve bıçak sayısına bağlı olarak değişik boylarda kıyılır. Silajlık mısır hasat makinalarında kıyııcı bıçakların bilenmesi, makina üzerinde bulunan bileme ünitesiyle belli aralıklarda yapılabilir.



Şekil 1.26 Diskli kıyma düzeninde kıyma ve üfleme işlemi (Kasap vd., 2000).

Silajlık mısır hasat makinalarında asıl işi yapan kıyııcı bıçaklar olduğundan kaliteli ve düzgün bir biçme ve kıyım yapılabilmesi için bıçaklar büyük önem taşır. Bıçakların sayısı, sağlamlığı ve kesme kalitesi materyalin kıyım özelliklerini belirler. Bıçak sayısı üfleyici kanat sayısı için belirleyicidir. Birçok üretici firma üfleyici kanat kullanılmasını tavsiye etmektedir. Keskinliği kaybolmuş bıçaklar düzgün bir kıyım yapamayacağı gibi makinanın güç ihtiyacını dolayısıyla da yakıt tüketimini artıracaktır. Bu nedenle körelmiş bıçaklar bilenmeli veya yenisiyle değiştirilmelidir. Kıyııcı bıçaklar, üzerinde bıçak bileme sistemi olan makinalarda makina çalışma devrinin yarısında dönecek şekilde boşta çalışırken bilenir. Bileme işlemi bitince traktör durdurulup hareket kesildikten sonra bileme sisteminin gözleme kapağı açılarak bıçaklar kontrol edilir. Bileme yeterli ise hasat işine devam edilir.

Kaliteli silaj elde edilmesi için gerekli en önemli faktörlerden biri de keskin bıçaklar ve bıçak ile karşıt bıçak arasındaki mesafenin mümkün olduğunca az olmasıdır. Hız kutulu silaj makinasının kesme mekanizmasına özel olarak yerleştirilmiş bileme aparatı sayesinde bileme işlemi çok kolay ve kısa sürede yapılabilmektedir. Bilendiği halde kullanılmayacak kadar aşınmış ve kırılmış bıçaklar aynı özellikte yeni bıçakla değiştirilir. Makinanın dengeli çalışması için bıçakların tamamı değiştirilemiyorsa karşılıklı olarak değiştirilmesi gerekir. Bir günlük hasat işinden sonra bıçakların civataları kontrol edilmeli ve gerekiyorsa sıkılmalıdır. Bıçak değiştirildikten sonra balans ayarı yaptırılması kıyııcı diskin çalışma dengesi açısından önemlidir.

Bıçakların kontrolü sırasında karşıt bıçaklar da kontrol edilmelidir. Bıçaklar çıkarılırken (kesme boyu ayarı için) buldukları konum ile bıçaklara eş işaretleme yapılır. Böylece bıçakları montaj sonrasında tekrar dengeleme yapmaya gerek kalmaz.

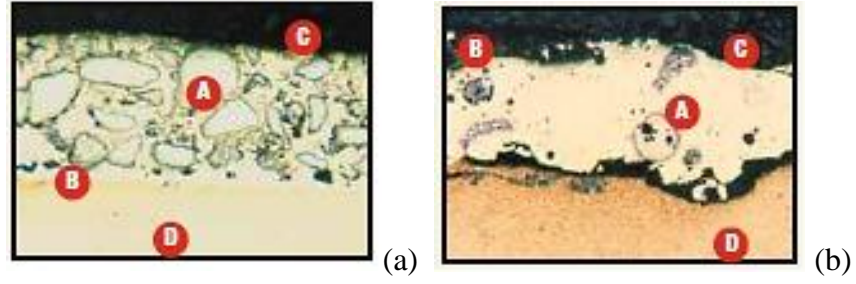
Hayvancılığa verilen önemin artmasıyla birlikte ülkemizde hayvan besiciliği yapan çiftçiler yem olarak mısır bitkisini tercih eder olmuştur. Yeşil yem, mısır bitkisinin silajlık mısır hasat makinaları ile hasat edilmesi ve sonrasında silolarda bekletilmesi ile oluşturulmaktadır. Dünya genelinde çok sayıda silajlık mısır hasat makinası üreticisi bulunmaktadır. Küçük ölçekli işletmeler, yoğun olarak tek sıra

silajlık hasat makinaları üretimi yapmaktadır. Bu makinaların neredeyse tamamı ülkemizde üretim yapan firmalar tarafından yerli olarak üretilmektedir. Ülkemizde yeşil yem hasat ekipmanları üreten birçok firma bulunmaktadır. Bu firmalardan bazıları Ek 1’de verilmiştir. Yerli üretim yapan firmalar ağırlıklı olarak tek sıralı, diskli ve asma tip silajlık mısır hasat makinası üretimi yapmaktadır. Bu makinalar çok küçük tasarım değişiklikleri dışında benzer yapıda üretilmektedir. Kıyııcı bıçak üretimlerini de kendileri yaptığından bıçak şekilleri farklı olabilmektedir. Kendi bünyesinde üretemeyen yerli üreticiler ise bıçakları yedek parça üretimi yapan üreticilerden veya yan sanayiden karşılamaktadır.

Silajlık mısır hasat makinasında kullanılan bıçakların niteliği, makinanın verimini ve etkinliğini doğrudan belirlemektedir. Kıyııcı bıçaklar üzerinde yapılacak iyileştirmeler de makina verimini ve etkinliğini net bir şekilde iyi yönde değiştirmektedir. Bu iyileştirmelerden biri de bıçakların aşınma dayanımlarının artırılmasıdır. Endüstriyel ürünlerde aşınma dayanımının artırılmasında kullanılan yaygın yöntemlerden biri yüzeyin daha sert malzeme ile kaplanmasıdır. Bu amaçla uygulanan yöntemlerden biri de termal püskürtmedir.

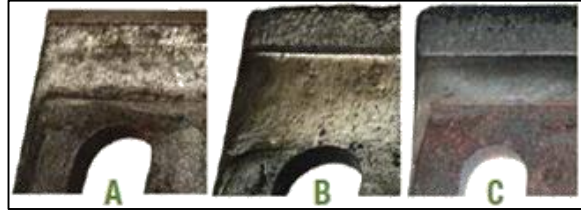
Termal püskürtme yöntemi birçok alanda kullanılmasına rağmen tarım makinaları için yeni bir çözümdür. Uluslararası ölçeğe sahip John Deere firması bu kaplama yöntemini kullanan ilk firmalardan biridir ve özellikle aşınan bazı aktif parçaların aşınma dayanımını arttırmak için termal püskürtme yöntemini kullanmaktadır (John Deere, 2014). Adı geçen firma orijinal bıçaklarını, ürünün kaliteli kesimi, uzun kesme ömrü ve düşük motor gücü talebini karşılamak amacıyla termal kaplamada yaygın kullanılan WC ile kaplamıştır.

Kaplama, kullanılan malzeme ve uygulanan yönteme bağlı olarak farklı özelliklere sahip olmaktadır. Şekil 1.27’de farklı malzemelerle yapılan kaplamalardaki kalite farkını görsel olarak ortaya koymaktadır.



Şekil 1.27 Kaplama kalitesini ortaya koyan karşılaştırmalı enkesit görüntüleri (John Deere, 2014).  
 a) Uygun kaplama: A) Yüksek parçacık içerik, B) Düşük gözenek, C) Düzgün sert dolgu, D) Bağ hataları yok, b) Uygun olmayan kaplama: A) Düşük parçacık içerik, B) Yüksek gözenek, C) Düzensiz sert dolgu, D) Bağ hataları var.

İlk bakışta bıçak üzerinde deformasyon kendini göstermemekte ancak çalışma sırasında zamanla kaplamanın olup olmaması veya kaplama kalitesinin önemi ortaya çıkmaktadır. Aşınma gerçekleştikçe bıçak üzerindeki durum gözle görünür hale gelmektedir (Şekil 1.28).



Şekil 1.28 Farklı kaplama kalitesinde uygulama sonrası görülen aşınma (John Deere, 2014).  
 A) Uygun kaplanmış bıçak; belli oranda aşınmış ancak kaplama bozulmamış ve keskinliğini korumuş, B) Uygun kaplanmayan bıçak; bağ hataları kaplamanın parçalı olarak kalkmasına neden olmuş ve keskin kenar bozulmuş, C) Uygun kaplanmayan bıçak; kaplamanın düşük karbür içeriği nedeniyle keskin kenarda erken aşınma.

Bıçakların üzerine yapılan uygun kaplama tiplerinden de görüldüğü gibi iyi bir kaplama bıçaklara önemli bir katma değer yaratmaktadır. Ancak bıçaklar üzerinde yapılacak kaplamanın çalışma koşullarına göre uygun seçilmesi gereklidir. Bu yönden değerlendirildiğinde de ağır koşullarda çalışan parçalar için en uygun kaplama yöntemlerinden biri yine termal püskürtme yöntemidir.

## 1.6 Termal Püskürtme Yöntemi

Termal püskürtme yöntemi ilk olarak 1910 yılında İsviçreli Max Ulrich Scoop tarafından keşfedilmiş olup yaygın kullanımı 1930 yılına kadar yalnız çinko püskürtme alanında gerçekleşmiştir (Anık, 1991). 1950'li yıllarda birçok yeni termal püskürtme metal alaşımının bulunması ve üretilmesi ile özellikle bakım

onarım ve koruyucu bakım kaynağı alanında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Termal püskürtme yönteminde temel prensip ergimiş haldeki metal alaşımının önceden hazırlanan kaplama yüzeyine tutunarak bir dolgu tabakası oluşturmaktır. Bu işlemin amacı, aşınma etkisi altında bulunan ya da aşınmış olan yüzeyin çalışma koşullarına karşı yüksek dayanım gösterecek ikinci bir metalle kaplanmasıdır (As Kaynak, 2009).

Ergimiş haldeki metali yüzeye püskürterek, yüzeyde bir kaplama tabakası oluşturmaya metal püskürtme adı verilir. Metal püskürtme yönteminde bir metal veya alaşım, elektrik arkı veya alev ile ergitildikten sonra basınçlı hava ile küçük parçacıklar halinde iş parçası yüzeyine püskürtülür. Püskürtülen ergiyik metal, daha önceden hazırlanan metal yüzeye tutunarak yüzeyde bir tabaka meydana getirir (Anık, 1991).

Kaplama işleminin doğru yapılması ve etkin olması için aşağıda belirtilen ölçütlere dikkat edilmelidir (As Kaynak, 2009). Bunlar;

- Aşınma mekanizmasının türü ve ortam şartları,
- Parça şekli ve boyutu,
- Ana metalin cinsi ve fiziksel özellikleri,
- İstenilen kaplama kalınlığı ve özelliği,
- Kaplanacak yüzeyin konumu ve erişilebilirliği,
- Beklenen ömür artışıdır.

Termal püskürtme yönteminde, toz metal alaşımı kaplama yapılacak yüzeye oksii-asetilen alevi ile püskürtülmektedir. Oksii-asetilen alevinin içinden geçen metal alaşımı yaklaşık 3100 C°'deki alevin etkisiyle alaşımın ergime sıcaklığına yakın (yaklaşık 1110 C°) sıcaklığa ulaşmaktadır. Önceden tavlanmış metal yüzeyin üzerinde bu şekilde yapılan püskürtme işlemi yöntemin ilk aşamasıdır. Kaplama işleminin ikinci aşamasında yüzeye püskürtülen metal alaşımını sultanma (ergime) sıcaklığına getirilir. Bu sıcaklık, ergimenin başlangıç (solidus) ve sona erme (liquidus) sıcaklıkları arasındadır.

Uygulamada ergime ve yüzeye tutunmanın gerçekleştiği, ergiyen metal tozlarının parlamaya başlamasından anlaşılmaktadır. Ana metal ile dolgu metali arasındaki tutunma difüzyon aracılığı ile gerçekleşmekte dolayısıyla ana metal ile dolgu metali arasında herhangi bir dilüsyon<sup>5</sup> oluşmamaktadır. Difüzyon sıcaklığı ise, kullanılan dolgu metalinin cinsine bağlı olarak 900-1000 C° arasında değişmektedir.

Kaplama yöntemi, dolgu alaşımının ana malzemeye katı faz difüzyonu ile bağlanma işlemidir, yani sert lehimleme işleminde olduğu gibi kaplama alaşımı ile ana malzeme arasındaki bağ, difüzyonla bir sıvı fazın bir katı faza bağlanmasıyla elde edilir. Difüzyon olayında kullanılan en yaygın örnek olarak yüzey sertleştirme işlemi verilebilir. Ana malzeme ısıtıldığında ana malzeme atomları titreşmeye başlar ve hareket eder. Sıvı kaplama alaşımı ve katı ana metal birbirleri içinde difüzyon olarak metalik olmayan yeni bir faz oluştururlar (katı ve sıvı fazın birbirlerini etkilemesi). Böylece belirli bir sıcaklıkta yüzey difüzyonu oluşarak iyi bir metalürjik bağ sağlanır. Bu bağ ile yaklaşık 500 N mm<sup>-2</sup>'lik çekme dayanımı mümkün olur ve bu dayanım, çalışma gerilimleri altında bile kaplamanın görevini sürdürmesine olanak sağlar.

Termal püskürtme yöntemi ile sadece mekanik bir bağlanmanın yanında, metalürjik bir bağlanma da sağlanarak yoğun ve yüksek kalitede bir kaplama yapılabilir. Bu yöntem, metal alaşımlarının kendi difüzyon sıcaklığından daha yüksek ergime sıcaklığına sahip metal yüzeylere kaplanması işlerinde kullanılır. Çelikler başta olmak üzere paslanmaz çelikler, nikel alaşımları, dökme demirler ve bazı bakır alaşımları üzerine kaplama yapılabilir (As Kaynak, 2009).

Termal püskürtme yönteminde katmanlar şeklinde kaplama yapılması nedeniyle istenilen kalınlığa ulaşıncaya kadar kaplama yapılabilir. Termal püskürtme kaplama yöntemleri şu şekillerde sıralanabilir;

---

5 Dilüsyon: Yoğun çözeltilerden daha düşük yoğunluklardaki çözeltilerin hazırlanması için sulandırma veya seyreltme işlemi.

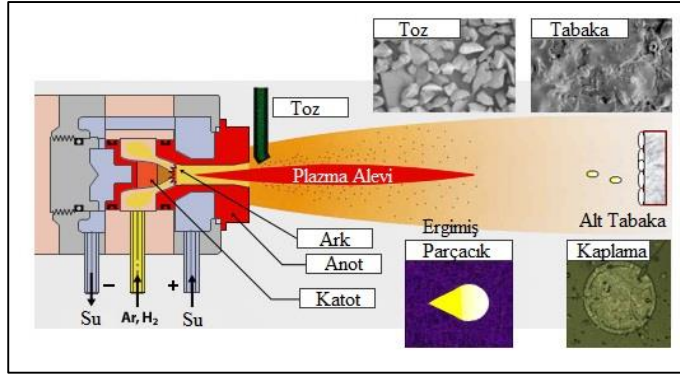
- Plazma kaplama yöntemi,
- Yüksek hızda oksî-yakıt püskürtme yöntemi,
- Alevle tel püskürtme yöntemi,
- Elektrik arkı ile tel püskürtme yöntemi,
- Alevle toz püskürtme yöntemi.

### 1.6.1 Plazma kaplama yöntemi

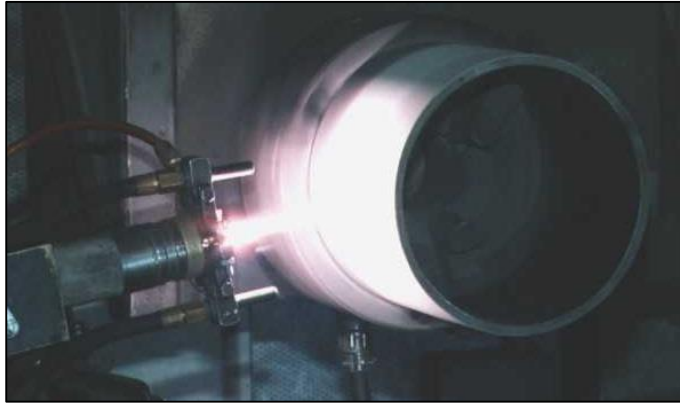
Plazma, eşit sayıda serbest elektron ve pozitif iyon bulunduran, genellikle maddenin dördüncü hali olarak adlandırılan yoğunlaştırılmış bir gazdır. Plazmanın başlıca iki önemli avantajı vardır. Birincisi; bilinen bütün malzemeleri ergitebilecek derecede yüksek sıcaklık elde etmek mümkündür, ikincisi ise diğer malzemelere daha iyi ısı transferi sağlamasıdır. Plazma sprey tekniğinin yüksek işlem sıcaklığı ve ergime noktası metal ve alaşımlarla çalışmaya olanak sağlamaktadır. Toz formunda ve belirli tane boyutlarında üretilen tüm kaplama, birçok metalden daha iyi aşınma ve erozyon direncine sahiptir ve dizel motorlar da dahil olmak üzere erozyon ve aşınma direnci gerektiren tüm uygulamalarda yaygın olarak kullanılırlar (Prokap, 2014).

Şekil 1.29'da plazma kaplama yönteminin şematik gösterimi ve Şekil 1.30'da uygulama alanlarından bir örnek bulunmaktadır. Plazma alevini oluşturmak için Ar veya H<sub>2</sub> gazı kullanılmaktadır. Alevi oluşturan Torç'un ısı etkisine maruz kalarak bozulmaması için su kullanılarak soğutma işlemi gerçekleştirilir. Oluşturulan plazma alevine toz haline getirilmiş kaplama malzemesi eklenerek kaplama işlemi gerçekleştirilir.





Şekil 1.29 Plazma kaplama yönteminin şematik gösterimi (Tsetinc, 2013)



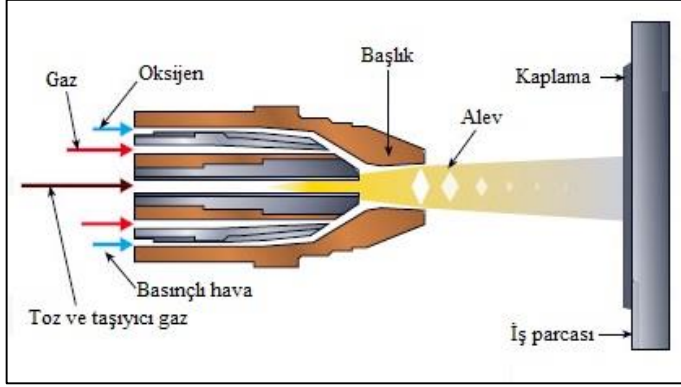
Şekil 1.30 Plazma kaplama yönteminin uygulama alanları (Gordon England, 2013)

### 1.6.2 Yüksek hızda oksit-yakıt püskürtme yöntemi (HVOF)

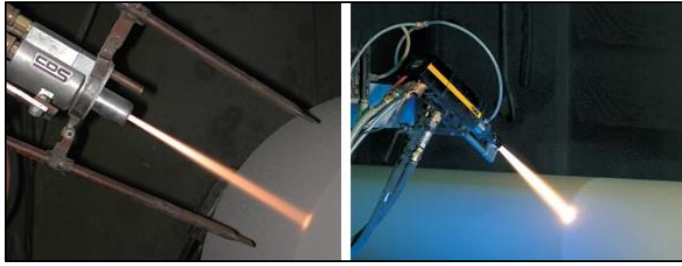
Propan veya hidrojen gibi yanıcı gazlar yüksek basınçlarda patlayarak yüksek bir gaz basıncı üretirler. Üretilen yüksek gaz hızı çalışma yapılan yüzeye doğru çok yüksek hızlarda toz parçacıklarını gönderir. Bu yöntemle plazmanın termal enerjisi kinetik enerjiye dönüşür ve daha yoğun kaplamalar elde edilir. HVOF için temel uygulama alanı, parçaların yüzey karakteristiklerinin iyileştirilmesi veya değiştirilmesidir.

Yüksek sertlik ve düşük oksit gerektiren metalik ve karbür kaplamaların tümü HVOF püskürtme sistemiyle üretilir. Ayrıca bu kaplama yöntemi ile kalın tabakalı kaplamalar elde edilebilir. Sağlam yapılı ve kullanımı kolay olan bir sistem olmakla beraber tozları eritmez onları sadece yumuşatır. HVOF, kaplamalarda düşük sıcaklıklarda partiküllerin yapışma zamanının çok kısa olması nedeniyle oksidasyon ve bozunmanın minimum düzeyde olduğu görülür (Prokap, 2014).

Şekil 1.31’de yüksek hızlı alev püskürtme yönteminin şematik görünümü ve Şekil 1.32’de uygulama alanlarından bir örnek bulunmaktadır. Toz taşıyıcı gazın ve basıncın etkisiyle alev içerisinde ergiyerek kaplama yapılacak yüzeye ulaşır.



Şekil 1.31 Yüksek hızlı alevle püskürtme yönteminin şematik gösterimi (Prokap, 2014)



Şekil 1.32 Yüksek hızlı alevle püskürtme yönteminin uygulama alanları (Advanced Coating, 2013)

### 1.6.3 Alevle tel püskürtme yöntemi

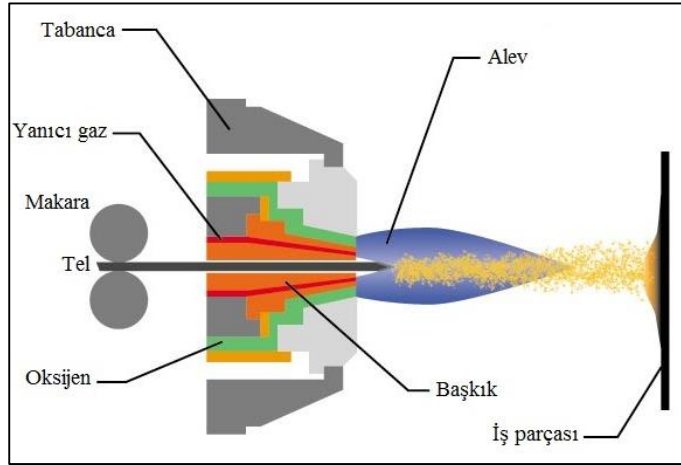
Çubuk veya tel biçimindeki kaplama malzemesi, püskürtme tabancasındaki hızı ayarlanabilir motor ile alev içine beslenir. Tel ucu alev içinde ergiyerek gaz jeti ile iş parçası üzerine doğru gönderilir (Prokap, 2014). Yüksek alev sıcaklığı sağlayabilmek için, yanıcı gaz olarak asetilen veya propan kullanılır. Oksijenin asetilenle oluşturduğu alevin sıcaklığı 3200 C°, propanla ise 2800 C°’dir.

Ergimiş telin püskürtülmesi ve toz durumuna gelmesi için genellikle ergitmede, nötr bir alev kullanılır. Ergimiş durumdaki metalden püskürtülen taneciklerin büyüklüğü püskürtme basıncı ve ısı gücüne bağlı olup, 50 ile 200 µm arasındadır. Püskürtme gücü büyüdükçe, taneler küçülür. Alev ayarı aynı kalmak üzere telin ilerleme hızı azaltılırsa taneler yine küçülür. Tanelerin çıkıştaki

sıcaklıkları, ergime sıcaklığından yaklaşık olarak  $100\text{ C}^\circ$  daha yüksektir ve hızları yaklaşık  $160\text{ ms}^{-1}$  dir. Parçaya kadar ulaşan taneciklerin sıcaklıkları, ergime sıcaklığına yakındır. Kaplanacak parçaya hızla çarpan tanecikler, pul şeklini alır ve önceden hazırlanmış iş parçası yüzeyindeki boşluklara dolarlar. Genel olarak püskürtme mesafesi, 100 ile 200 mm arasındadır.

Alevle tel püskürtme korozyondan korumada uygulanan başlıca yöntemdir. Korozyondan koruma amacıyla Zn ve Al kaplama uygulaması oldukça sık kullanılır. Ayrıca aşınmış ve yanlış işlenmiş parçaların çelik, bakır ve nikel alaşımları ile tekrar doldurularak bakım ve onarım amacıyla da kullanılır (Prokap, 2014).

Şekil 1.33'te alevle tel püskürtme yönteminin şematik görünümü ve Şekil 1.34'te uygulama alanlarından bir örnek bulunmaktadır. Bu kaplama yönteminde kaplama malzemesi olarak istediğimiz alaşım elementine sahip tel kullanılmaktadır. Alevin etkisiyle tel damla damla ergiyerek kaplanacak yüzeye kaynamaktadır.



Şekil 1.33 Alevle tel püskürtme yönteminin şematik gösterimi (Hayden Corp, 2013)



Şekil 1.34 Alevle tel püskürtme yönteminin uygulanması (Prokap, 2014)

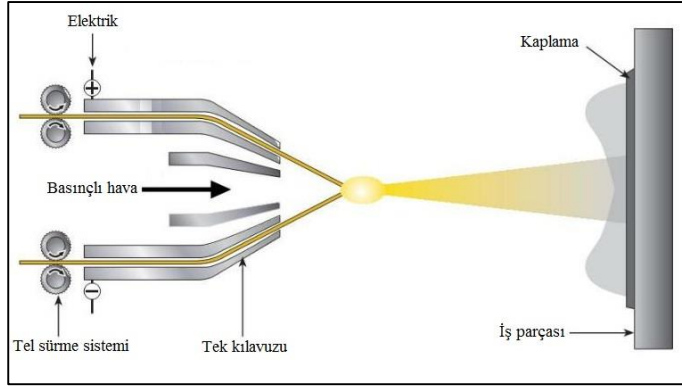
#### 1.6.4 Elektrik arkı ile tel püskürtme yöntemi

Bu yöntemle 4200 C°'lik bir ısı ile yüksek püskürtme hızlarına çıkılabilir. Kullanımı kolaydır, fakat gürültülü çalışır ve toz çıkarır. Bu sistemde, tel uçlarının arasında bir ark oluşturacak şekilde beraber beslenen tel çiftleri kullanılır ve eriyen malzeme yüksek basınçlı gaz (genellikle hava) aracılığı ile ergimiş damlacıklar halinde iş parçasına püskürtülür.

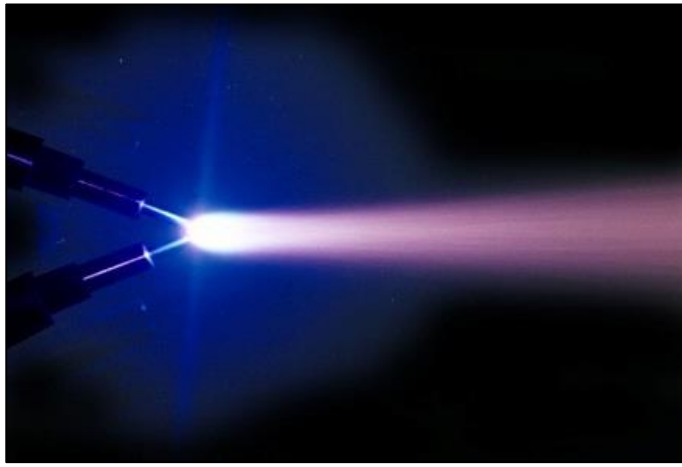
Elektrik arklı püskürtme sistemlerinde ertitme gücü, akım şiddetine bağlıdır. Bunun sonucu olarak tanecikler püskürtülen yüzeye daha yassılaştırmış bir durumda ulaşır ve iş parçası yüzeyine kaynar. Elektrik arkı ile püskürtmedeki oksit miktarı, alevle tel püskürtmeye oranla daha azdır. Püskürtme aralığı ve hava basıncı oksit kalıntıları ve gözeneklerin oluşumuna etki eder.

Tel çubuklar kullanılarak çoğu alaşımların kaplanması mümkündür ve yüksek püskürtme hızlarına çıkılabilir. İki farklı tel kullanılarak kompozit kaplama yapılabilir, fakat bu yöntemin dezavantajları yüksek enerjili sistemlere nazaran düşük yoğunluğa sahip bir kaplama yapmasıdır (Prokap, 2014).

Şekil 1.35'te elektrik arkı ile tel püskürtme yönteminin şematik görünümü ve Şekil 1.36'da uygulama alanlarından bir örnek bulunmaktadır. Bu yöntemde istediğimiz özellikte alaşıma sahip tel elektrik arkının oluşturduğu ısıyla ertitilerek basıncın etkisiyle kaplanacak olan yüzeye püskürtülür.



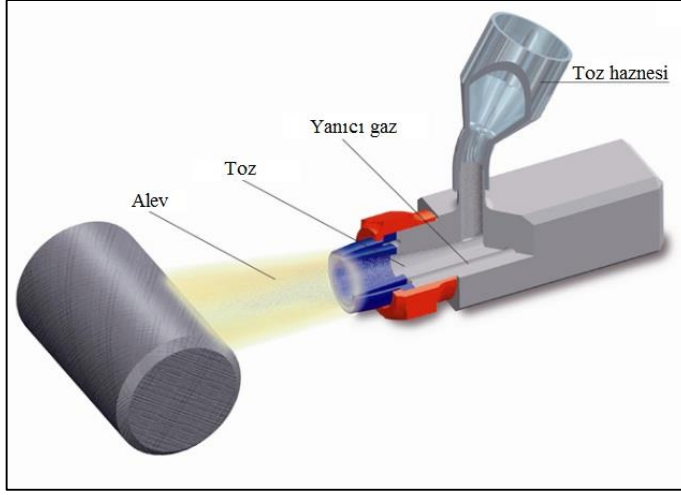
Şekil 1.35 Elektrik arkı ile tel püskürtme yönteminin şematik gösterimi (Sulzer, 2013)



Şekil 1.36 Elektrik arkı ile tel püskürtme yönteminin uygulama alanları (Gulf Energy, 2013)

### 1.6.5 Alevle toz püskürtme yöntemi

Oksijenin yakıcı gaz olarak kullanıldığı bu kaplama yönteminde 3250 C°'lik bir ısıya ulaşılır ve alev hem tozu eritmek için hem de ergimiş tozu iş parçası yüzeyine püskürtmek için kullanılır (Şekil 1.37). Çelik malzemelerde yakıcı gaz olarak genellikle asetilen gazı kullanılır, fakat ergime noktası daha düşük olan çinko ve alüminyum gibi malzemeler için propan gazı tercih edilir. İnce tozlar püskürtülürken hidrojen gazı da kullanılabilir. Toz malzeme ısıtılmak üzere alev üzerine dökülür ve alevin sağlamış olduğu hızın etkisiyle daha önce hazırlanmış parça yüzeyine püskürtülür (Prokap, 2014). Şekil 1.38'de alevle toz püskürtme yönteminin uygulama alanlarından bir tanesi görülmektedir.



Şekil 1.37 Alevle toz püskürtme yönteminin şematik gösterimi (Gordon England, 2013)



Şekil 1.38 Alevle toz püskürtme yönteminin uygulama alanları (Gordon England, 2013)

Alevle toz püskürtme yöntemi uzun zamanlardan beri bilinen bir yöntem olmasına rağmen tarım makinalarında yeni yeni uygulanmaya başlamıştır. Bu yöntem ile kaplama süresine ve tekrarına bağlı olarak kaplama kalınlığı belirlenmektedir. Mısır silaj makinası bıçaklarının kesme etkinliğinin artırılmasında bıçak yüzeyinde hem sert hem de bu yüzeye nazaran daha yumuşak yüzey oluşturarak aşınmanın bileme yönüne verilmesi prensibine dayanmaktadır. Daha sert olan kanatçık kısmında muazzam bir sürtünme gerçekleşmektedir. Sürtünme mısır bitkisinin biçilmesi esnasında gerçekleşmektedir. Yüzeyi kaplanarak sertleştirilen kanatçıkta aşınma daha az olacağından dolayı bıçağın da biçmenin ve sürtünmenin etkisiyle kendi keskinliğini sürekli koruyacağı öngörülmektedir.

Bu tez kapsamında alevle toz püskürtme yönteminin seçilmesinin nedenleri şunlardır;

- Diğer yöntemlere nazaran daha ucuz olması,
- Toz karışımlarının ayarlanarak istenilen alaşımlarda toz elde edilebilmesi,
- Kaplama kalınlığının istenildiği gibi elde edilebilmesi,
- Uygulama kolaylığıdır.

## **1.7 Kaplanacak Yüzeylerin Hazırlanması**

Termal püskürtme yapılacak parçaların oluşturacağı tabakanın esas metal üzerinde iyi bir şekilde tutunabilmesi için esas metalin yüzeyinin uygun bir şekilde hazırlanması gerekir. Kaplama kalınlığı arttıkça ısının etkisi ile oluşan büzülme gerilmeleri, kaplamanın yüzeyde tutunma mukavemetini azaltır ve çatlama sonucunda tabakanın kalkması durumu ortaya çıkar (Prokap, 2014).

Yüzeylerin termal püskürtmeye hazırlanmasından sonra; yağ, su veya diğer kirletici maddelerle temas etmemesi gerekir. Hazırlanan yüzeylere, en fazla 4 saat içerisinde püskürtme yapılması kaplama etkinliği açısından önemlidir (Prokap, 2014).

Kaplanacak parça yüzeyi, kaplama işleminden önce yağ, boya, oksit ve benzeri yabancı maddelerden arındırılmalıdır. Bu işlem kesici takımlarla işleme, temiz bir tel fırça ile fırçalama, kumlama ve taşlama gibi mekanik yüzey temizleme yöntemi ile gerçekleştirilirken, kaplama yapılacak yüzeydeki keskin kenar ve köşeler ısı birikimini önlemek amacıyla mutlaka yuvarlatılmalıdır. Kaplanacak yüzeylerin hazırlanmasında kum püskürtme veya mekanik olarak hazırlama yöntemleri uygulanabilmektedir (Prokap, 2014).

### **1.7.1 Kum püskürterek yüzey hazırlama**

Kum püskürtmede kumlama malzemesi olarak genellikle silis kumu kullanılır. Bunun yanında bazalt, demir grit<sup>6</sup>, çelik grit gibi kumlar da kullanılabilir. Büyük

---

<sup>6</sup> Grit: İri taneli kum, çakıl taşı, demiroksit vb.

yüzeylerin hazırlanmasında, tane büyüklüğü 0,5-2 mm arasında olan silis kumu kullanılır ve bu kum basınçlı hava ile kaplama yapılacak yüzeylere püskürtülür. İyi bir yüzey hazırlığı için kum taneleri keskin köşeli olmalı ve kaplama yapılacak yüzeye 60°'lik açı ile püskürtülmelidir.

### **1.7.2 Mekanik olarak yüzey hazırlama**

Mekanik olarak yüzeylerin hazırlanmasında amaç püskürtülecek parçacıkların yüzeyde kolayca tutunmalarını sağlayacak çeşitli şekillerin oluşturulmasıdır (Prokap, 2014). Yüzey şekilleri temel olarak;

- Testere dişi vida açma,
- Kırılmaçkuyruğu oluk açma,
- Çeşitli görünüşlerde yarıklar açma şeklinde gruplandırılabilir.

### **1.8 Aşınma Mekanizması**

Birbirine temas eden malzemelerinin, birbirlerine sürtünmesi neticesinde meydana gelen aşınma, çeşitli makina ve teçhizatın kullanımı sırasında çok büyük ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Aşınma, bir yüzeyden diğer bir yüzeye malzeme transferi veya aşınma parçalarının oluşumu neticesinde ortaya çıkan malzeme kaybıdır. Aşınma kullanılan malzeme yüzeylerinden mekanik sebeplerle ufak parçaların ayrılması suretiyle meydana gelen değişiklik olarak tanımlanmaktadır (Wikipedia, 2015).

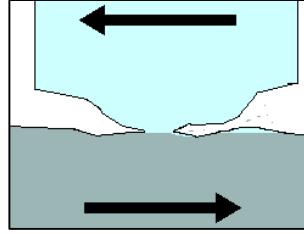
Pek çok aşınma mekanizması vardır. Bunları aşağıdaki ana başlıklar altında açıklamak mümkündür.

- Adhesif aşınma
- Abrasif aşınma
- Korozif aşınma
- Erezyon aşınması



### 1.8.1 Adhesif aşınma

Birbiriyle temasta olan iki cismin gerçek temas yüzeyleri yüzey pürüzlüğü sebebiyle aslında çok küçük olduğundan, gerçek temas yüzeyine normal kuvvet sebebiyle etkiyen basınç oldukça büyük değerler alır. Bu noktadaki gerilmeler çok küçük yük durumlarında dahi akma gerilmesi sınırına erişirler ve akarak plastik deformasyona uğrarlar. Plastik deformasyona uğrayan bu yüzeyler üzerinden cisimler, birbirine mikro kaynaklar ile bağlanırlar. Bu sırada iki cisim arasında devam eden izafi hareket sebebiyle kaynak bağı kopar. Şekil 1.39’da görüldüğü gibi bu kopma sonucu diğer cisme göre yumuşak olan malzemeden imal edilmiş cismin yüzeyinde boşluklar oluşur, diğer yüzeydeyse çıkıntılar meydana gelir ve iki yüzey arasına adhesif parçacıklar dökülür (Wikipedia, 2015).



Şekil 1.39 Adhesif aşınma (Gordon England, 2013)

### 1.8.2 Abrasif aşınma

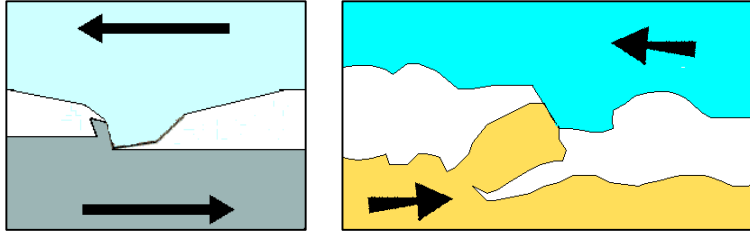
Abrasif aşınma, çizilme aşınması olarak da bilinen, birbirine göre izafi hareket yapan iki cisim temas yüzeyleri arasına ortamdan kaynaklanan yabancı sert parçacıkların girmesiyle ortaya çıkan, aşındırdığı yüzeyde çizikler ve kesikler şeklinde hasara sebebiyet veren bir aşınma türüdür.

Pulluk ve benzeri aletlerde, kırıcılar ve iş makinalarının kazıma bıçakları ve çalışma ağızları gibi makina parçalarında bu tür aşınma çok sık görülür.

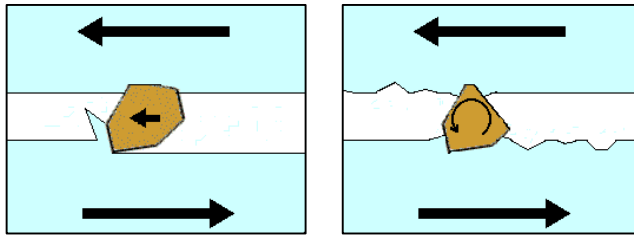
Yabancı katı parçacıklar, nispeten yüzey sertliği daha düşük olan yüzeye gömülürler. Daha sonra bu parçacıklar sert yüzeyden sanki eğelercesine veya zımparalarcasına malzeme kaldırırlar. Sert parçacıklar gömüldükleri yüzeyde de tahribat yaparlar. Bu aşınma zamanla o kadar hızlanır ki kısa sürede makina

elemanları yüzeyinde hareket yönünde malzeme kaybından ötürü büyük çizikler ve oyuklar oluşur (Wikipedia, 2015).

Abrasif aşınma endüstriyel cihazlarda malzeme kayıplarının başlıca sebebidir ve malzeme kaybına göre iki elemanlı abrasif aşınma ve üç elemanlı abrasif aşınma şeklinde sınıflandırılabilir (Şekil 1.40 ve Şekil 1.41).



Şekil 1.40 İki elemanlı abrasif aşınma (Gordon England, 2013)



Şekil 1.41 Üç elemanlı abrasif aşınma (Gordon England, 2013)

### 1.8.3 Koroziif aşınma

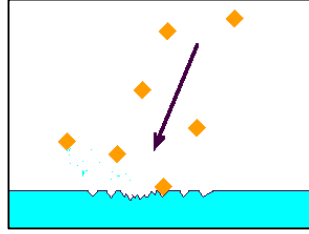
Korozyon, metal veya metal alaşımlarının oksitlenme veya diğer kimyasal etkilerle aşınma durumudur. Demirin paslanması, alüminyumun oksitlenmesi korozyona örnek olarak verilebilir.

Metal ve alaşımların kararlı halleri olan bileşik haline dönme eğilimleri yüksektir. Bunun sonucu olarak metaller içinde buldukları ortamın elemanları ile tepkimeye girerek, önce iyonik hale ve oradan da ortamdaki başka elementlerle birleşerek bileşik haline dönmeye çalışırlar; yani kimyasal değişime uğrarlar ve bozulurlar. Sonuçta metal veya alaşımın fiziksel, kimyasal, mekanik veya elektriksel özelliği istenmeyen değişikliklere (zarara) uğrar.

Korozyon, metalik malzemelerin içinde buldukları ortamla reaksiyona girmeleri sonucu, dışardan enerji vermeye gerek olmadan, doğal olarak meydana gelen olaydır (Wikipedia, 2015).

#### 1.8.4 Erozyon aşınması

Erozyon aşınması, akıcı maddelerin meydana getirdiği aşınmadır. Sıvılar, gazlar akış sırasında parçanın sınır yüzeylerinde patlama veya çarpışma etkisi yaparak yüzeyden parçacıklar koparırlar ve girdaplar etkisiyle dalgalı yüzey meydana getirirler (Şekil 1.42). Böylece aşınma daha da hızlanır (Wikipedia, 2015).



Şekil 1.42 Erozyon aşınması (Gordon England, 2013)

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Termal püskürtme yöntemi İsviçreli Max Ulrich Scoop tarafından 1910 yılında keşfedildiği tarihten günümüze kadar kullanımını artarak uygulanan bir yöntemdir. Termal püskürtme yöntemi eski bir yöntem olmasına rağmen tarım makinaları için uygulama olanakları son zamanlarda araştırılmaya ve çalışılmaya başlanmıştır. Ülkemizde faaliyet gösteren tarım makinaları firmaları için yeni bir uygulama olduğu söylenebilir. John Deere, Kemper gibi uluslararası firmaların ürünleri incelendiğinde tarım makinaları alanında özellikle de silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçaklarının kaplanması Ar-Ge çalışmalarının yapıldığı görülmektedir. Bununla birlikte termal püskürtme yönteminin silajlık mısır hasat makinasının kıyıcı bıçaklarının kaplanması konusunda son yıllarda yapılan özel sektör uygulamaları olmasına karşın yeni bir yöntem olması nedeniyle bilimsel bir çalışma bulunmamaktadır. Termal püskürtme yöntemleri içinde alevle toz püskürtme, gerek maliyet gerekse uygulama kolaylığı açısından yerli imalatçılar için uygulanabilir bir yöntem olarak görülmektedir. Ancak bu yöntemde etkin bir kaplama için uygun kaplama tozunun kullanılması gerekir. WC (Tungsten Karbür) çelik malzemelerin kaplanmasında kolay ve sorunsuz bir şekilde uygulanabilmektedir. Bu nedenle silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçaklarının ıslah çeliği veya sade karbonlu çelikten üretiliyor olması bu çeşit tozları ön plana çıkarmaktadır.

Silajlık mısır hasat makinaları ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır ve hayvan beslenmesinde önemli yer tutan silajın elde edilmesinde önemli bir girdi durumundadır. Ülkemizde silaj üretimine ve hayvancılığa sağladığı katma değer farklı disiplinler dâhilinde çok sayıda araştırmacı tarafından ele alınmış ve çeşitli çalışmalarda değerlendirilmiştir. Bu konuda yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Güner ve Kafadar (1998), araştırmalarında diskli ve tamburlu tip iki adet silaj makinası ele almışlardır. Bu iki silaj makinasını; güç, alan-ürün enerji ve yakıt tüketimi ile alan-ürün iş başarısı ve kıyım kalitesi bakımından karşılaştırmışlardır. Araştırmada silaj materyali olarak mısır bitkisi incelenmiştir. Diskli tip silaj makinasında güç ve yakıt tüketiminin tamburlu tipe göre daha fazla olduğunu saptamışlardır. Diskli tip kıyıcı düzene sahip silaj makinasının materyali daha

uzun kıydığını ve alan-ürün enerji tüketiminin daha fazla olduğunu vurgulamışlardır. Tamburlu silaj makinasının iki sıralı olması nedeniyle alan ve ürün iş başarısı bakımından diskli silaj makinasına oranla daha büyük olduğunu bildirmişlerdir.

Yaylak ve Alçiçek (2003), mısır silajının, modern hayvancılık işletmelerinde besi danalarının, kurudaki ve laktasyondaki<sup>7</sup> ineklerin yemlenmesinde yoğun bir şekilde kullanıldığını, mısır silajı kullanılarak yemleme stratejisinin hayvanların yaşına ve verim düzeyine bağlı olarak değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, mısır silajının söz konusu hayvanların besin madde gereksinimlerini yeterli düzeyde karşılamada kullanıldığını, hayvanlara aynı zamanda da protein, mineral ve bazen de enerji bakımından takviye edilmekte olduğunu söylemektedirler. Yüksek dane içeriğinden dolayı besi sığırlarına verilen mısır silajının yemleme stratejisinin diğer kaba yemlerden ayrıcalık gösterdiğini vurgulamaktadırlar. Bu nedenle, mısır silajının besi sığırı yemleme programlarında yeterli düzeyde enerji sağlanması için en mantıklı alternatif yem ve mısır silajı içeren rasyonların genellikle 1000-1200 g günlük canlı ağırlık artışı sağlayacak şekilde yeterli enerji ile formüle edilmekte olduğunu belirtmektedirler. Böylece, tipik bir besi sığırı rasyonu % 70-75 mısır silajı, % 15-20 kuru ot veya saman ve % 5-10 protein ya da enerji kaynağı katkısı içerdiğini vurgulamaktadırlar.

Bilgen vd., (2005), süt hayvancılığında diğer kaba yem ürünlerinde olduğu gibi nitelikli silo yemi kullanımı konusunda da duyarlı olunması gerektiğini ve silo yemi üretiminin kolay ve ucuza sağlanabilen bir kaba yem olduğunu vurgulamışlardır.

Evrenosoğlu ve Yalçın (2006), mısır silajı hasadında kullanılan bazı makina setlerinin ve silajlık mısır hasat mekanizasyonu sistemlerinin işletmecilik yönünden irdelenmesi adına bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma, Ege Bölgesinde yoğun şekilde silajlık mısır üretilen ve mısır silajı yapılan Küçük Menderes Havzasında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada buğdaygillerden sonra ikinci ürün olarak yetiştirilen mısır bitkisinin hasadında kullanılabilecek mekanizasyon

---

<sup>7</sup> Laktasyon: Doğum sonrası emzirme dönemi.

sistemleri incelenmiş ve bu çalışmanın sonunda yaygın olarak tek sıra silajlık mısır hasat makinalarının kullanıldığını belirlemiştirler. Özellikle üretim alanlarının küçük, parçalı ve aynı zamanda parsellerin düzgün olmamasının iki sıralı ve dört sıralı makinaların kullanımını kısıtladığını vurgulamışlardır. Buna ek olarak iki sıralı ve dört sıralı makinaların yüksek kapasitelerinden dolayı işlemi kısa sürede bitirdiğini ve en verimli çalışma şekli olarak uygun gördükleri traktör-makina ikilisini aynı hızla takip edecek olan traktör-tarım arabası konumlu makina setini en uygun yöntem olduğunu saptamışlardır.

Yolcu ve Tan (2008), yem bitkileri yetiştiriciliğinin kaba yem ihtiyacını karşılamada, önemli bir role sahip olduğunu bildirmektedirler. Çayır ve meralarımızın aşırı ve erken otlatma, geç otlatma ve bakım işlerinin yapılamaması gibi nedenlerle önemli ölçüde bu alanların tahrip olduğunu vurgulamışlardır. Son zamanlarda entansif<sup>8</sup> ve yarı entansif tarıma daha fazla uyum gösteren melez ve kültür hayvanlarımızın sayısında yerli ırklara kıyasla önemli artışlar meydana geldiğini belirtmektedirler. Araştırmacılar, gittikçe entansif tarıma daha yatkın hale gelen mevcut hayvan varlığımızın kaba yem ihtiyacını karşılamak için yem bitkileri ekim alanlarının ve verimlerinin arttırılmasının zorunluluk haline geldiğini vurgulamaktadırlar.

Şahin ve Zaman (2010), ülkemizde hayvancılığın gelişmesinin, yüksek verimli kültür ırkı hayvanların yetiştirilmesiyle birlikte kaliteli kaba yeşil yem kullanımına da bağlı olduğunu, kış mevsiminde et ve süt verimini arttırmak için diğer mevsimlerde bol olarak bulunan yeşil yem bitkilerinin silaj yapılarak saklanması ve bu silajın kış mevsiminde hayvanlara yedirilmesinin verimi daha da artıracığını ifade etmektedirler. Araştırmacılar, silaj üretiminde birçok bitki kullanılabildiğini ancak mısır, sorgum ve yoncanın bu amaçla en çok kullanılan bitki olduğunu belirtmişlerdir. Ancak bunlar içerisinde en önemli silaj bitkisinin mısır olduğunu vurgulamışlardır. Silajın, besin maddelerindeki değer kaybını en aza indiren su içeriği yüksek kaba yem özelliği ile başta Avrupa ve Amerika olmak üzere hayvancılığın gelişmiş ülkelerde yoğun olarak

---

<sup>8</sup> Entansif Tarım (Yoğun Tarım): Tarımsal alanda görece olarak daha çok sermaye ve işgücü kullanılarak gerçekleştirilen ve bir yılda birden çok aynı ya da farklı ürünün alındığı tarımsal etkinlik.

kullanılmakta olduğunun, ülkemizde ise gerek alışkanlıklar gerekse bilgi eksikliği yüzünden silaja gereken önem verilmediğinin altını çizmektedirler.

Keleş ve Çıbık (2014), mısır silajının süt sığırları rasyonlarında kullanılan başlıca kaba bir yem olduğunu ve bu nedenle mısır silajının kuru madde (KM) veriminin ( $\text{tha}^{-1}$ ) ve besleme değerini etkileyecek faktörlerin işletmelerin kârlılıklarını etkilemekte olduğunu söylemektedirler. Araştırmacılar mısır silajının besleme değeri üzerine hasat zamanı, çeşit, mekanizasyon ve silaj fermantasyonunun etkilerini incelenmişler ve hedeflenen bir mısır silajında bulunması gereken bazı özellikleri belirlemişlerdir. Silajlık mısır hibrit çeşitlerinde KM ve besin değerinin optimizasyonunun danedeki süt çizgisinin 1/2-2/3 olduğu dönemde gerçekleşirken, silolama öncesi uygun KM düzeyinin % 32-36 arasında olması gerektiğini vurgulamışlardır. Silajlık mısır hibrit çeşitleri benzer danedeki süt çizgisinde silaj fermantasyonu üzerine etki edebilecek düzeyde farklı KM içerdiklerini ve bu nedenle silolama amacıyla hasadın danedeki süt çizgisi ile beraber bitkinin KM içeriğine göre yapılması gerektiğini söylemişlerdir. Hasat esnasında koçana uygulanan mekanik işlem ve parça uzunluğunun süt ineklerinin performansına sürekli ve belirgin etkileri bulunmamakla beraber artan KM düzeyi ve parçalama uzunluğuna bağlı olarak koçana uygulanacak mekanik işlemenin öneminin de arttığını belirtmişlerdir. Mısır silajının % 31-35 arasında KM içermesi gerektiğini, enerji değerinin  $>2,27$  ME (Metabolik enerji, Mcal/kg) KM'den daha fazla olması ve 3,8-4,1 pH değerine sahip olması gerektiğini değerlendirmişlerdir.

Tarımsal amaçlı makinalarda işi yapan kısım aktif elemanlardır. Aktif organlar farklı işlerde ürünle veya ortamla temas halinde olduklarından çeşitli şekilde aşınırlar. Aktif elemanlarda oluşan aşınmayı tamamen engellemek günümüz teknolojisiyle mümkün değildir ancak miktarı azaltılabilir. Bu amaçla aşınma yüzeylerinin kaplanması etkin bir çözümdür ve uygun kaplama malzemesi kullanıldığında fayda maliyet açısından önemli kazanımlar sağlamaktadır. Tarım makinalarında aktif elemanların kaplanmasında kullanılacak WC aşınma direnci bakımından büyük öneme sahiptir. Çalışmaya konu olan silajlık mısır hasat makinalarında mısır bitkisinin kıyılması sırasında bıçak üzerinde meydana getirdiği aşınmanın miktarını azaltmak amacıyla tercih edilecek malzemelerin

başında WC gelmektedir. Knapp and Nitta (1997), termal püskürtme ile WC kaplamasının aşınma direncini belirlemek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada bağlayıcı faz olarak Ni ve Co kullanmışlardır. Kaplama tabancasıyla bir silindirin üzerini 0,15 mm kalınlığında kaplamışlardır. Deneylelerinde aşındırıcı olarak su bazlı ZrO<sub>2</sub> parçacıkları kullanmışlardır. Araştırmacılar WC kaplamanın aşınma dayanımında bağlayıcıların önemli bir rol oynadığını tespit etmiştir. Çalışmalarında Ni esaslı bağlayıcının kobalt esaslı bağlayıcıya nazaran daha iyi bir aşınma direncine sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

WC kaplama termal püskürtme şeklinde olabileceği gibi aynı zamanda plazma püskürtme şeklinde de yapılabilir. Chen and Hutchings (1998), plazma püskürtme WC-Co kaplamanın abrasif aşınma direncini araştırmışlardır. Çalışmalarında hava (VPS) ve düşük basınç (APS) altında olmak üzere iki yöntem kullanmışlardır. Kullandıkları WC tozları ağırlıkça %9, %12 ve %17 Co içermektedir. Düşük karbonlu çelik numunelerin aşınma testi 20 N-120 N arası yüklerde gerçekleştirilmektedir. Çalışmalarında 29, 40 ve 117,6 N arası yüklerde, 100-150 µm aşındırıcı silisyum kum kullanarak, düşük ve yüksek yüklerde aşınma testini gerçekleştirmişlerdir. Kaplamalarda bulunan mikroyapıları ve fazları SEM<sub>1</sub> ve X-Işını difraktometrisi kullanarak incelemişlerdir. Her durumda, VPS kaplamaların aşınma direncinin APS kaplamalara göre daha fazla olduğunu, tüm kaplamaların, düşük yüklemde aşınmaya karşı mükemmel direnç gösterdiğini ancak yüksek yüklemde performansın düşüş gösterdiğini belirlemişlerdir. Bu davranışın yüksek yüklemli aşınmada karbür fazının yoğun olarak kırılmasıyla ilişkili olabileceğini vurgulamışlardır.

Stewart et al. (1998), HVOF yöntemiyle kaplanmış WC-Co kaplama malzemesinin abrasif aşınma davranışına ısıl işlemin etkisini incelemişlerdir. Çalışmada çelik matris üzerine HVOF yöntemini kullanarak 200 µm kalınlığında, ağırlıkça % 17 Co içeren WC tozlarını kaplamışlardır. Kaplamanın mikroyapısı incelendiğinde WC, W<sub>2</sub>C ve amorf bağlayıcı fazı içerdiğini tespit etmişlerdir. Bazı karbür partiküllerin püskürtme esnasında sıvı metal bağlayıcı içerisinde dekarbürize olduğunu ve çözüldüğünü bulmuşlardır. Kaplamaları, 250 C°- 1100 C° sıcaklıkları arasında gerçekleştirmişlerdir. Kaplama içerisindeki önemli faz değişikliğinin 600 C° sıcaklıktan sonra gerçekleştiğini ve ısıl işlemin



aşınma davranışını geliştirdiğini belirtmişlerdir. 250 C° gibi düşük sıcaklıklarda bile aşınma direncinde % 35 iyileşme tespit etmişlerdir.

Stewart et al., (1999), HVOF yöntemiyle püskürtülmüş geleneksel ve nanokompozit WC-Co kaplamanın aşınma davranışı adlı çalışmalarında kullanılan malzemenin öneminden bahsetmişlerdir. Son çalışmalarında metalli seramiklerin (sermet) geleneksel muadillerine göre daha iyi olduklarını ve Co bağlayıcılı WC kaplamaların daha iyi aşınma direnci gösterdiklerini vurgulamışlardır.

Nascimento et al., (2001), çalışmalarında AISI 4340 yüksek mukavemetli çelik üzerine yapılan sert krom galvanik kaplama ve HVOF WC termal spreycaplama karşılaştırması yapmışlardır. Aşınma deneyi ve 72 saat maruz bırakılan tuz püskürtme testi ile WC termal spreycaplamanın daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

Lau et al., (2000), çim kesme bıçağının aşınma mekanizması ve özellikleri adlı çalışmalarında AISI 1090 yüksek karbon çeliği kullanmışlar ve denemelerinde aşınmanın büyük öneme sahip olduğunu vurgulamışlardır. Aşınma mekanizmasında bıçak kalınlığının ve şeklinin büyük öneme sahip olduğunu belirtmektedirler.

Jianhong and Schoenung (2002), nano yapılı WC-Co kaplamalar üzerine yaptıkları araştırmada nano yapılı kaplamaların iyi mekanik özelliklerinden dolayı birçok alanda kullanıldığını ve özellikle nano yapılı WC-Co kaplamaların yüksek aşınma direnclerine sahip olmalarından dolayı endüstriyel uygulamalarda kullanıldığını söylemektedirler.

Guilemany et al., (2002), termal püskürtme HVOF kaplamaların daha yüksek aşınma ve korozyon direnci özelliklerinden dolayı giderek daha yaygın bir biçimde endüstriyel uygulamalarda kullanıldığını vurgulamaktadır.

Aw et al., (2008), WC esaslı seramik kaplamaların korozyon direnci üzerine yaptığı çalışmalarında Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt (HVOF) püskürtme yöntemini kullanmışlardır. Çalışmalarını korozyon direnci bakımından değerlendirdiklerinde

Ni esaslı bağlayıcıların, Co esaslı bağlayıcılara göre daha iyi korozyon direncine sahip olduklarını bulmuşlardır.

Cho et al., (2008), mikron ve nano WC-Co tozların HVOF yöntemiyle kaplanması adlı çalışmalarında söz konusu tozların kesme makinası bıçaklarının aşınma dayanımını artırmak amacıyla kullanılabilceğini vurgulamaktadırlar.

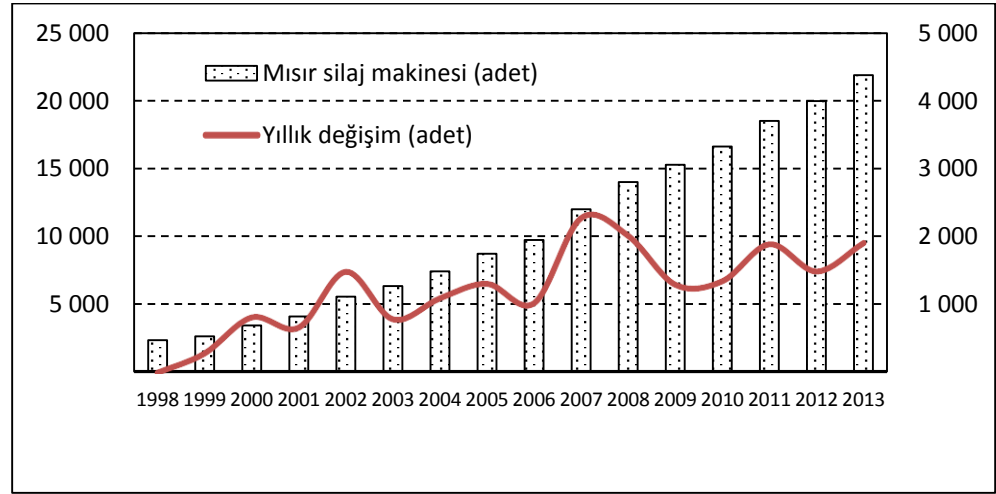
Bilgin ve Samur (2009), termal püskürtme yönteminin aşınma direncini iyileştirmenin yanında korozyon direncini artırma ve dekoratif özellik kazandırma için de kullanılabilceğini vurgulamaktadır.

Ang et al., (2011) WC-Co kaplamalarda WC parçacık boyutunun biriktirme etkileri üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında WC parçacık boyutunun değişiminin önemli ölçüde kaplama işlemi esnasında biriktirmeyi (kaplamayı) etkilediğini belirtmişlerdir.

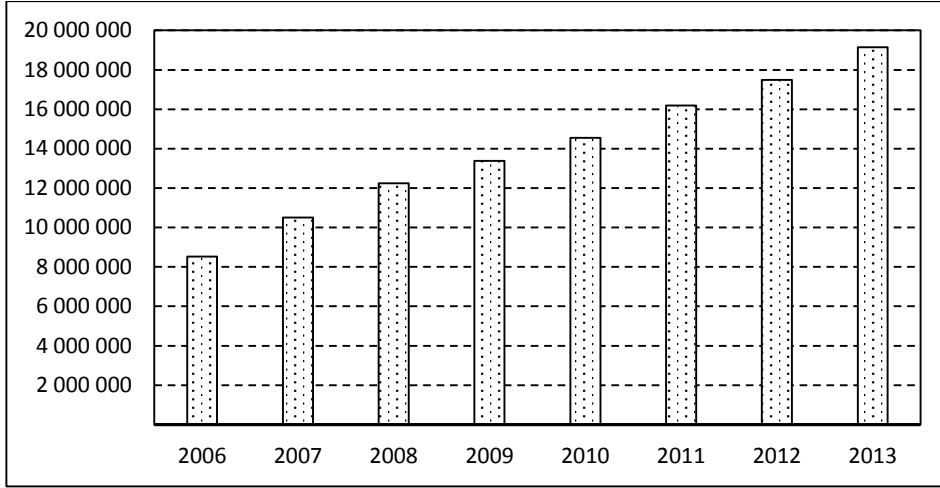
Güney vd., (2014), çalışmalarında fren disklerinin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla alev püskürtme ve ergitme kaplama yöntemiyle disk yüzeyi kaplanarak mikro yapı, sertlik ve yüzey pürüzlülüğü deneyleri yapmışlardır. Kaplamalı diskin mekanik özelliklerinin orijinal diske göre üstün özellikler gösterdiğini belirlemişlerdir.

### 3. ÇALIŞMANIN AMACI

Ülkemizdeki silajlık mısır hasat makina sayısı yaklaşık olarak 22.000'dir (TÜİK, 2014). Silajlık mısır hasat makinalarının yıllara göre sayıları ve yıllık artış değerleri Şekil 3.1'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi makina sayısı geçen 15 yıl içinde 10 kat artmıştır. Silajlık mısır üretimi genel bir kabulle 19.000.000 t olarak gerçekleşmiştir (Şekil 3.2). 2013 yılı dikkate alındığında 22.000 silajlık mısır hasat makinası ile 19.000.000 ton üretim yapılmıştır. Bu makinaların tamamının kullanıldığı, hepsinin tek sıralı ve kapasitelerinin de 35 th<sup>-1</sup> olduğu kabul edilirse (ortalama çalışma hızı 10 kmh<sup>-1</sup>) teorik olarak sezon boyunca bu makinaların çalışma gün sayısı en az 5 gün şeklinde hesaplanabilir. Ancak bu hesaplamada çok genel kabuller yapılmış olup, sonuç sadece fikir vermesi açısından kullanılabilir ve bu çalışma süresinin gerçek koşullarda daha fazla olacağını belirtmek yanlış olmayacaktır.

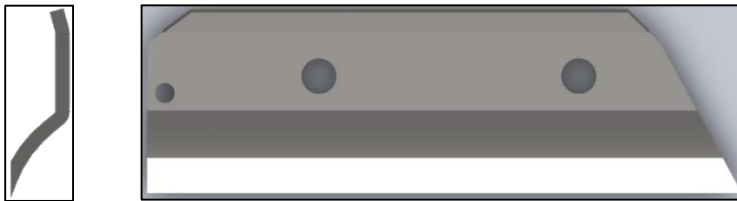


Şekil 3.1 Silajlık mısır hasat makinalarının yıllara göre sayıları ve yıllık artış değerleri (TÜİK, 2014).



Şekil 3.2 Yıllara göre silajlık mısır üretimi (t).

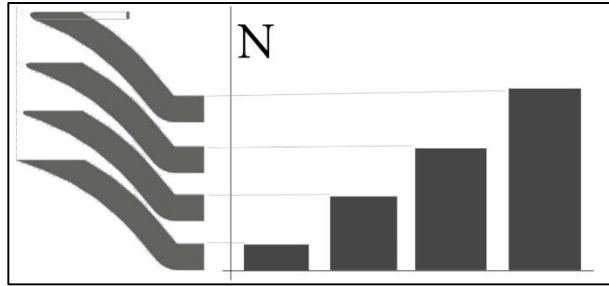
Silajlık mısır hasat makinasının aktif organı kıyıcı bıçaklardır (Şekil 3.3) ve tek sıra bir makinada ortalama 12 adet bıçak bulunur. Mısır bitkisi, makina ilerleme hızına ve yedirici sistemin (biçme ünitesi) hareketine bağlı olarak makina içine doğru itilir. Bu işlem çalışma sırasında kesiksiz olarak gerçekleşir. Makina içine giren bitki dönerek çalışan kıyıcı bıçaklarla karşılaşır ve kıyılarak makina bacasından dışarıya iletilir. Silajlık mısır hasat makinasında hasat edilen ürünün istenilen boyda ve özellikte olması, kıyıcı bıçakların keskinliğine ve bu keskinliği ne kadar sürdürdüğüne bağlıdır. Kıyıcı bıçaklar, kesme özelliklerini uzun süre koruyabilmeleri için çelikten yapılıp, genel veya indüksiyonla bölgesel olarak sertleştirilmektedir. Bıçaklar keskinliklerini, ürün çeşidine ve nemine, operatörün becerisine, kullanılan bıçak malzemesine, bıçağa yapılan ısıl işleme vb. parametrelere bağlı olarak belli çalışma saati sonunda kaybettiklerinden makinaya bütünleşmiş bir bıçak bileme sistemi ile bilenmektedir. Böylece istenilen keskinlik tekrar verilmekte ve istenilen boyda ürün elde edilmesi sağlanabilmektedir. Bileme işlemi tüm bıçaklar üzerinde aynı anda yapılmakta ve bıçakların etkin kanat uzunluğu yitene kadar bu işlem periyodik olarak devam etmektedir.



Şekil 3.3 Silajlık mısır hasat makinalarında kullanılan kıyıcı bıçağı örneği.

Keskin kenarın keskinliğini yitirerek zaman içinde körleşmesi, ürünün kesilmesi için gerekli kesme kuvveti gereksinimini de göreceli olarak arttırmaktadır (Şekil 3.4). Kesme kuvvetinin artması ise makina güç ihtiyacını yükseltmekte, yakıt tüketimini artırmakta ve makinanın iş kapasitesi düşmektedir. Bu şekilde körleşen bıçaklar bileme sistemiyle bilenerek ilk keskinliğine getirilmekte ancak çalışarak aşınması gereken bıçak kenarı yapay olarak aşındırılmakta (Şekil 3.4), malzeme kaybı hızlanmakta dolayısıyla da bıçak çalışma ömrü kısalmaktadır. Bu şekilde yapay olarak aşınan malzeme miktarı genel bir yaklaşımla;

22000 makina x 12 bıçak x bıçakta yapay aşınan malzeme hacmi (25 cm x 1 cm x 0,1 cm) x 10 kez bileme x 7,8 gcm<sup>-3</sup> = 51,48 x 10<sup>6</sup> g (≈51,5 tyl<sup>-1</sup>) olarak hesaplanabilir. Ayrıca her bileme sonrasında bıçağın etkin kullanma süresi de yapay olarak azaltılmış olmaktadır.



Şekil 3.4 Keskin kenarın keskinliğini yitirerek zaman içinde körleşmesi ve kesme kuvvetinin artışı.

Bıçak keskin kenarının keskinliğini yitirerek körleşmesini en aza indirmek ya da güdümlü bir aşınma mekanizması oluşturarak bıçakların daha uzun süre ve bileme yapılmaksızın kullanılmasını sağlamak, makina verimliliği ve etkinliği için önemlidir. Bunu yapabilmenin en bilinen yöntemi diğer sanayi sektörlerinde kullanılan ancak tarım sektöründe deneme aşamasından öteye gidemeyen ve bilimsel çalışması yapılmayan yüzey kaplama uygulamasıdır. Ülkemizde yaygın olarak kullanılmakta olan tek sıra silajlık mısır hasat makinası ve bu makinada kullanılan kıyma bıçaklarının yüzeyi veya yüzeyinin bir bölümünün termal püskürtme yöntemi kullanılarak kaplanmasıyla silajlık mısır hasat makinalarının daha etkin ve verimli kullanılabileceği öngörülmektedir.

## 4. MATERYAL

Bu çalışmada tek sıra silajlık mısır hasat makinasında kullanılan kıyma bıçaklarının kesici kenarları termal püskürtme yöntemi kullanılarak özel toz karışımlarla kaplanmış ve bıçakların performansı gerçek alanda yapılan hasat denemeleriyle belirlenmeye çalışılmıştır.

Alan denemeleri önce güç ihtiyacının ölçülmesine, daha sonrada yakıt tüketiminin belirlenmesine yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. Güç ihtiyacını ölçmeye yönelik çalışmada kuyruk miline bağlı torkmetre kullanılmıştır. Elde edilen moment-devir değerlerinden güç tüketimi belirlenmiştir. Yakıt tüketimini belirlemeye yönelik çalışmada ise traktör yakıt borularına bağlı olan yakıt ölçüm sistemi ile silajlık mısır hasat makinasının farklı bıçaklarla çalışması sırasında yakıt tüketimi değerlerindeki değişim araştırılmıştır.

### 4.1 Hasadı Yapılan İkinci Ürün Mısır

Hasat işlemi, KWS 6565 hibrit tohumları kullanılarak ekilen ikinci ürün silajlık mısır üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.1). Bu tohumlar hem ana ürün hem de ikinci ürün için uygun hibrit tohumlardır.



Şekil 4.1 Ekimlerde kullanılan mısır tohumu.

Ekim, 18 cm sıra üzeri ve 70 cm sıra arası olacak şekilde yapılmıştır (Şekil 4.2). İzmir çevre ilçelerinde silajlık mısır bitkisi ortalama 90 gün içerisinde olgunlaşarak hasat edilebilecek seviyeye gelmektedir.



Şekil 4.2 Silajlık ikinci ürün mısır bitkisi.

## 4.2 Deneme Süresi ve Yeri

Hasat sırasında tek sıralı silajlık mısır hasat makinası kullanılmıştır. Güç ihtiyacını ölçmeye yönelik olan tarla denemeleri, 2011 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerin ardından bir sonraki sene yakıt tüketimini belirlemeye yönelik denemeler planlanmasına rağmen öngörülen hasat zamanında ülke genelinde oluşan hava muhalefeti nedeniyle hasat gerçekleştirilememiştir. 2012 ve 2013 yılında da aynı etkenlerden dolayı belirlenen çalışma alanlarına girilememesi nedeniyle yakıt ölçüm denemeleri Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Araştırma Uygulama ve Üretim Çiftliğinde yapılacak şekilde planlanmış ve yakıt tüketimini belirlemeye yönelik çalışmalar 2014 yılında gerçekleştirilmiştir.

Güç ihtiyacını ölçmeye yönelik olan tarla denemeleri, 2011 yılında İzmir'in Dikili ilçesine bağlı Kabakum köyünde bulunan Evrenosoğlu çiftliğinde gerçekleştirilmiştir. Evrenosoğlu çiftliği  $39^{\circ} 07'$  kuzey enlemleri ile  $26^{\circ} 52'$  doğu boylamları arasında yer alıp deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 10 m'dir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Evrenosoğlu çiftliği deneme alanı.

Yakıt tüketiminin belirlenmesine yönelik tarla denemeleri, 2014 yılında Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Araştırma Uygulama ve Üretim Çiftliğinde gerçekleştirilmiştir. Çiftlik  $38^{\circ} 34'$  kuzey enlemleri ile  $27^{\circ} 01'$  doğu boylamları arasında yer alıp deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 4 m dir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Ziraat Fakültesi Menemen Araştırma Uygulama ve Üretim Çiftliği deneme alanı.

### 4.3 Denemelerde Kullanılan Traktör

Güç ihtiyacını ölçmeye yönelik olan denemelerde Landini Powerfarm 75 model traktör kullanılmıştır (Şekil 4.5). Kullanılan traktörün kuyruk mili ile



makina mafsallı mili arasına torkmetre bağlanmış, hasat sırasında tork ve devir ölçümleri yapılarak veriler alınmıştır.



Şekil 4.5 Çalışmada kullanılan Landini Powerfarm 75 model traktör.

Güç tüketimi değerlerinin belirlenmesinde kullanılan Landini Powerfarm 75 model traktörünün teknik özellikleri Ek 2’de verilmiştir. Deneme traktörünün gücü 67 BG ve maksimum torku 272,6 Nm’dir. Seçilen traktörün teknik özellikleri itibarıyla mısır hasat işlemi için uygun olup tek sıra silajlık mısır hasat makinasını çalıştırabilecek özelliktedir.

Yakıt tüketimini belirlemeye yönelik denemelerde ise Türk Fiat 80-66 DT model traktör kullanılmıştır (Şekil 4.6). Deneme traktörünün gücü 80 BG ve maksimum torku 270 Nm’dir. Traktör yakıt hattına bağlanan yakıt ölçüm sistemi kullanılarak çalıştırılan makinanın yakıt tüketimi ölçülmüştür.



Şekil 4.6 Çalışmada kullanılan Türk Fiat 80-66 DT model traktör.

Yakıt tüketiminin belirlenmesinde kullanılan Türk Fiat 80-66 model traktörünün teknik özellikleri Ek 3’de verilmiştir.

#### 4.4 Denemelerde Kullanılan Tek Sıra Silajlık Mısır Hasat Makinası

Hem güç hem de yakıt tüketiminin belirlenmesinde tek sıra silajlık mısır hasat makinası kullanılmıştır (Şekil 4.7).

Denemelerde kullanılan tek sıra silajlık mısır hasat makinası traktöre üç nokta asma sistemi ile bağlanmakta ve hareketini traktör kuyruk milinden almaktadır. Kuyruk mili devri  $540 \text{ min}^{-1}$ ’dir. Makinanın üzerinde hidrolik güçle hareketlendirilen elemanlar ise gücünü traktör hidrolik sisteminden almaktadır. Makinanın aşırı zorlanmalara ve yüklenmelere karşı emniyet sistemi vardır. Makina üzerinde yerleşik bıçak bileme sistemi, baca döndürme sistemi, baca kapağı yönlendirme sistemi bulunmaktadır (Özbudak, 2014). Denemelerde kullanılan makinaya ait bazı teknik özellikler Çizelge 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.7 Hidrolik kumandalı silajlık mısır hasat makinası.

Çizelge 4.1 Silajlık mısır hasat makinasının teknik özellikleri.

Uzunluk, mm	2500
Genişlik, mm	2300
Yükseklik, mm	3500
Bıçme Ünitesi Bıçağı, adet	2
Kıyıcı Bıçaklar, adet	12
Traktör Kuyruk Mili Devri, min <sup>-1</sup>	Minimum 540
Kıyılmış Materyal Boyu, mm	9-10
Traktöre Bağlama	3 nokta askı sistemi
Çalışma Hızı, km h <sup>-1</sup>	10
Çalışma Kapasitesi, t h <sup>-1</sup>	35
Lastik Ölçüleri	500 x 8
Lastik Şişirme Basıncı, psi	29

Silajlık mısır hasat makinasında en önemli eleman kıyıcı bıçaklardır. Kıyıcı bıçakların her koşulda keskin olması gerekir. Bu nedenle alanda kullanılan makinanın üzerinde bıçakların bilenmesini sağlayacak bileme sistemi bulunmaktadır. Kıyıcı bıçak keskinliği azaldıkça güç gereksinimi artmakta ve buna bağlı olarak yakıt tüketimi ve iş zamanı da artmaktadır. Bu çalışmanın en temel amacı kıyıcı bıçakların keskinliğini bileme aparatı kullanmadan devam ettirmek ve bunu sağlamak için bıçak yüzeyini kaplamak, böylece kaplanmış bıçak kullanımı ile kendi kendini bileyen yani keskinliğini sürekli koruyan kıyıcı bıçaklar üretmektir.

Tek sıra silajlık mısır hasat makinasının bıçme ünitesine düşey konumda yataklandırılmış bir disk üzerinde 12 adet kıyıcı bıçak bulunmaktadır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Silajlık mısır hasat makinası içindeki disk üzerine takılmış kıyıcı bıçaklar.

Mısır hasadı sırasında besleme bölgesine giren mısır bitkisi Şekil 4.8'de görülen kıyıcı bıçaklar yardımıyla kesilip kıyılmaktadır. Belirli boyda kıyılan mısır bitkisi, üfleyici kanatçıkların yardımıyla oluşturulan hava akımıyla bacadan taşıma arabasına aktarılır. Ancak bıçakların körelme süresine bağlı olarak sürekli bileme yapıldığından kanatçık uzunluğu azalacağından dolayı hava akımı oluşturma yeteneği de azalacaktır. Bıçakların kanat açıklığının daha uzun süre korunması önemlidir.

#### 4.5 Denemelerde Kullanılan Ölçüm Sistemi

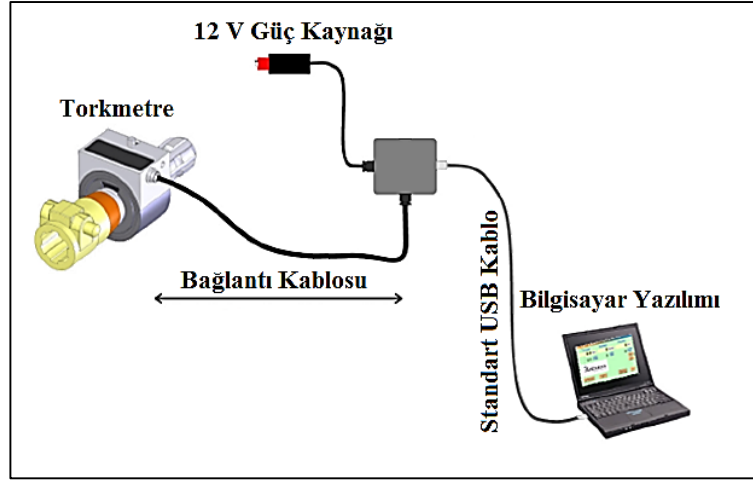
Denemelerde tek sıra silajlık mısır hasat makinası ve bu makinaı çalıştıran bir traktör birlikte hareket etmektedir. Denemelerde verilerin alınmasında kullanılan ölçüm sistemi traktör üzerine sabit olarak yerleştirilmiştir. Ölçüm sistemi birkaç elemanın birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Bu elemanlar sırasıyla aşağıda verilmiştir.

##### 4.5.1 Veri kayıt seti

Alan çalışmalarında Grant, Squirrel Data Logger, 2020/2040 model veri kayıt seti kullanılmıştır.



Şekil 4.9 Veri kayıt seti.



Şekil 4.10 Veri kayıt setinin şematik görünümü.

Veri kayıt seti, traktör akümülatöründen alınan 12V DC gerilimi 220 V AC gerilime dönüştüren 1000 W gücünde bir çevirici, bağlantı modemi, veri kayıt cihazı ve taşıma çantasından oluşmaktadır (Şekil 4.9, Şekil 4.10). Veri kayıt sisteminden gelen veriler bir dizüstü bilgisayara aktarılmaktadır. Veri kayıt sisteminden gelen verilerin anlık okunması ve kaydedilmesi için MS Excel yazılımı kullanılmıştır.

#### 4.5.2 Torkmetre

Termal püskürtme yöntemiyle kaplanan silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçaklarının değişen hasat performansı iki bağımlı değişkene göre değerlendirilmiştir. Bunlarda birincisi güç ihtiyacı diğeri ise yakıt tüketimidir.



Şekil 4.11 Traktör kuyruk mili ile kardan mili arasında bağlı torkmetre.

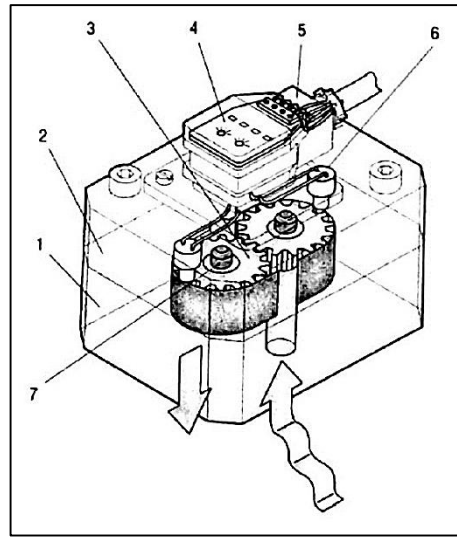
Gerekli gücün belirlenmesi için çalışma sırasında silajlık mısır hasat makinasına hareket ileten mafsallı mil üzerinden tork ve devir ölçümü yapılmıştır. Bu amaçla Datum, 420 PTO model torkmetre kullanılmıştır. Şekil 4.11’de görüldüğü gibi kuyruk mili ile mafsallı mil arasına bağlanan torkmetre kullanılarak mafsallı mil devri ve aktarılan tork ölçülmüş ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla güç hesaplanmıştır.

$$Güç (kW) = \frac{Hız (rpm) \times Tork (Nm)}{9549} \quad \text{Denklem 4.1}$$

Kuyruk miline bağlı torkmetreden alınan veriler veri kayıt sistemi vasıtasıyla bilgisayara aktarılmıştır.

#### 4.5.3 Yakıt ölçüm sistemi

Termal püskürtme yöntemiyle kaplanan silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçaklarının yakıt tüketimine etkisi yakıt ölçüm sistemi ile belirlenmiştir. Yakıt ölçüm denemelerinde KRACHT marka Gear Type Flow Meter VC (Dişli Tipi Akış Ölçer) cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.12).

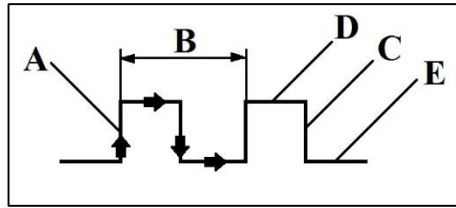


Şekil 4.12 Yakıt ölçüm sistemi şematik görünümü.

- 1) Gövde, 2) Kapak, 3) Dişli, 4) Ön yükselteç, 5) Bağlantı uçları, 6) Manyetik duyurga, 7) Rulman ve yatağı.

Traktör, çalışması sırasında yakıt deposundan gelen yakıtın tamamını kullanmamaktadır. Bir miktar yakıt depoya geri dönmektedir. Bu nedenle iki adet yakıt ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bunlardan biri ile depodan gelen yakıt

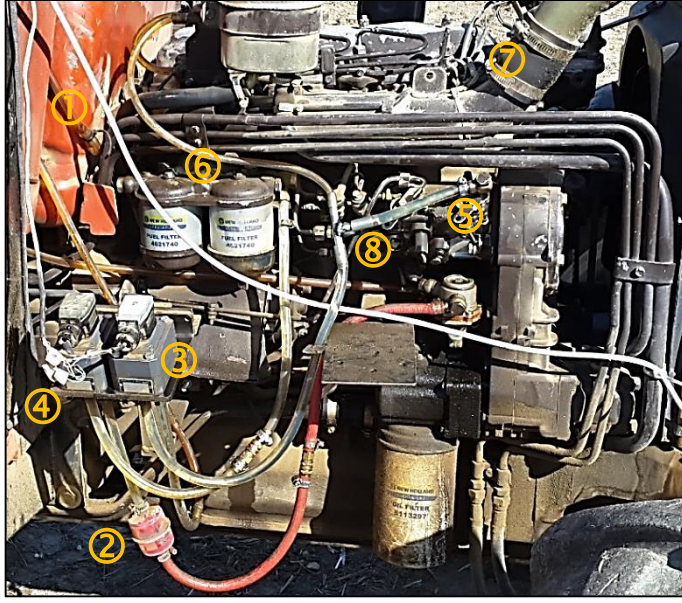
ölçülürken diğeri ile depoya geri dönen yakıt ölçülerek elde edilen değerler arasındaki farkın hesaplanmasıyla makinanın net yakıt tüketimi bulunmaktadır. Yakıt ölçüm cihazı yakıt borularına sızdırmaz şekilde bağlanmıştır. Yakıt ölçüm cihazına giren yakıt, birbirlerine geçgili çalışan iki adet elips şekilli dişli arasından geçerken dişlilerin dönmesini sağlamak ve bu dişliler üzerinde sabitlenmiş mıknatıslar her dönmeye bir puls üretmektedir (Şekil 4.13). Dişlilerin oluşturduğu her puls  $0,025 \text{ cm}^3$  hacimsel geçişi göstermektedir. Yakıt ölçümü sırasında üretilen puls değerleriyle bu sabit hacimsel geçiş değeri kullanılarak yakıt tüketim değerleri Litre (L) olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 4.13 Yakıt ölçme cihazı sinyal özelliği.

A) Yükselen kenar, B) Bir puls değeri, C) Alçalan kenar,  
D) Açık faz, E) Kapalı faz.

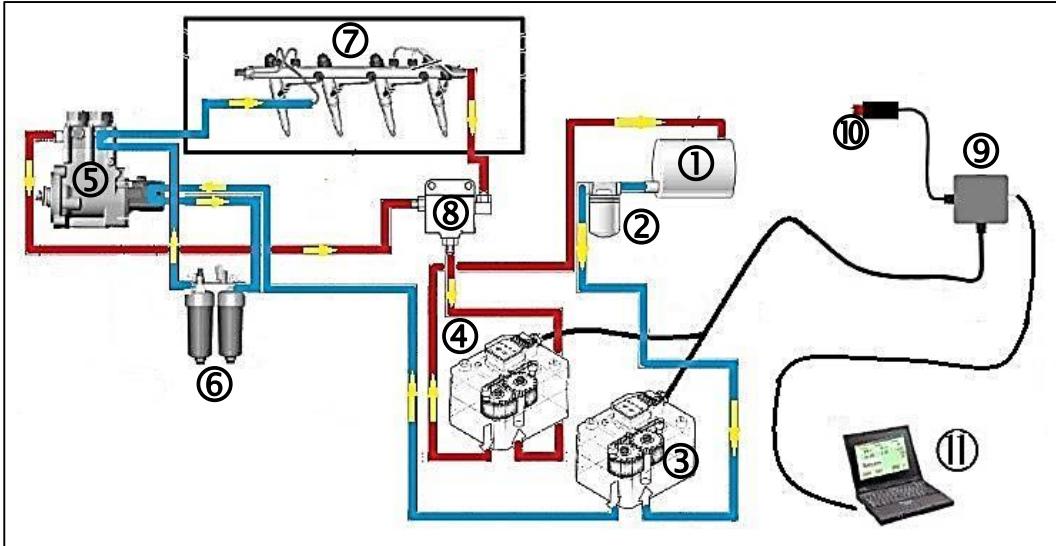
Yakıt pompası depodaki yakıtı vakumla alarak enjeksiyon pompasına gönderir, buraya gelen yakıt pompa yardımıyla enjektörlere iletilir (Şekil 4.14). Bu sırada fazla yakıt geri dönüş borusuyla depoya döndürülür. Enjektörler, gelen yakıtı silindir içerisinde bulunan yanma hücrelerine sıkıştırılan hava içine püskürterek patlama şeklinde yakılmasını sağlar. Bu patlama pistonları hareket ettirerek pistonlara bağlı olan krank milinin dönmesini sağlar. Bu dönme hareket yürüme organlarına aktarılır. Bu sırada krank mili üzerinde oluşturulan endike güç traktör üzerinde farklı organlar tarafından kullanılır. Bu organlardan biri de transmisyon sistemidir. Traktör, iş yapmak için üzerine bağlanan iş makinalarına ürettiği gücün bir bölümünü aktararak bu makinaların çalışmasını sağlar. Bu nedenle kullanılan tek sıra silajlık mısır hasat makinasının yakıt tüketiminin ölçülmesinde, traktörün kendisi için (kendini yürütme+hasat makinasını taşıma+dolu tarım arabasını çekme) kullandığı ortalama yakıt miktarı belirlenip genel yakıt tüketimi değerlerinden çıkarılmış böylece makinanın net yakıt tüketimi hesaplanmıştır. Güç tüketiminde ise torkmetre doğrudan kuyruk mili üzerine bağlandığından bu hesaplama gerekliliği kalmamıştır.



Şekil 4.14 Traktör yakıt borularına bağlı yakıt ölçüm sistemi.

Yakıt tüketimini ölçmek için kullanılan sistemin bağlantı şeması ve elemanları Şekil 4.15'te verilmiştir.

Yakıt ölçüm sistemi depodan çıkan ve depoya giren yakıt boruları üzerine takılmıştır. Depodan çıkan yakıt ve depoya giren yakıt arasındaki fark yakıt sarfiyatını vermektedir.



Şekil 4.15 Yakıt ölçüm sistemi şematik görünümü.

- 1) Yakıt tankı, 2) Birincil yakıt filtresi, 3) Depodan gelen yakıtı ölçen yakıt ölçüm cihazı, 4) Depoya geri dönen yakıtı ölçen yakıt ölçüm cihazı, 5) Yakıt pompası, 6) İkincil yakıt filtresi, 7) Yakıt enjektörü, 8) Toplama valfi, 9) Veri kayıt cihazı, 10) 12V Güç kaynağı, 11) Bilgisayar.



#### 4.5.4 Ünlversal sertlik ölçüm cihazı

Silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçakların sertlik ölçüm işlemleri SHIMADZU HMV-2 model mikro sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Sertlik ölçümleri kaplama kalınlığının yeterli olmaması nedeniyle mikro sertlik ölçüm yöntemi olan Vickers test cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 Mikro sertlik ölçümünde kullanılan Vickers ünlversal sertlik ölçüm cihazı.

#### 4.5.5 Etüv

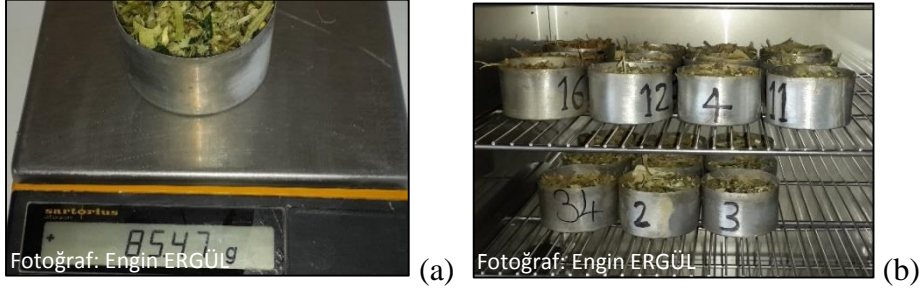
Silajlık mısır hasat makinasıyla kıyılan materyalden belli aralıklarla örnekler alınmıştır. Alınan örnekler üzerinde kıyma boyu ve nem analizleri yapılmıştır. Nem analizinde NÜVE FN 120 model etüv kullanılmıştır (Şekil 4.17). Bu cihaz +5 C° ile +250 C° arasında kontrollü bir ortam oluşturabilmektedir.



Şekil 4.17 Analizlerde kullanılan etüv.

#### 4.5.6 Hassas terazi

Analizlerde 0,01 g hassasiyetinde Sartorius marka hassas elektronik terazi kullanılmıştır (Şekil 4.18a). Analizi yapılacak örneklerin sabit hacimli kaplarda değerlendirilmesi için numaralı alüminyum kaplar kullanılmıştır (Şekil 4.18b).



Şekil 4.18 a) Yaş numunenin hassas terazi ile ölçümü, b) Kuruma sonrası numuneler.

#### 4.5.7 Elek sistemi

Silajlık mısır hasat makinasıyla kıyılan materyalden alınan örnekler üzerinde kıyma boyu analizi yapılmıştır. Bu amaçla değişik delik çapları bulunan 6 katlı elek sisteminde ürün elemesi yapılmıştır. Elek sisteminde tabla (kör tava) da dâhil olmak üzere toplam 6 adet elek bulunmaktadır. Elek 70 min<sup>-1</sup> devirde çalıştırılacak şekilde bir elektrik motoruyla hareketlendirilmiştir (Şekil 4.19). Çizelge 4.2’de elek elemanlarının delik çapları verilmiştir (Şekil 4.20).

Çizelge 4.2 Elek sisteminde bulunan elek çapları.

6. Elek (üst)	5. Elek	4. Elek	3. Elek	2. Elek	1. Elek (alt)
80-40 mm	40-20 mm	20-10 mm	10-5 mm	5-2,5 mm	Tabla



Şekil 4.19 Elek sistemi ve hareket motoru.



Şekil 4.20 Denemelerde kullanılan altı katlı elek.

#### 4.5.8 Dizüstü bilgisayar

Bütün verilerin değerlendirilmesi, yazımı, belgelenmesi, modellenmesi, depolanması ve analizinde SAMSUNG NP-NC10 model dizüstü bilgisayar kullanılmıştır (Şekil 4.21).



Şekil 4.21 Denemelerde kullanılan dizüstü bilgisayar.

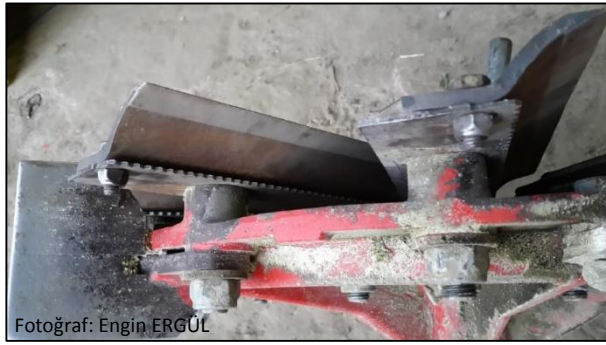
#### 4.6 Denemelerde Kullanılan Kıyıcı Bıçaklar

Silajlık mısır hasat makinası üzerinde kullanılan bıçaklar üç farklı grup olarak ele alınmıştır. Böylece aynı makina ile yapılan hasat sırasında güç ve yakıt tüketimi değerlerinin karşılaştırılabilmesi amaçlanmıştır. Tek sıra silajlık mısır hasat makinası üzerinde üç takım bıçak kullanılmıştır. Bu takımların kodlanması ve özellikleri şöyledir;

- Şahit Bıçak (S); Makina üzerinde fabrika çıkışı olarak bulunan ve piyasadan yedek parça olarak alınabilen, üzerinde değişiklik yapılmadan kullanılan orijinal bıçaklardır (Şekil 4.22). Bu bıçaklar “S” olarak kodlanmıştır.
- Kaplama (A) Bıçağı ; “A” olarak kodlanan toz kaplama malzemesi ile termal püskürtme uygulamasıyla kaplanan bıçaktır (Şekil 4.23).
- Kaplama (B) Bıçağı ; “B” olarak kodlanan toz kaplama malzemesi ile termal püskürtme uygulamasıyla kaplanan bıçaktır (Şekil 4.24).



Şekil 4.22 Kıyma ünitesine bağlı S kodlu bıçak.



Şekil 4.23 Kıyma ünitesine bağlı A kodlu bıçak.



Şekil 4.24 Kıyma ünitesine bağlı B kodlu bıçak.

Silajlık mısır hasat makinasının hasat performansını doğrudan etkileyen en önemli unsur kıyıcı bıçakların keskinliğidir. Kıyıcı bıçaklar özel alaşımlı çelikten yapıp üretildikten sonra sertleştirilmektedir. Bıçakların kullanıldığı çelik kalitesi genellikle 1040 olup sertleştirme işlemi indüksiyon ocaklarında bölgesel gerçekleştirilmektedir. 1040 çelik içerdiği karbon miktarından dolayı sade karbonlu çelikler olarak tanımlanır. Sertleşebilirlikleri içerdikleri karbon miktarına paralel olarak artarken toklukları ise karbon miktarı ile ters orantılıdır. Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te 1040 kalite malzemeye ait kimyasal ve fiziksel özellikler görülmektedir.

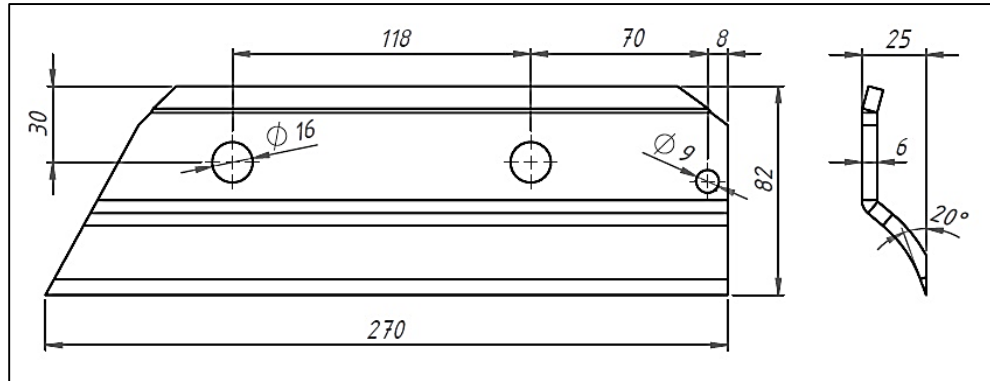
Çizelge 4.3 1040 malzemenin kimyasal bileşimi (%).

C	Si	Mn	P	S
0,45-0,54	0,15-0,35	0,60-0,90	0,040	0,050

Çizelge 4.4 1040 malzemenin fiziksel özellikleri.

Kopma Dayanımı kg/mm <sup>2</sup>	Akma Dayanımı kg/mm <sup>2</sup>	Sıcak Şekil Verme Sıcaklığı C°		Sertleştirme Sıcaklığı C°	
		Suda	Yağda	Suda	Yağda
60-80	33-42	1100	850	840	880

Düz levha halinde gelen malzeme plazma kesim tezgâhında kıyıcı bıçakların açınımı olarak kesilir. Kesilme işleminin ardından kıyıcı bıçaklar hidrolik preste son şeklini alır (Şekil 4.25). Son şeklini alan kıyıcı bıçaklar bilendikten sonra indüksiyon fırınlarında 30-40 RSD-C olacak şekilde sertleştirilirler (Çizelge 4.5).

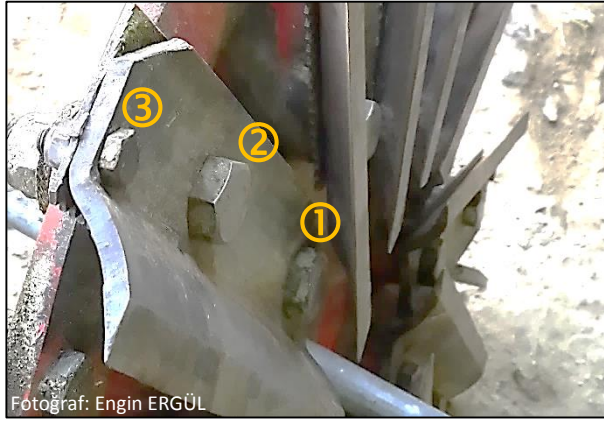


Şekil 4.25 Kıyıcı bıçak teknik resmi.

Çizelge 4.5 Kıyıcı bıçak ürün bilgisi.

Uzunluk mm	Genişlik mm	Delik Çapı mm	Delik Arası mm	Kalınlık mm	Ağırlık g	Sertlik RSD-C
270	82	16	118	6	1100	30-40

Silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçaklarının üzerinde iki adet, disk üzerine bağlantı kurmak ve yaprak kıyıcı tırtır bıçağını bağlamak üzere üç adet delik bulunur. Bunlardan 1 ve 2 numaralı olanlar bağlantı için 3 numaralı olan ise yaprak kıyıcı tırtır bıçağını bağlamak amacıyla kullanılır (Şekil 4.26).



Şekil 4.26 Kıyıcı bıçak üzerinde bulunan delikler.

Kıyıcı bıçakların kıydığı ürünün, disk üzerinde yer alan 6 adet kanat ile makina sevk borusuna iletilmesi sağlanır (Şekil 4.27).



Şekil 4.27 Disk üzerinde bulunan üfleme kanadı.

## 4.7 Kaplama Malzemesi

Tek sıra silajlık mısır hasat makinasında kullanılan bıçakların termal püskürtme yöntemiyle yapılan kapamalarında iki farklı özellikte toz alaşımı kullanılmıştır. Bu tozlar;

- WC-Ni-Cr-Co-B-Si toz alaşımı
- WC-Ni-Cr-B-Si toz alaşımı

### 4.7.1 WC-Co toz alaşımlı kaplama malzemesi (Kaplama A)

WC-Co kaplama malzemesi, piyasada rahatça bulunabilen Kobatek Fusion Weld 6161 W 'WC-Ni-Cr-Co-B-Si' esaslı bir toz alaşımıdır. Özellikle kuru veya sıvı partiküllerin neden olduğu abrazyon, erozyon, basınç ve korozyon aşınmasına karşı yüksek dayanıma sahip bir kaplama oluşturmaktadır. Yaygın olarak çelik, paslanmaz çelik ve dökme demirlere uygulanmaktadır. Kaplama A olarak kodlanan WC-Co kaplama malzemesinin bazı kimyasal ve teknik özellikleri sırasıyla Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7'de verilmiştir. Toz alaşımın ana bileşeni kaplamada kullanılan toz karışımının % 55-65'ini oluşturmakta, ana bileşene ek olarak % 35-45 oranında WC (C = % 3,6-4,3; Co = % 11-13 ve W = kalan) eklenmektedir.

Çizelge 4.6 Kaplama A toz alaşımının ana bileşenin tipik kimyasal analizi (%).

% 55-65						% 45-35		
C	Si	B	Fe	Cr	Ni	C	Co	W
0,7 - 0,8	3,9 - 4,9	3,0 - 3,4	2,4 - 4,6	14 - 16	Kalan	3,6 - 4,3	11 - 13	Kalan

Çizelge 4.7 Sanayi uygulamalarında kullanılan kaplama A malzemesinin bazı etiket özellikleri.

Kaplama sertliği	60-64 (RSD-C)
Kaplama işlem sıcaklığı	700 C°
Toz ergime sıcaklığı aralığı	1020-1150 C°
Kaplamada kullanılan gaz karışımı	Oksi-asetilen
Kaplama alev ayarı	Normal alev
Türkiye satış fiyatı	87 €/kg

#### 4.7.2 WC toz alaşımlı kaplama malzemesi (Kaplama B)

WC kaplama malzemesi, piyasada rahatça bulunabilen Kobatek FusionWeld 5162 W adı ile anılan 'WC-Ni-Cr-B-Si' esaslı bir toz alaşımıdır. Yüksek sertlik ve aşınma dayanımına sahip bir matris içinde homojen olarak yayılmış karbür parçacıkları içerdiğinden, erozyon ve abrazyon aşınmasına karşı dayanıklı bir kaplama oluşturur. Karbon çelikleri, paslanmaz çelikler, dökme demir ve nikel alaşımlarına uygulanır. Kaplama B olarak kodlanan WC kaplama malzemesinin bazı kimyasal ve teknik özellikleri sırasıyla Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9'da verilmiştir. Toz alaşımın ana bileşeni kaplamada kullanılan toz karışımının % 88'ini oluşturmakta, ana bileşene ek olarak % 12 oranında da WC (C = 3,8-4,3 ve W = kalan) içermektedir.

Çizelge 4.8 Kaplama B toz alaşımının tipik kimyasal analizi (%).

% 88						% 12	
C	Si	B	Fe	Cr	Ni	C	W
0,7 - 0,8	3,9 - 4,9	3,0 - 3,4	2,4 - 4,6	14 - 16	Kalan	3,8 - 4,3	Kalan

Çizelge 4.9 Sanayi uygulamalarında kullanılan kaplama B malzemesinin bazı etiket özellikleri.

Kaplama sertliği	58-62 (RSD-C)
Kaplama işlem sıcaklığı	700 C°
Toz ergime sıcaklığı aralığı	980-1020 C°
Kaplamada kullanılan gaz karışımı	Oksi-asetilen
Kaplama alev ayarı	Normal alev
Türkiye satış fiyatı	50 €/kg



## 5. KULLANILAN YÖNTEM

### 5.1 Kıyıcı Bıçakların Kaplanması

Silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçaklarının kesme kenarları çalışma sırasında aşınmakta ve keskinliğini kaybederek körelmektedir. Bu körelmenin etkisi ile kesim işlemi düzgün gerçekleşmemekte ve dolayısıyla mısır bitkisi kesilme ya da kıyılma yerine ezilme ve koparıma olayına maruz kalmaktadır. Bu olaya maruz kalan mısır bitkisi ezildiğinden içerdiği öz suyu kaybetmektedir. Kıyıcı bıçakların körelmesinin bir diğer olumsuz yanı ise kesme işlemi sırasında güç gereksiniminin artmasıdır.

Tek sıra silajlık mısır hasat makinasında bir tambur üzerinde yaygın olarak 12 adet kıyıcı bıçak bulunur. Bu 12 adet kıyıcı bıçak bir takım oluşturur. Çalışmada üç takım (36 adet) bıçak kullanılmıştır. Bu üç takım bıçaktan birinci takım Şahit Bıçak (S), ikinci takım Kaplama (A), üçüncü takım ise Kaplama (B) olarak adlandırılmıştır.

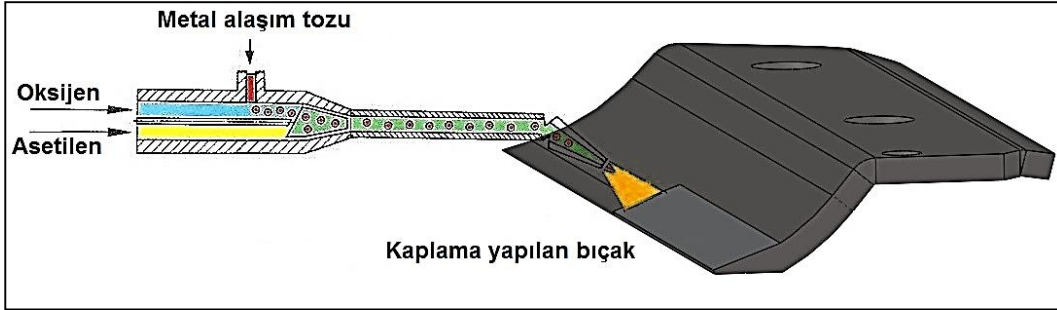
Birinci takım üzerinde hiçbir değişiklik yapılmamıştır. Üretici firmanın piyasaya arz ettiği şekliyle kullanılmış ve şahit bıçak olarak tanımlanmıştır. Bu bıçaklar üzerinde imalatçı tarafından ısıl işlem yapılmıştır.

İkinci takım bıçakların yüzeyi Kaplama A toz alaşımı ile özel bir firma tarafından belirlenen ön koşullar doğrultusunda termal püskürtme yöntemiyle profesyonel bir şekilde kaplanması sağlanmıştır.

İkinci takım bıçakların yüzeyi Kaplama B toz alaşımı ile aynı firmada kaplanması sağlanmıştır.

Bu tozlar termal püskürtme yöntemi (Şekil 5.1) kullanılarak bıçakların kesme kenarı alt yüzeyi üzerine püskürtülerek bu yüzeyde sert bir kaplama oluşturulmuştur. Kaplama için ön çalışma yapılmış ve sonrasında kaplama kalınlığı ve kaplama bant genişliği belirlenmiştir. Bıçakların yüzeyi, kaplama işleminden önce mekanik bir yüzey temizleme yöntemiyle yağ, boya, oksit ve benzeri yabancı maddelerden arındırılmıştır. Kaplama A ve Kaplama B olarak

adlandırılan toz alaşımlar mikro-pülverize metal alaşımları olarak kaplama yapılacak yüzeye oksii-asetilen alevi ile püskürtülmüştür. Oksii-asetilen alevinin içinden geçen mikro-pülverize metal alaşımları ortalama 3100 C° alevin etkisi altında yaklaşık 1110 C° sıcaklığa ulaşmıştır ki bu sıcaklık değeri alaşımın ergime sıcaklığına yakındır. Önceden tavlanmış metal yüzeyin üzerine bu şekilde yapılan püskürtme işlemi yöntemin ilk aşamasıdır. Kaplama işleminin ikinci aşaması yüzeye püskürtülen toz metal alaşımın ısıtılarak ergime sıcaklığına kadar getirilmesidir. Bu sıcaklık, ergimenin başlangıç (solidus) ve son ergime (liquidus) sıcaklıkları arasındadır. Bu işlemlerin sonunda belirlenen özellik ve kalınlıkta kaplama gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.1 Termal püskürtme yöntemi ile silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçaklarının kaplanması.

Uygulamada ergime ve yüzeye tutunmanın gerçekleştiği, ergiyen mikro-pülverize metal alaşımının parlamaya başlamasından anlaşılmaktadır. Ana metal ile dolgu metali arasındaki tutunma difüzyon aracılığı ile gerçekleşmektedir. Difüzyon sıcaklığı, kullanılan dolgu metalin cinsine bağlı olarak 900-1000 C° arasında değişmektedir. Uygulama sırasında bek ucu ile parça arasındaki mesafe kullanılan mikro-pülverize metal alaşımına bağlı olarak 6-20 mm arasında değişmektedir.

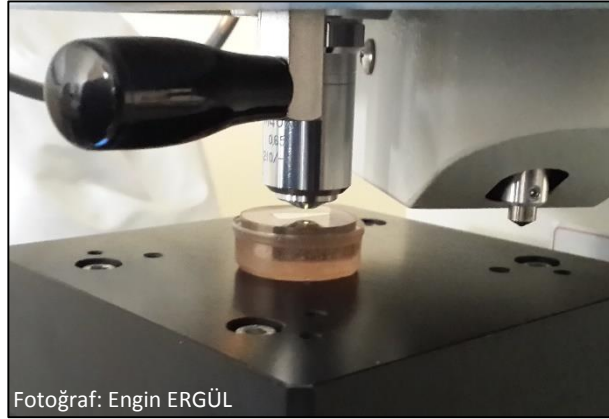
Bıçaklardaki kaplanmış yüzey, kaplama işlemi bittikten sonra herhangi bir yüzey temizliği ya da ısıl işlem gerektirmeyecek kadar düzgün elde edilmiştir. Bu durum bıçakların kaplama sonrası yüzey düzgünlüğü bakımından da istenen bir sonuçtur.

Uygulamada kullanılan ve üzerinde kaplama olmayan bıçaklar şahit bıçak olarak alınmıştır. Denemeye alınan tüm bıçaklar hasat süresinde hiç bilenmeden

çalıştırılmıştır. Denemeler, uygulamada kullanılan alan büyüklüğüne ve tekerrürlere bağlı olarak eşit alanlar üzerinde yapılmıştır. Bu alanlarda ilk ölçümler alındıktan sonra, bıçaklar eşit alanlarla bir süre çalıştırılıp daha sonra tekrar denemeye alınarak hasat işlemleri en az üç kez tekrarlanmıştır.

## 5.2 Bıçak ve Kaplama Sertliğinin Ölçülmesi

Bıçaklar üzerinden alınan numune üzerinde Vickers mikro sertlik ölçüm deneyi uygulanmış, ölçüm hem kaplama üzerinde hem de ana malzeme üzerinde üçer tekerrür halinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.2). Sertlik ölçüm deneylerinde 0,5 kg'lık yük 20 s boyunca numuneye uygulanmıştır (VSD / 0,5 / 20).



Şekil 5.2 Numune üzerinden Vickers mikro sertlik ölçümü.

## 5.3 Çalışma Koşulları

Tek sıralı silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçaklarından orijinal (kaplamasız) üç takım bıçak temin edilmiştir. Her takım boyut ve özellikleri aynı olan 12 adet bıçaktan oluşmaktadır. Kıyıcı bıçaklardan iki takımı belirlenen koşul ve farklı toz alaşımlar kullanılarak kaplanmıştır. Kaplanan bıçaklar çalışmanın birinci basamağını oluşturan güç ihtiyacını belirlemek amacıyla İzmir İlinin Dikili İlçesine bağlı Kabakum Köyünde faaliyet gösteren Evrenosoğlu çiftliğinde bulunan tek sıralı silajlık mısır hasat makinasına montajı yapılarak gerçek hasat denemelerinde kullanılmıştır. Hasat denemeleri ikinci ürün mısır üzerinde gerçekleştirilmiştir. Mısır bitkisi olgunlaşarak hasat yapılabilir konuma geldiğinde alan denemeleri başlamıştır. Deneme verilerinin karşılaştırılabilmesi için aynı

traktör, aynı operatör ve aynı makina kullanılmıştır. Denemelere şahit bıçaklarla başlanmıştır. Mısır hasat işlemi sırasında her 1, 5, 10, 15 ve 30 da alanda anlık olarak tork ve devir verileri alınmış ve veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Hasat sırasında daha sonra yapılacak kıyılmış ürünün nem ve kıyma boyu analizi için taze kıyılmış mısır örnekleri alınmıştır.

S, A ve B kodlu bıçaklar tesadüf parselleri deneme desenine göre alan hasat denemelerine tabi tutulmuştur. Bu yöntem yakıt tüketimi denemelerinde de uygulanmıştır. Bıçaklar, makina biçme ünitesi üzerinde bulunan disk üzerine cıvatalı olarak bağlanmaktadır. Bıçakların montajı tork anahtarıyla 200 Nm değerinde yapılmıştır (Şekil 5.3). Kıyıcı bıçakların kıyma boyu ise normal çalışma koşullarında 9-10 mm olacak şekilde firma tarafından ayarlanmıştır.



Şekil 5.3 Tork tabancası ile bıçak değiştirme.

Yakıt tüketiminin belirlenmesine yönelik tarla denemeleri ise Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Araştırma Uygulama ve Üretim Çiftliğinde gerçekleştirilmiştir. Deneme verilerinin karşılaştırılabilmesi için aynı traktör, aynı operatör ve aynı makina kullanılmıştır. Denemelerde kullanılan bıçaklar hasat sırasında her 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30 da hasat sonrası ayrı ayrı veri alınmıştır. Böylece hasat denemelerinde yakıt tüketim değerlerinin daha ayrıntılı bir şekilde değişimi belirlenmeye çalışılmıştır. Bütün hasat denemelerinde traktör kuyruk milinden ortalama  $540 \text{ min}^{-1}$  ile alınan hareket,

silajlık mısır hasat makinası transmisyon sisteminden geçerek disk ve kıyıcı bıçaklarda  $1520 \text{ min}^{-1}$  devir ile çalıştırmıştır.

Silajlık mısır hasat makinasının gerçek çalışma hızı hasat sırasında belirlenmiştir. 25 metre aralıklarla yerleştirilen 5 adet jalon arasında geçiş süreleri ölçülmüştür. Jalonlar arası her mesafe tekerrür olarak kabul edilmiştir. Elde edilen verilerin aritmetik ortalaması, gerçek ortalama çalışma hızı  $5,3 \text{ ms}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır.

#### 5.4 Deneme Alanı Koşulları

Hasat denemeleri sırasında verilerin alınabilmesi amacıyla veri kayıt seti traktör arka tekerleği üzerinde bulunan platforma sabit olarak yerleştirilmiştir. Çalışma sırasında ortaya çıkan titreşimlerden korunmak amacıyla ölçüm araçlarına doğrudan bağlantı yapılmış ve veriler sürekli olarak alınabilmiştir. Böylece hasat denemelerinde bir taraftan operatör hasat işlemi yaparken diğer taraftan veri kayıt sisteminin kontrolü yapılarak verilerin sağlıklı bir şekilde alınması sağlanmıştır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Alan denemelerinden bir görüntü.

#### 5.5 Ölçümlerin Alınması

Her üç bıçak takımı (S-A-B) için güç ihtiyacı 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 da alanda her 5 da hasat sonrasında alınmıştır. Yakıt tüketiminin belirlenmesinde ise 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30 da alanda her 2 da hasat sonrasında veri alınmış ve kaydedilmiştir. Hasat denemelerinde kuyruk miline

takılı olan torkmetreden devir (rpm) ve moment (Nm) verileri alınmıştır. Daha sonra bu verilere bağlı olarak traktör güç ihtiyacı hesaplanmıştır. Yakıt tüketiminin belirlenmesinde ise alınan veriler puls değeri olarak sayılmış ve her puls için belirlenen hacimsel sabit değer kullanılarak yakıt tüketimi hesaplanmıştır.

Alandan yapılan her hasat denemesi ve her kıyıcı bıçak takımı için alan sonunda kıyılan ürün içinden tesadüfi olarak her seferde ortalama 2 kg kıyılmış ürün alınmıştır. Bu ürünler daha sonra nem ve elek analizinde kullanılmıştır.

## 5.6 İstatistik Analiz Yöntemi

Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre planlanmıştır. Ancak mısır tarlasında tesadüfi olarak belirlenen alanlara ulaşmak mümkün olmayacağından makineye takılacak bıçaklar tesadüfi olarak belirlenmiştir. Her bıçak takımı için farklı alanlarda elde edilen güç tüketimi değerleri tek bir çizelgede, yakıt tüketimi diğer bir çizelgede toplanmış ve ön değerlendirme yapılmıştır. Elde edilen verilerin istatistiksel değerlendirilmesinde, aritmetik ortalama ve bunlara ait SEM<sub>1</sub> değerleri, ortalamaların karşılaştırması için  $\alpha:0,05$  düzeyinde ANOVA ve DUNCAN gruplandırması yapılmıştır. Bu amaçla MS Excel ve SPSS V20 paket programı kullanılmıştır.

## 5.7 Güç Tüketiminin Belirlenmesi

Güç tüketiminin belirlenmesine yönelik alan denemelerinde veri kayıt seti ile elde edilen veriler MS Excel programı kullanılarak düzenlenmiştir. Düzenlenen verilerin analizi SPSS istatistik analiz programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Her üç bıçak takımı (S-A-B) güç tüketimi denemelerinde 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 da alanlarda ayrı ayrı hasat işlemi gerçekleştirilmiştir. Alınan bu veriler ham verileri oluşturmaktadır. Mısır hasat işlemi sırasında traktör ve makinenin hasada başlamak için çalıştığı andan itibaren verilerin alımına başlanmıştır. Hasat işlemi sırasında makina sürekli biçme işlemi yapamamaktadır. Örneğin sıra başlarında dönüş sırasında ve bölgesel olarak mısır bitkisinin zayıf geliştiği yerlerden elde

edilen veriler farklılık göstermektedir. Bu verilerin alındığı zamanlar işaretlenerek değerlendirilmeye alınmamıştır.

Traktör kuyruk miline bağlanan torkmetre ile devir ( $\text{min}^{-1}$ ) ve moment (Nm) aynı anda ölçülmüş ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak güç hesaplanmıştır.

$$\text{Güç (kW)} = \frac{\text{Devir (min}^{-1} \times \text{Moment (Nm))}}{9549} \quad \text{Denklem 5.1}$$

Burada;

$$\text{Güç} = kW$$

$$\text{Devir} = \text{dev/dk}$$

$$\text{Moment} = Nm$$

## 5.8 Yakıt Tüketiminin Belirlenmesi

Yakıt tüketiminin belirlenmesine yönelik alan denemelerinde yakıt ölçüm sistemi ile elde edilen veriler MS Excel programı kullanılarak düzenlenmiştir. Düzenlenen verilerin analizi SPSS istatistik analiz programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Her üç bıçak takımı (S-A-B) yakıt tüketimi denemelerinde 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30. da alanlarda ayrı ayrı hasat işlemi gerçekleştirilmiştir.

Yakıt tüketimi traktör yakıt borularına bağlanan yakıt ölçüm seti ile belirlenmiştir. Bu set traktör yakıt deposundan çıkan yakıtı ve traktör yakıt deposuna geri dönen yakıtı ölçmektedir. Tüketilen yakıt depodan çıkan ve depoya geri dönen yakıt arasındaki fark ile belirlenmektedir. Burada tüketilen yakıt hem traktör römorkunu hem de traktörün kendini yürütmesi için harcanmaktadır. Sarfiyat ise tüketilen yakıttan bu değerlerin çıkarılması ile belirlenmektedir.

## 5.9 Kıyılan Üründe Nem Tayini

Hasat sırasında alınan kıyılmış ürün örnekleri üzerinde nem ve kıyma boyu analizi yapılmıştır. Nem analizinde örnekler  $105\text{ C}^\circ$  de 24 saat etüvde bekletilerek nem oranları belirlenmiştir. Nem değerinin belirlenmesinde aşağıdaki eşitlik

kullanılmıştır. Bu analiz her üç bıçak takımı için tekrarlanmıştır. Elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

$$Nem (\%) = \frac{W_0 - W}{W_0} \times 100 \quad \text{Denklem 5.2 (Alayunt, 2000)}$$

Burada;

$$W_0 = \text{Yaş ürün ağırlığı (g)}$$

$$W = \text{Kuru ürün ağırlığı (g)}$$

### 5.10 Elek Analizi

Alınan numuneler 6 katlı yatay salınlı elek üzerinde elenerek kıyma boyu verileri elde edilmiştir. Hasat sırasında alınan 2 kg'lık numuneler laboratuvara getirilmiş, elek analizi için hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler ayrı ayrı 2 şer dakika süre ile  $70 \text{ min}^{-1}$  devirle dönen motorun tahrik ettiği elek sisteminde elenmiştir. Elde edilen veriler aşağıda elekler için verilen eşitlik yardımıyla toplam 6 elek için değerlendirilerek ortalama kıyma boyu hesaplanmıştır.

$$\left( \begin{array}{c} \text{Ağırlıklı} \\ \text{Ortalama Çap} \\ \text{(mm)} \end{array} \right) = \frac{\left( \begin{array}{c} \text{Birinci} \\ \text{Elek Ortalama} \\ \text{Çapı (mm)} \\ \times \\ \text{Birinci Elek} \\ \text{Numune Ağırlığı (g)} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{İkinci} \\ \text{Elek Ortalama} \\ \text{Çapı (mm)} \\ \times \\ \text{İkinci Elek} \\ \text{Numune Ağırlığı (g)} \end{array} \right) + \dots + \left( \begin{array}{c} \text{Altıncı} \\ \text{Elek Ortalama} \\ \text{Çapı (mm)} \\ \times \\ \text{Altıncı Elek} \\ \text{Numune Ağırlığı (g)} \end{array} \right)}{\text{Toplam Numune Ağırlığı (g)}} \quad \text{Denklem 5.3}$$

### 5.11 SEM<sub>1</sub>, EDS ve XRD Görüntüleri

SEM<sub>1</sub> ve EDS çalışmaları Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Laboratuvarlarında bulunan JEOL JSM-6060 model SEM<sub>1</sub> cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Mikroyapı tayininde kullanılan SEM<sub>1</sub> analiz cihazı.



XRD alışmaları yine aynı bölümde bulunan Rigaku-Rint 2200/PC (Ultima 3) model XRD cihazında gerçekleştirilmiştir (şekil 5.6).



şekil 5.6 Bileşik tanımlamalarında kullanılan XRD analiz cihazı.

Analizi yapılacak olan numune olumlu sonuç alınan A kodlu bıçaklarından tesadüfi olarak seçilmiştir. Seçilen silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçağının kesit yüzeyinden kesilerek numune çıkartılmıştır. Kesilen numuneler bakalite alma işleminin ardından su zımparası ile yüzey pürüzlüğünün giderilmesi işlemine tabi tutulmuştur. Analiz yapmadan önce iletkenliğini artırmak amacıyla altın ile ince bir film halinde kaplanmıştır. Hazırlık aşaması biten numunelerde SEM<sub>1</sub>, EDS ve XRD kullanılarak analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM<sub>1</sub>) görüntü, yüksek gerilim ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere geçirilip bilgisayar monitörüne verilmektedir.

Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS) yönteminde numunenin yüzeyine yüksek enerjili elektronlar çarptığında bu çarpışmalardan dolayı, numune yüzeyinden bazı elektronlar kopar ve belli bir miktar enerji kaybolur. Bu kaybedilen enerji X-Işını şeklinde ortaya çıkar. Numuneden kaynaklanan X-Işınları yarı iletken detektör tarafından algılanır. İletkenlik bandına geçen elektronlar, elektrik sinyaline dönüştürülür.

X-Işını Difraktometresi (XRD), toz ve katı numunelerin faz ve yapısal analizlerinde kullanılan bir tekniktir. Çok amaçlı XRD sisteminde, hızlandırılmış elektron demetinin bakır levhaya çarptırılmasıyla elde edilen karakteristik X-Işını demeti toz, ince film, nanomateryal ya da katı numuneler üzerine gönderilerek yansıyan veya geçen ışınlar dedektör yardımıyla incelenir ve her maddeye özgü oluşan kırınım deseni incelenerek yapısal ve kimyasal özellikleri belirlenir. X-Işınları ölçümleri ile malzemedeki kristale zarar vermeksizin malzemedeki fazlar, fazların miktarı, kristal boyutu, örgü parametreleri, yapıdaki değişimler, kristal yönlenmesi ve atom pozisyonları hakkında bilgi alınır.

## 6. BULGULAR

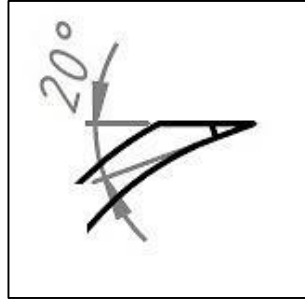
Çalışma öncesi ve sonrası her bıçak takımı için gerek bıçak özellikleri gerekse kaplanan bıçaklarla yapılan hasat işlemleri sonunda performans değerlendirilmesi ve istatistiksel analizler yapılmıştır. Elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

### 6.1 Bıçak Özellikleri

Tek sıra silajlık mısır hasat makinası üzerinde kullanılan bıçaklar, üretici firmanın makina üzerine taktığı ve genel olarak yerli üreticilerin kullandığı bıçaklar olup küçük şekil farklılıkları dışında aynı olan bıçaklardır. Çalışmada kullanılan bıçaklarla ilgili bazı temel değişkenler ve bıçaklara yapılan kaplamayla ilgili veriler aşağıda verilmiştir.

#### 6.1.1 Bıçak bileme açısı

Silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçakları genellikle  $20^\circ$ lik uç açıları halinde bilenirler (Şekil 6.1). Bıçağın körelmesine bağlı olarak bileme işlemine devam edildiğinde uç açısı da artmaktadır.



Şekil 6.1 Silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçak uç açısı.

#### 6.1.2 Yüzey ve kaplama kontrolü

A kodlu kıyıcı bıçakları ile 30 da'lık alanın biçilmesinin ardından sökülerek alan denemelerinin bir diğer basamağını oluşturan B kodlu kıyıcı bıçak takımı takılmıştır. 30 da mısır hasat işlemi sonunda B kodlu kıyıcı bıçakların kaplamalarında yer yer atmalar tespit edilmiştir (Şekil 6.2). Bu bölgelerde kaplama B toz almasını ile yüzeye derin bir nüfuziyet sağlayamadığı ve keskin

kenara gelen darbeler sonunda kaplamanın attığı görülmüştür. Kaplamanın atması nedeniyle B kodlu bıçak için SEM<sub>1</sub>, EDS ve XRD çalışmaları yapılamamıştır.

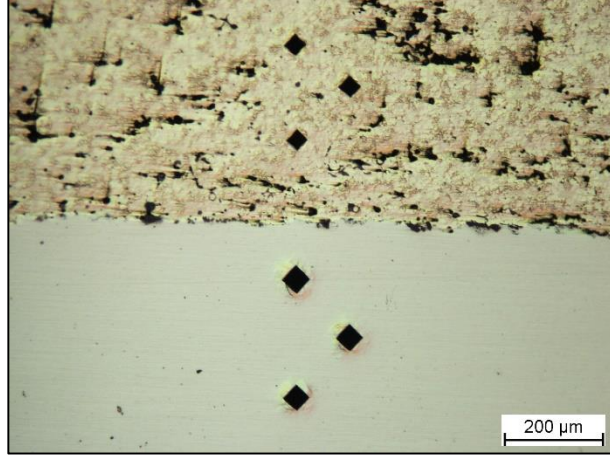
SEM<sub>1</sub> analiz cihazında kaplama kalınlığına bakıldığında A kodlu bıçağın kaplama kalınlığının ortalama 600 µm civarındadır.



Şekil 6.2 B kodlu bıçak üzerinde kaplamanın attığı kesme kenarı.

### 6.1.3 Bıçak sertliği (VSD)

Bıçaklardan alınan numune üzerinde Vickers mikro sertlik ölçüm deneyi uygulanmış, ölçüm hem kaplama üzerinde hem de ana malzeme üzerinde üçer tekerrür halinde gerçekleştirilmiştir Şekil 6.3'ten de görüleceği üzere kaplama malzemesinde ana malzemeye göre batıcı uçun çıkardığı iz daha küçük alana sahiptir yani kaplama malzemesinin sertliğini göreceli olarak daha fazladır. Ortalama sertlik değerleri Çizelge 6.1'de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere kaplamanın sertliği bıçağın orijinal sertliğine göre % 53 oranında daha fazladır. Bu durum istenen kaplama formunun oluştuğunu ve bıçak ana malzemesi daha yumuşak olduğundan aşınma ile beraber bıçak kenarı kaplamanın sertliği nedeniyle kendini güdümlü olarak bileyeceğini göstermektedir.



Şekil 6.3 A kodlu bıçakta ana malzeme ve kaplamaya ait VSD.

Çizelge 6.1 Vickers mikro sertlik deney değerleri.

	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
Ana Malzeme	268	310	294	290,6 VSD
Kaplama Malzemesi	471	439	427	445,6 VSD

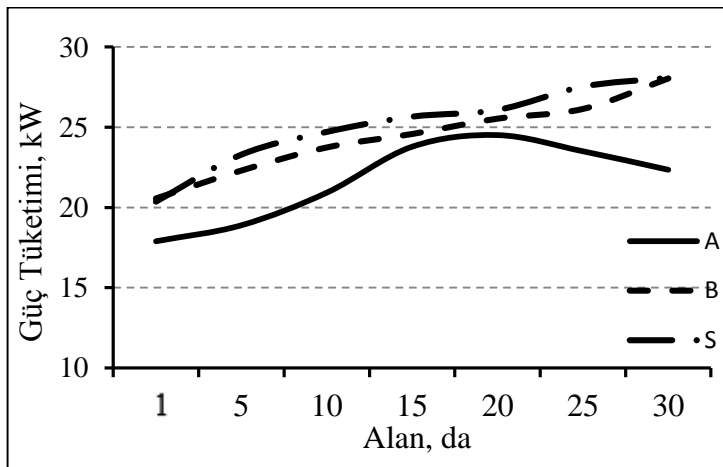
## 6.2 Bıçakların Güç Tüketimine Etkisi

Silajlık mısır hasat makinasında kıyıcı bıçakları taşıyan tambur üzerinde 12 adet bıçak bulunmakta ve tambur üzerindeki 12 adet kıyıcı bıçak bir takım olarak tanımlanmaktadır. Çalışmada üç takım (36 adet) bıçak kullanılmıştır. Üç takım bıçaktan birinci takım S (Şahit Bıçak), ikinci takım A (WC-Ni-Cr-Co-B-Si toz alaşımı ile kaplanmış bıçak) üçüncü takım ise B (WC-Ni-Cr-B-Si toz alaşımı ile kaplanmış bıçak) olarak adlandırılmıştır. Bıçakların alan denemelerinde, yer (ürün), traktör ve operatör değiştirilmemiştir. Alan denemeleri sırasında her bir bıçak takımı için eşit alan (30 da) hasat edilmiştir. Hasat tesadüf blokları deneme desenine göre gerçekleştirilmiştir. Makina ilerleme hızı olarak üç farklı hız seçilmiş ancak gerek çalışma koşullarını zorlaması gerekse operatörün iş verimini düşürmesi nedeniyle uygulamada kullanılan ortalama  $5,3 \text{ km h}^{-1}$  (VK:% 3,4) hızda yapılan alan denemeleri sırasında anlık veri alınmıştır. Tork (Nm) ve devir değerleri, traktör kuyruk mili ile kardan mili arasında yer alan torkmetreden boşta ve hasat sırasında (yükte) olacak şekilde alınmıştır. Bıçakların aşınma oranları da dikkate alınarak 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 da alanlarda ölçümler tekrarlanmıştır. Alınan veriler anlık olarak kaydedilmiştir. Elde edilen veriler “xls” uzantılı veri

dosyasına dönüştürülmüş ve daha sonra ilgili eşitlikler yardımıyla güç değerleri hesaplanmıştır.

Silajlık mısır hasat makinasının boşta çalışma sırasında tork değeri ölçülmüş ve buna bağlı olarak güç değeri hesaplanmıştır. Bıçakların kıyma işlemini yapmadığı ancak makinanın hasat yapıyormuş gibi çalıştığı durumda değer ortalama 10 kW olarak belirlenmiştir. A, B ve S bıçaklarının hasat sırasında yuttuğu güç verileri hesaplanarak 10 kW altındaki güç değerleri değerlendirmeye alınmamıştır. Bunun anlamı makinanın hasat yapmadığı şekilde yorumlanmıştır. Bu değer üzerinde elde edilen tüm veriler değerlendirilmede kullanılmıştır.

Güç tüketimi değerleri her üç bıçak için de alana bağlı olarak artış göstermiştir. Bıçakların ortalama güç tüketim değerleri Şekil 6.4'te verilmiştir. A kodlu bıçağın ortalama güç tüketim değerleri, diğer iki bıçak (B-S) değerlerinden belirgin şekilde farklı olduğu görülmektedir. Özellikle 20 da hasat alanına ulaştıktan sonra güç tüketiminin azaldığı görülmektedir. Bu durum bıçak üzerindeki kaplamanın ana malzemeden daha sert olması nedeniyle keskin kenarın kesme açısının yeniden kazanılması olarak değerlendirilebilir. Diğer iki bıçakta (B-S) hasat edilen alan artışıyla güç tüketiminde de bir artış görülmektedir. Ancak B bıçağında kullanılan kaplamanın güç ihtiyacının S bıçağına göre bir miktar azaldığı görülmektedir. B bıçağında değerlerin özellikle 25. da'dan sonra ivmelenmesi ise kaplamanın yer yer atması ve keskin kenarın kesme-kıyma özelliğini kısmen yitirmesi olarak değerlendirilebilir.



Şekil 6.4 Bıçakların güç tüketim değerlerinin hasat edilen alana bağlı değişimi.

Çizelge 6.2’de her bıçak için 30 da olmak üzere toplam 90 da alanda yapılan silajlık mısır hasadında A, B ve S bıçaklarından alınan verilerin ortalama değerlerinden hesaplanan güç tüketimi ve ortalamanın standart hata değerleri görülmektedir.

Çizelge 6.2 90 da alanda yapılan mısır hasadı sırasına A, B ve S bıçaklarının ortalama güç tüketimi ve standart hata değerleri.

Bıçak	Alan (da)	Ortalama Güç Tüketimi (kW)	SEM <sub>2</sub>
A	1	17,9	±0,6
	5	18,9	±0,6
	10	20,9	±0,6
	15	23,8	±0,4
	20	24,5	±0,4
	25	23,5	±0,4
	30	22,3	±0,3
B	1	20,6	±0,6
	5	22,3	±0,5
	10	23,7	±0,5
	15	24,6	±1,1
	20	25,5	±0,7
	25	26,1	±0,6
	30	28,0	±1,4
S	1	20,4	±0,2
	5	23,3	±0,3
	10	24,7	±0,3
	15	25,7	±0,4
	20	26,1	±0,4
	25	27,5	±0,3
	30	28,1	±0,4

A, B ve S bıçaklarının güç ihtiyacının alana bağlı değişimi istatistiksel olarak da değerlendirilmiştir. Bu amaçla ANOVA ve DUNCAN gruplaması yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 6.3, Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.5’te verilmiştir.

Çizelge 6.3 Güç tüketimine ait ANOVA sonuçları (p:0,05).

Güç tüketimi					
Kaynak	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F	Önem Düzeyi
Doğrulanmış model	27516,17	20	1375,809	37,839	0,00
Kesme Noktası	1328040,161	1	1328040,161	36524,782	0,00
Alan (da)	14667,088	6	2444,515	67,231	0,00
Bıçak	7206,835	2	3603,418	99,104	0,00
Alan (da) * Bıçak	1409,435	12	117,453	3,230	0,00
Hata	116788,240	3212	36,360		
Toplam	1952502,937	3233			
Doğrulanmış toplam	144304,411	3232			

Çizelge 6.3'te görüldüğü gibi hem bıçak çeşidi hem de alana bağlı güç tüketimindeki değişim istatistiksel olarak  $\alpha:0,05$  düzeyinde önemli bulunmuştur. Diğer bulgu da alan ve bıçak çeşidi interaksyonunun önemli olmasıdır. Bu sonuçlar A kodlu bıçağın diğer iki bıçağa göre istatistiksel olarak farklı olduğunu vurgulamaktadır. Diğer yandan farklılığın gruplanması için  $\alpha:0,05$  düzeyinde verilere DUNCAN testi uygulanmıştır (Çizelge 6.4). Çizelgeden de görüldüğü gibi şahit bıçak (S), A ve B bıçaklarına göre daha yüksek güç tüketimine sahiptir. Bıçakların ortalama güç tüketimleri arasındaki fark S bıçağına göre A için 3,9 kW, B için ise 2,3 kW daha düşük olarak gerçekleşmiştir. Özellikle A bıçağının güç tüketimi, S'ye göre oranlandığında yaklaşık % 15 daha düşüktür. Bu durum hasat edilen alan büyüdükçe daha da belirgin hale gelmektedir. Alan 30 da'a ulaştığında S bıçağı ile A bıçağı arasında güç tüketimi farkı 5,8 kW'a ulaşmaktadır. Bu değer güç tüketiminin geleneksel bıçaklara göre % 22,5 oranında azalması demektir (Çizelge 6.6, Şekil 6.5).

Çizelge 6.4 Bıçakların 30 da hasat alanında hesaplanan ortalama güç tüketimi ve DUNCAN gruplaması.

Bıçak	Ortalama Güç Tüketimi, kW
A	21,9 <sup>a</sup>
B	23,5 <sup>b</sup>
S	25,8 <sup>c</sup>

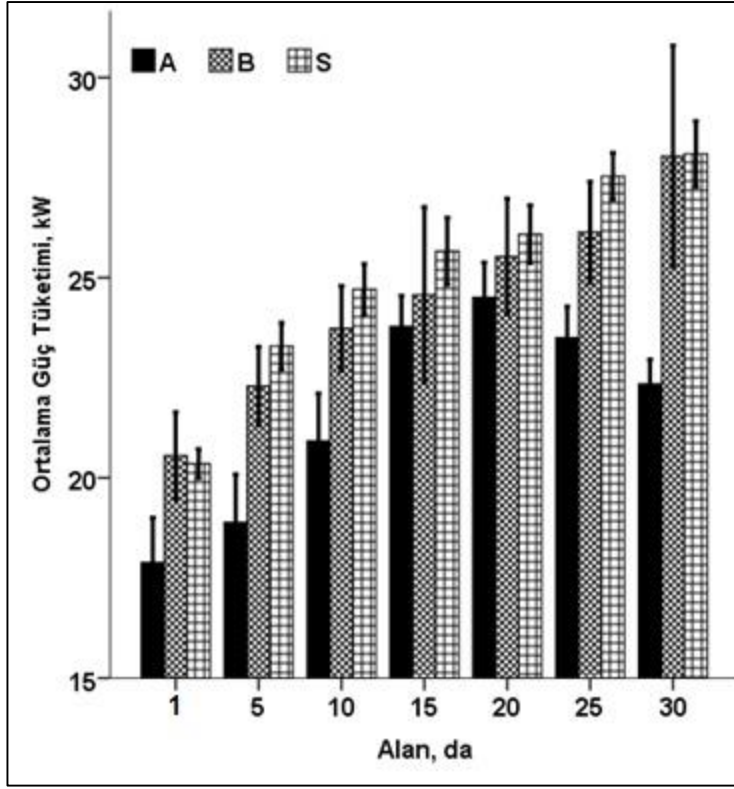


Çizelge 6.5 Hasat alanına bağlı hesaplanan ortalama güç tüketimi ve DUNCAN gruplaması.

Alan, da	Ortalama Güç Tüketimi, kW
1	19,5 <sup>a</sup>
5	21,1 <sup>b</sup>
10	22,9 <sup>c</sup>
15	24,6 <sup>d</sup>
20	25,1 <sup>de</sup>
25	25,9 <sup>f</sup>
30	25,6 <sup>ef</sup>

Çizelge 6.6 Hasat alanına bağlı S ve A bıçaklarının ortalama güç tüketimleri arasındaki fark değerleri.

Alan, da	S	A	S-A
	Ortalama Güç Tüketimi (kW)	Ortalama Güç Tüketimi (kW)	Fark Tüketim (kW)
1	20,4	17,9	2,5
5	23,3	18,9	4,4
10	24,7	20,9	3,8
15	25,7	23,8	1,9
20	26,1	24,5	1,6
25	27,5	23,5	4,0
30	28,1	22,3	5,8



Şekil 6.5 Bıçakların ortalama güç tüketimlerinin ve standart hata değerlerinin hasat alanına bağlı değişimi.

### 6.3 Bıçakların Yakıt Tüketimine Etkisi

Silajlık mısır hasat makinasının ikinci bölüm hasat denemelerinde bıçakların yakıt tüketimi üzerine etkisi incelenmiştir. Her üç bıçakta birinci bölüm denemelerinde olduğu gibi alan traktör ve operatör değiştirilmeden denenmiştir. Ancak güç tüketiminde kullanılan 5 da artışlı hasat alan değişkeni, değerlendirmenin daha hassas yapılabilmesi bakımından 2 da artışlı olarak yeniden düzenlenmiştir. Bunun nedeni özellikle A bıçağında ortaya çıkan durumun daha ayrıntılı olarak incelenebilmesidir.

Birinci bölüm denemelerinde olduğu gibi üç takım bıçaktan birinci takım S (Şahit Bıçak), ikinci takım A (WC-Ni-Cr-Co-B-Si toz alaşımı ile kaplanmış bıçak) üçüncü takım ise B (WC-Ni-Cr-B-Si toz alaşımı ile kaplanmış bıçak) olarak adlandırılmıştır. Alan denemeleri sırasında her bir bıçak takımı için eşit alan (30 da) hasat edilmiştir. Hasat, tesadüf blokları deneme desenine göre gerçekleştirilmiştir. Makina ilerleme hızı olarak üç farklı hız seçilmiş ancak gerek çalışma koşullarını zorlaması gerekse operatörün iş veriminin düşmesi nedeniyle

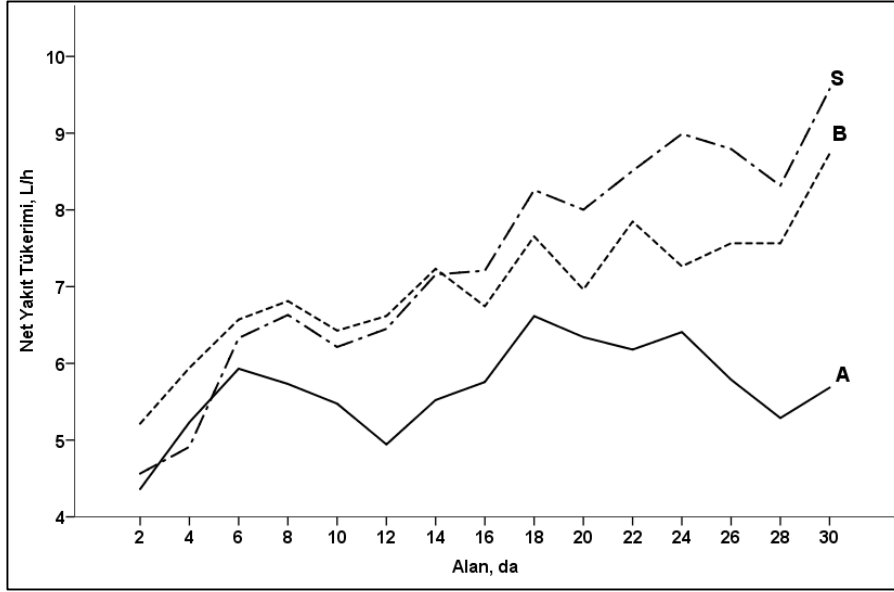
uygulamada kullanılan geleneksel hızda tek hız olarak ( $5,3 \text{ kmh}^{-1}$ ) alan denemeleri gerçekleştirilmiş ve anlık olarak veri alınmıştır. Yakıt tüketiminin ölçülmesi için  $0,025 \text{ ml}$  hassasiyetli iki adet yakıt ölçer kullanılmıştır. Bunlardan birisi yakıt giriş hattı üzerine diğeri ise geri dönüş hattı üzerinde yerleştirilmiştir.

Yakıt tüketim değerleri, makina boşa iken ve hasat sırasında (yükte) olacak şekilde alınmıştır. Boşa çalışma; hasat makinasının boşa çalışması+traktörün kendini çalışma hızında yürütmesi+tarım arabasının çekilmesi olarak tanımlanmıştır. Bu veriler alındıktan sonra net yakıt tüketim değerleri hesaplanmıştır. Bıçak takımları 2 da alanda artışlı ve en az üç tekrarlı olmak üzere toplam 30 da alan hasat edilmeye kadar ölçümler tekrarlanmıştır. Alınan veriler daha sonra  $\text{Lh}^{-1}$  olarak net yakıt tüketim değerleri hesaplanmıştır.

Silajlık mısır hasat makinasının boşa çalışma sırasında yakıt tüketim değeri ortalama olarak hesaplanmıştır. Makinanın hasat işlemi sırasındaki brüt yakıt tüketimi, gelen yakıt miktarının depoya dönen yakıt miktarından düşülmesi ile belirlenmiştir. Daha sonra brüt yakıt tüketiminden boşa çalışma yakıt tüketim değeri çıkarılarak bıçaklara ait net yakıt tüketimi elde edilmiştir. A, B ve S bıçaklarının hasat sırasında yakıt tüketimine etkisinin belirlenmesinde sıra başı dönüşleri hariç tutularak ve traktör çalışma hızına ulaşıncaya kadar veri alınmıştır. Boşa çalışma için de aynı yöntem izlenmiştir. Bu şekilde alınan tüm veriler değerlendirilmede kullanılmıştır.

Tüketim değerleri her üç bıçak için de alana bağlı olarak artış göstermiştir (Şekil 6.6). Ancak A kodlu bıçağın ortalama yakıt tüketimi değerlerinin diğer iki bıçaktan (B-S) belirgin şekilde farklı olduğu görülmektedir. Özellikle 18 da hasat alanına ulaştıktan sonra yakıt tüketiminin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu durum bıçak üzerindeki kaplamanın ana malzemedan daha sert olması nedeniyle keskin kenarın kesme etkinliğini devam ettirmesi olarak değerlendirilebilir. Diğer iki bıçaktaki yakıt tüketimi ise (B-S) hasat edilen alan artışıyla artmaktadır (Şekil 6.6). Ancak B bıçağında kullanılan kaplamanın güç ihtiyacının S bıçağına göre bir miktar azaldığı görülmektedir. B bıçağında değerlerin özellikle 25 da'dan sonra ivmelenmesi ise kaplamanın yer yer atması

ve keskin kenarın kesme-kıyma özelliğini kısmen yitirmesi olarak değerlendirilebilir.



Şekil 6.6 Bıçakların yakıt tüketimi değerlerinin hasat edilen alana bağlı değişimi.

Çizelge 6.7’de her bıçak için 30 da olmak üzere toplam 90 da alanda yapılan silajlık mısır hasadında A, B ve C bıçaklarından alınan verilerin ortalama değerlerinden hesaplanan yakıt tüketimi ve standart hata değerleri görülmektedir.

Çizelge 6.7 90 da alanda yapılan mısır hasadı sırasında A, B ve S bıçaklarının ortalama yakıt tüketimi ve standart hata değerleri.

Bıçak	Alan (da)	Ortalama Yakıt Tüketimi (L/h)	SEM <sub>2</sub>	Bıçak	Alan (da)	Ortalama Yakıt Tüketimi (L/h)	SEM <sub>2</sub>	Bıçak	Alan (da)	Ortalama Yakıt Tüketimi (L/h)	SEM <sub>2</sub>
A	2	4,36	±0,09	B	2	5,22	±0,08	S	2	4,56	±0,06
	4	5,23	±0,07		4	5,94	±0,08		4	4,91	±0,04
	6	5,93	±0,11		6	6,57	±0,08		6	6,33	±0,07
	8	5,73	±0,09		8	6,81	±0,07		8	6,63	±0,09
	10	5,48	±0,14		10	6,43	±0,09		10	6,21	±0,08
	12	4,94	±0,09		12	6,62	±0,08		12	6,45	±0,07
	14	5,52	±0,13		14	7,23	±0,06		14	7,16	±0,14
	16	5,76	±0,11		16	6,74	±0,07		16	7,21	±0,11
	18	6,62	±0,12		18	7,65	±0,09		18	8,26	±0,09
	20	6,34	±0,11		20	6,96	±0,06		20	8,00	±0,10
	22	6,18	±0,11		22	7,85	±0,08		22	8,51	±0,10
	24	6,41	±0,12		24	7,26	±0,08		24	8,99	±0,13
26	5,79	±0,13	26	7,57	±0,09	26	8,79	±0,09			
28	5,29	±0,10	28	7,56	±0,08	28	8,32	±0,07			
30	5,68	±0,08	30	8,73	±0,07	30	9,57	±0,10			

A, B ve S bıçaklarının yakıt tüketiminin alana bağlı değişimi istatistiksel olarak da değerlendirilmiştir. Bu amaçla ANOVA ve DUNCAN gruplaması yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 6.8, Çizelge 6.9 ve Çizelge 6.10'da verilmiştir.

Çizelge 6.8 Yakıt tüketimine ait ANOVA sonuçları ( $\alpha:0,05$ ).

Kaynak	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Önem
Doğrulanmış Model	23807,2	44	541,1	150,3	0,00
Kırılma	714338,5	1	714338,5	198494,2	0,00
Bıçak	8653,2	2	4326,6	1202,2	0,00
Alan	10598,7	14	757,0	210,4	0,00
Bıçak * Alan	3785,5	28	135,2	37,6	0,00
Hata	62158,3	17272	3,6		
Toplam	848585,0	17317			
Doğrulanmış Toplam	85965,5	17316			

Çizelge 6.8'de görüldüğü gibi hem bıçak tipi hem de alana bağlı yakıt tüketimindeki değişim istatistiksel olarak  $\alpha:0,05$  düzeyinde önemli bulunmuştur. Diğer bulgu, alan ve bıçak tipi interaksiyonunun önemli olmasıdır. Bu sonuçlar bıçakların yakıt tüketim değerlerinin birbirlerine göre istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermektedir. Diğer yandan bıçakların yakıt tüketimindeki farklılığın gruplanması için elde edilen veriler üzerinde  $p:0,05$  düzeyinde DUNCAN testi uygulanmıştır.

Çizelgeden de görüldüğü gibi şahit bıçak S, A ve B bıçaklarına göre daha yüksek yakıt tüketimine sahiptir. Bıçakların ortalama yakıt tüketimleri arasındaki fark S bıçağına göre A için  $1,65 \text{ Lh}^{-1}$ , B için ise  $0,24 \text{ Lh}^{-1}$  daha azdır. Özellikle A bıçağının yakıt tüketimi S'ye göre oranlandığında yaklaşık % 22,5 daha düşüktür. Bu durum hasat edilen alan büyüdükçe daha da belirgin hale gelmektedir. Alan 30 da'a ulaştığında S bıçağı ile A bıçağı arasında yakıt tüketimi farkı  $3,89 \text{ Lh}^{-1}$ 'a ulaşmaktadır. Bu değer yakıt tüketiminin S bıçağının 30. da alandaki yakıt tüketimine göre % 40,6 oranında azalması demektir (Şekil 6.7, Çizelge 6.11).

Çizelge 6.9 Bıçakların 30 da hasat alanında hesaplanan ortalama yakıt tüketimi ve DUNCAN gruplaması.

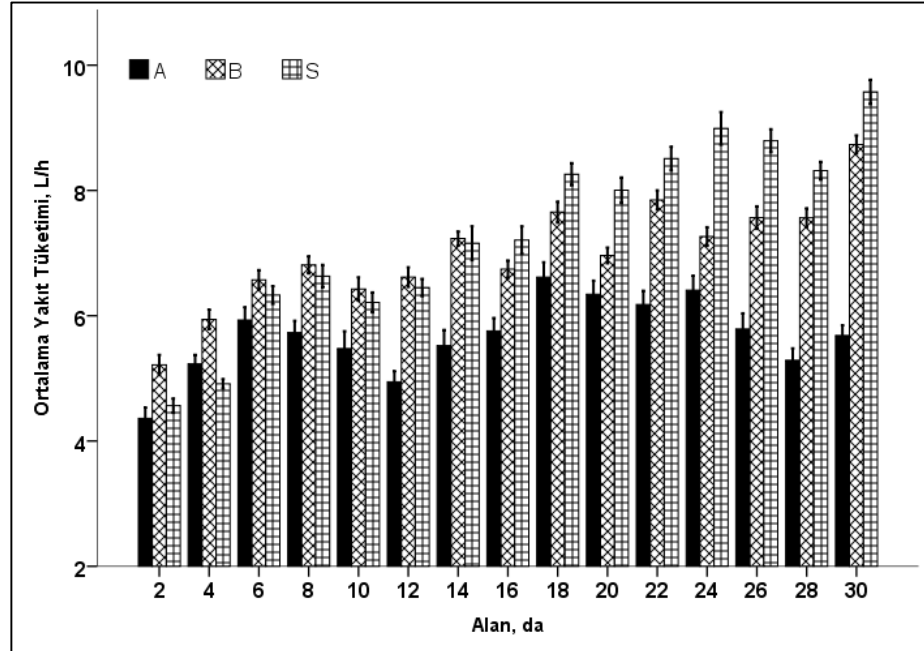
Bıçak	Ortalama Yakıt Tüketimi, Lh <sup>-1</sup>
A	5,66 <sup>a</sup>
B	7,07 <sup>b</sup>
S	7,31 <sup>c</sup>

Çizelge 6.10 Hasat alanına bağlı hesaplanan ortalama yakıt tüketimi ve DUNCAN gruplaması

Alan, da	Ortalama Yakıt Tüketimi, Lh <sup>-1</sup>
2	4,58 <sup>a</sup>
4	5,48 <sup>b</sup>
6	6,29 <sup>c</sup>
8	6,38 <sup>d</sup>
10	6,07 <sup>e</sup>
12	5,88 <sup>e</sup>
14	6,62 <sup>f</sup>
16	6,67 <sup>f</sup>
18	7,52 <sup>i</sup>
20	7,06 <sup>h</sup>
22	7,41 <sup>i</sup>
24	7,37 <sup>i</sup>
26	7,35 <sup>i</sup>
28	6,84 <sup>g</sup>
30	7,84 <sup>j</sup>

Çizelge 6.11 Hasat alanına bağlı S ve A bıçaklarının ortalama yakıt tüketimleri arasındaki fark değerleri

Alan, da	S	A	S-A
	Ortalama Yakıt Tüketimi, Lh <sup>-1</sup>	Ortalama Yakıt Tüketimi, Lh <sup>-1</sup>	Fark Tüketim, Lh <sup>-1</sup>
2	4,56	4,36	0,20
4	4,91	5,23	-0,32
6	6,33	5,93	0,40
8	6,63	5,73	0,90
10	6,21	5,48	0,74
12	6,45	4,94	1,51
14	7,16	5,52	1,64
16	7,21	5,76	1,45
18	8,26	6,62	1,64
20	8,00	6,34	1,66
22	8,51	6,18	2,33
24	8,99	6,41	2,58
26	8,79	5,79	3,01
28	8,32	5,29	3,03
30	9,57	5,68	3,89



Şekil 6.7 Bıçaklarının ortalama yakıt tüketimlerinin ve standart hata değerlerinin hasat alanına bağlı değişimi.

## 6.4 Kıyılan Ürün Nemi

Silajlık mısır hasat makinası ile Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Araştırma Uygulama ve Üretim Çiftliğinde hasat edilen mısırdan her 5 da'lık alanda % nem tayini için numuneler alınmıştır. Numunelerin nem değerleri üç bıçak takımı için de ayrı ayrı toplanmıştır.

Besleme değeri yüksek bir silaj için mısırın en uygun zamanda hasat edilmesi gerekir. Mısırın en uygun biçim zamanı nem oranının % 65-75 olduğu dönemdir. Bu dönem; bitkideki kuru madde oranının % 30 civarında olduğu ve danenin süt olumunu tamamlayıp hamur olum dönemine geçtiği ve danenin üst kısmında hafif çöküntünün görüldüğü dönemdir. Eğer mısır erken biçilirse siloda sızıntı kayıpları yükselir, mayalanma (turşulaşma) düzenli sürmez. Geç biçildiğinde tam sıkışma sağlanamayacağı için siloda hava miktarı fazla olur bu da silajın kalitesini düşürür. Çizelge 6.12'de de görüldüğü gibi mısır zamanında hasat edilmiştir.

Çizelge 6.12 Kıyılan ürünlerin ortalama nem değerleri.

Bıçak Kodu	Yaş (g)	Kuru (g)	Nem (%)	Kuru Madde (%)
S	38,00	8,74	76,98	23,02
A	40,46	10,17	74,83	25,17
B	50,93	14,05	72,40	27,60

## 6.5 Kıyılan Ürünün Ortalama Kıyma Boyu

Her üç takım bıçak olması gerektiği gibi 10-20 mm kıyma boyu dağılımı gerçekleştirmiştir. A kodlu bıçağının 9 mm kıyma boyuna daha yakın sonuçlar elde edilmesi nedeniyle biraz daha iyi olduğu söylenebilir. Partikül dağılımında 0-20 mm aralığındaki örneklerin % oranlarına bakıldığında en iyi sonucu % 91,8 ile A kodlu bıçaktan elde edilmiştir (Çizelge 6.13, Çizelge 6.14).



Çizelge 6.13 Kıyma ve dağılım kalitesi için elek analizi ortalama değerleri.

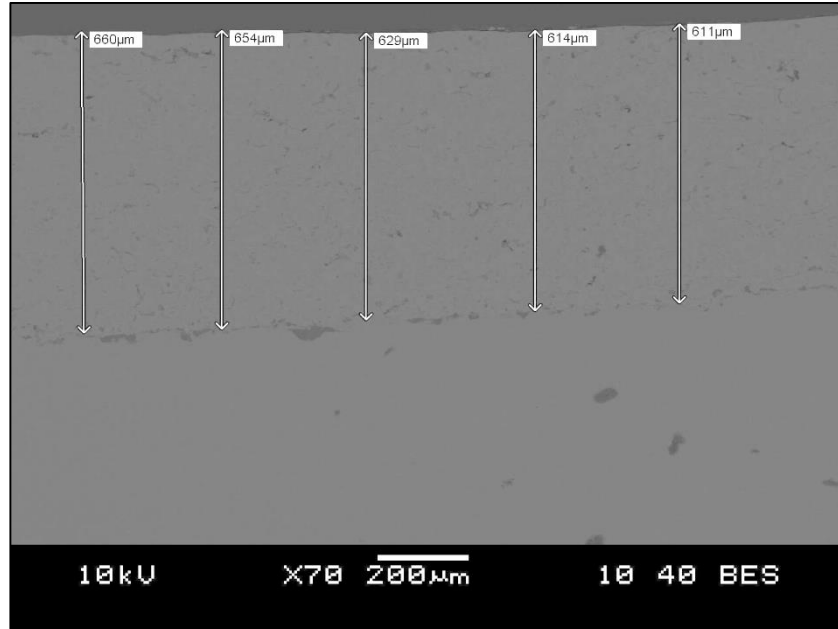
Kıyma boyu aralığı, mm	80-40	40-20	20-10	10-5	5-2,5	Tabla <2,5
S	0,010	0,166	0,739	0,337	0,093	0,034
A	0,010	0,073	0,639	0,211	0,061	0,024
B	0,010	0,163	0,694	0,311	0,084	0,033

Çizelge 6.14 Kıyma ve dağılım kalitesi için elek analizi.

Bıçak Kodu	Ağırlıklı ortalama kıyma boyu, mm	Partikül dağılımında 0-20 mm aralığındaki örneklerin oranı, %
S	14,2	87,2
A	13,9	91,8
B	14,3	86,6

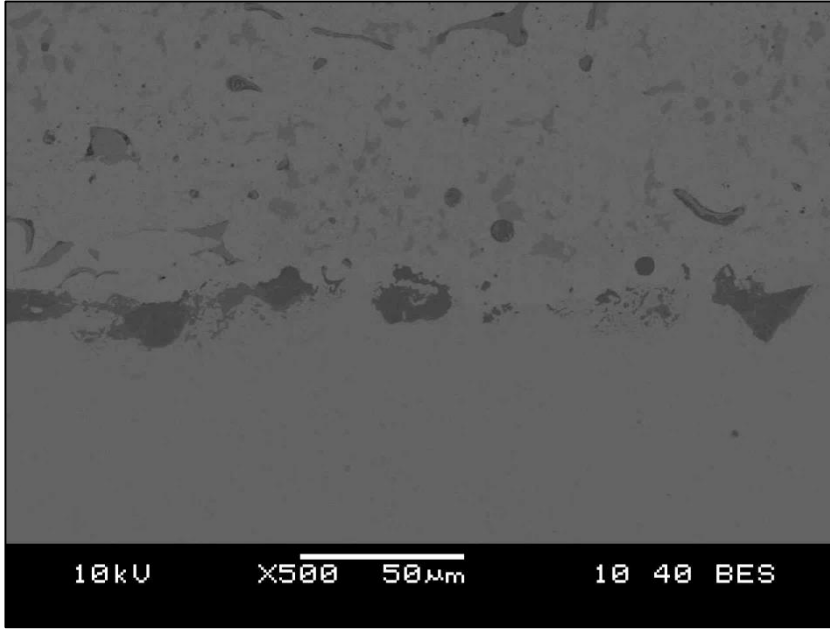
## 6.6 SEM<sub>1</sub>, EDS ve XRD Görüntüleri

SEM<sub>1</sub> analiz cihazında kaplama kalınlığına bakıldığında A kodlu bıçağın kaplama kalınlığının ortalama 600 µm olduğu görülmektedir (Şekil 6.8).

Şekil 6.8 Kaplama kesitinin SEM<sub>1</sub> analiz cihazında kaplama kalınlığı ölçümü.

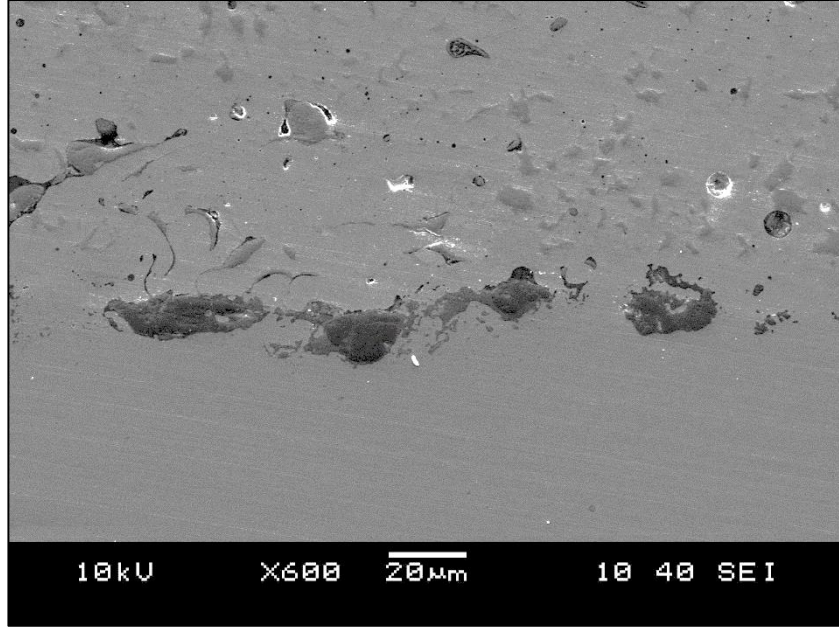
Şekil 6.9'da SEM<sub>1</sub> analiz cihazından alınan kaplama kesitinin X500 büyütülmüş görüntüsü verilmiştir. Şekilde ana malzeme üzerine yapılan kaplama

görülmektedir. Kaplamada bölgesel olarak gözenekli olmasına rağmen matris üzerine iyi bir tutunma sağlamaktadır.



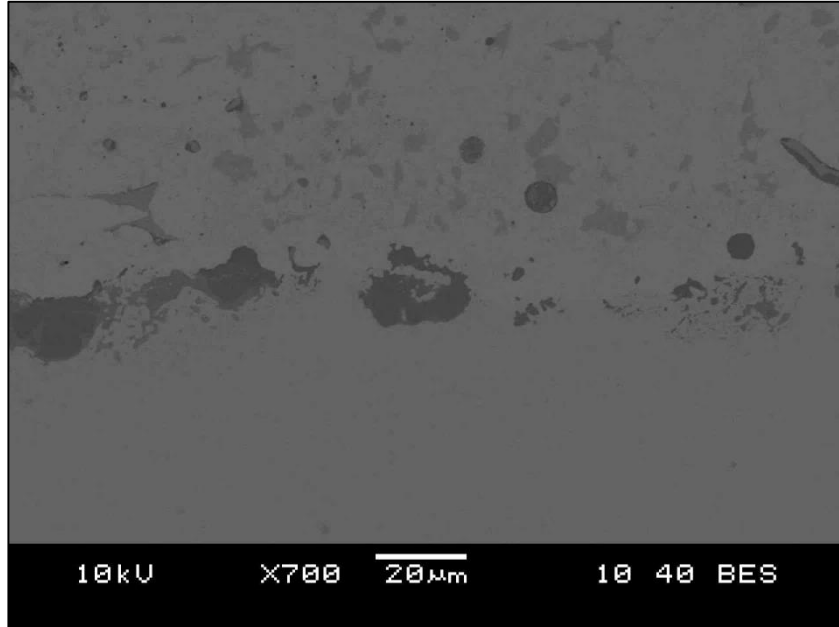
Şekil 6.9 Kaplama kesitinin SEM<sub>1</sub> analiz cihazında X500 büyütme.

Şekil 6.10'da Kaplama kesitinin SEM<sub>1</sub> analiz cihazından alınan X600 büyütülmüş görüntüsü verilmiştir. Şekilde ana malzeme üzerine yapılan kaplama görülmektedir. Kaplama ile ana malzeme arasında bulunan geçiş bölgelerinde bir miktar gözenek bulunmaktadır. Denemelerde yapılan göz ile kontrollerde kaplama malzemesinin atması ile ilgili bir bulgu rastlanmamıştır. Dolayısıyla oluşan gözeneklerin kaplama malzemesinin tutunmasını etkilemediği sunucuna varılmıştır.



Şekil 6.10 Kaplama kesitinin SEM<sub>1</sub> analiz cihazında X600 büyütme.

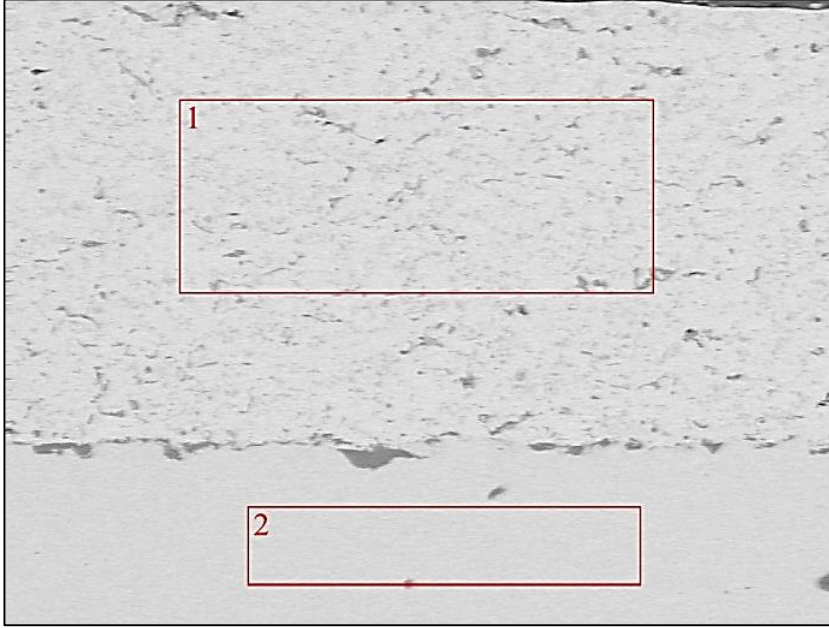
Şekil 6.11’de Kaplama kesitinin SEM<sub>1</sub> analiz cihazından alınan X700 büyütülmüş görüntüsü verilmiştir. Şekilde ana malzeme üzerine yapılan kaplama görülmektedir.



Şekil 6.11 Kaplama kesitinin SEM<sub>1</sub> analiz cihazında X700 büyütme.

Kaplamayı oluşturan elementleri belirlemek için yapılan EDS element analizi yine aynı SEM<sub>1</sub> analiz cihazında gerçekleştirilmiştir. EDS element analizi, Şekil

6.12’de görülen 1. bölgede kaplama malzemesinde, 2. bölgede ana malzemede gerçekleştirilmiştir.



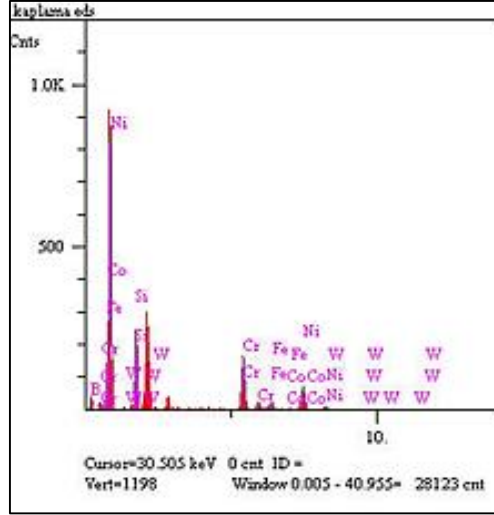
Şekil 6.12 Kaplamanın kesitinde EDS element analizi bölgeleri.

Kaplama malzemesinde gerçekleştirilen EDS element analiz değerleri Çizelge 6.15’te verilmiştir. Analizde kaplama malzemesini oluşturan Si, Cr, Ni, Co, W ve B elementlerini oransal değerlerine bakılmıştır

Çizelge 6.15 Kaplama malzemesi EDS element analiz değerleri.

Component	Mole Conc.	Conc.		
Si	3.349	6.565	wt.%	
Cr	3.027	10.984	wt.%	
Ni	2.800	11.471	wt.%	
Fe	0.645	2.516	wt.%	
Co	0.045	0.184	wt.%	
W	0.022	0.281	wt.%	
B	90.112	68.000	wt.%	
	100.000	100.000	wt.%	
Elm.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc
B	Ka	3.47	0.372	68.000 wt.%
Si	Ka	28.05	1.059	6.565 wt.%
Cr	Ka	24.31	0.986	10.984 wt.%
Fe	Ka	4.09	0.404	2.516 wt.%
Co	Ka	0.24	0.098	0.184 wt.%
Ni	Ka	12.92	0.719	11.471 wt.%
W	La	0.05	0.044	0.281 wt.%
				100.000 wt.%
kV		20.0		
Takeoff Angle		35.0°		
Elapsed Livetime		100.0		

Şekil 6.13'te kaplama malzemesinin EDS element analiz değerleri grafik olarak verilmiştir. Kaplama elementinin içerisinde Si, Cr, Ni, Co, W ve B elementlerinin olduğu görülmektedir. Burada yapışma (bağlanma) özelliği yüksek olan Ni'nin oransal olarak yüksekliği görülmektedir.



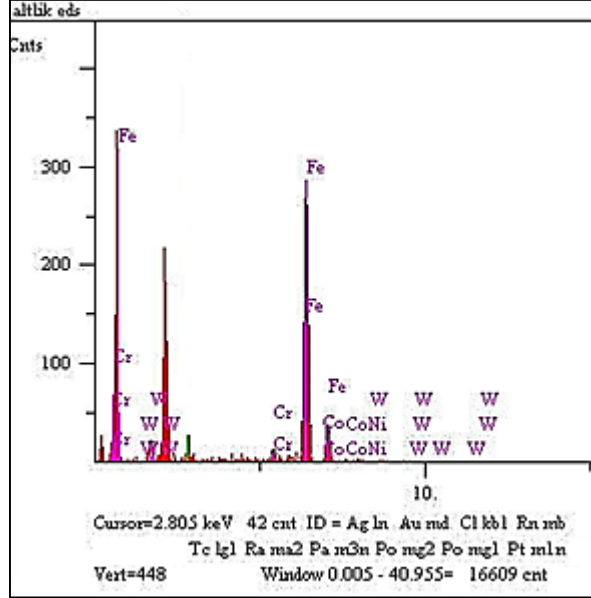
Şekil 6.13 Kaplama malzemesi EDS element analiz değerleri.

Ana malzemede gerçekleştirilen EDS element analiz değerleri Çizelge 6.16'da verilmiştir. Ana malzemeyi oluşturan Cr, W, Fe, Co, Ni ve Si elementlere değerlerine bakılmış ve değerler oransal olarak verilmiştir.

Çizelge 6.16 Ana malzeme EDS element analiz değerleri.

Component	Mole Conc.	Conc.			
Cr	2.251	2.101	wt.%		
W	1.295	4.273	wt.%		
Fe	89.760	89.986	wt.%		
Co	0.000	0.000	wt.%		
Ni	0.481	0.507	wt.%		
Si	6.214	3.133	wt.%		
	100.000	100.000	wt.%		
El.	Line	Intensity (cts)	Error 2-sig	Conc	
Si	Ka	3.57	0.435	3.133	wt.%
Cr	Ka	2.95	0.396	2.101	wt.%
Fe	Ka	60.42	1.792	89.986	wt.%
Co	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%
Ni	Ka	0.22	0.109	0.507	wt.%
W	La	0.31	0.128	4.273	wt.%
				100.000	wt.%
kV		20.0			
Takeoff Angle		35.0°			
Elapsed Lifetime		75.2			

Şekil 6.14'te ana malzemenin EDS element analiz değerleri grafik olarak verilmiştir. Malzemenin çelik olması nedeniyle % Fe oranının yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 6.14 Ana malzeme EDS element analiz değerleri.

Ek 10'da WC-Ni-Cr-Co-B-Si elementlerine ait XRD analiz sonuçları verilmiştir. XRD eğrisinde vermiş olduğu şiddet derecesinden  $\text{Cu}_2\text{NiSi}$ ,  $\text{FeNi}_3$ ,  $\text{CrNi}_2$ ,  $\text{Cr}_3\text{B}$  olduğu anlaşılmaktadır.

## 6.7 Ekonomik Değerlendirme

Silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçaklarının güncel satın alma fiyatı ortalama 20 TL termal püskürtme yöntemiyle WC kaplama yapıldığında bıçak başına 20 TL olarak ek bir maliyet oluşmaktadır. Dolayısıyla kaplanmış bıçakların adet satın alma fiyatı 40 TL olmaktadır. Silajlık mısır hasat makinasında toplam 12 adet kıyıcı bıçak bulunmaktadır. Bir takım kaplamasız bıçak satın alma fiyatı  $12 \times 20 = 240$  TL olurken, kaplamalı bıçaklar ise  $12 \times 40 = 480$  TL olarak hesaplanmaktadır. Ancak başlangıçta iki katı kadar bıçak maliyeti çıksa da kaplamalı bıçakların uzun ömürlü olması ve yakıt maliyetini düşürmesi nedeniyle ekonomik katma değerinin daha yüksek olduğu ortadadır.

S kodlu bıçak ile olumlu sonuç alınan A kodlu bıçak yakıt bakımından değerlendirildiğinde; S kodlu bıçak 30 da'lık alan sonunda ortalama  $7,31 \text{ Lh}^{-1}$  yakıt tüketirken bu değer A kodlu bıçakta ortalama  $5,66 \text{ Lh}^{-1}$  olarak gerçekleşmiştir. 1 gün (8 saat) çalışırsa S bıçağı ile  $8 \times 7,31 = 58,48 \text{ Lgün}^{-1}$ , A bıçağı ile  $8 \times 5,66 = 45,28 \text{ Lgün}^{-1}$  yakıt tüketilir.

Basit bir hesaplama ile motorin fiyatının  $3,93 \text{ TLL}^{-1}$  olduğu düşünülürse S bıçağı ile  $3,93 \times 58,48 = 229,82 \text{ TLgün}^{-1}$ , A bıçağı ile  $3,93 \times 45,28 = 177,95 \text{ TLgün}^{-1}$  yakıt maliyeti oluştuğu görülür.

Sonuçlar değerlendirildiğinde A kodlu bıçak ile günlük  $51,87 \text{ TL}$ 'lik bir yakıt tasarruf olduğu görülmektedir. Bıçak ömründeki artış da göz önüne alındığında bu maliyet düşüşünün daha da artacağı söylenebilir.

Ülkemizdeki silajlık mısır hasat makinası sayısının  $22.000$  olduğu kabul edilirse önemli bir yakıt tasarrufundan bahsedilebilir.

## 7. TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçakları termal püskürtme yöntemi kullanılarak kesme etkinliğinin artırılması amaçlanmıştır. Silajlık mısır hasat makinasının kıyıcı bıçakları mısır bitkisinin kesilmesi esnasında sürtünme nedeniyle keskinliğini yitirmektedirler. Bu nedenle sürtünmeye maruz kalan kıyıcı bıçak kenarı WC (Tungsten Karbür) esaslı toz alaşımları ile kaplanmıştır. Chen and Hutchings (1998) ve Stewart et al. (1998) WC esaslı malzemelerin aşınma dayanımının iyi olduğunu vurgulamışlardır. Bu nedenle silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçaklarının kaplanması WC esaslı toz alaşımları kullanılmıştır. Aşınma mekanizması incelendiğinde sert olan tarafa nazaran yumuşak taraf daha çok aşınacaktır. Bu durum göz önüne alındığında kıyıcı bıçak kanatçığının arka tarafı kaplanarak aşınma bileme yönüne yönlendirilmiştir. Evrenosoğlu ve Yalçın (2006)'ın da belirttiği gibi silajlık mısır hasat makinalarında ortalama kıyım boyu 9 mm civarında olmalıdır. Yapılan deneyler neticesinde hedeflenen kıyım boyu oranı % 91,8 ile A kodlu bıçakta en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

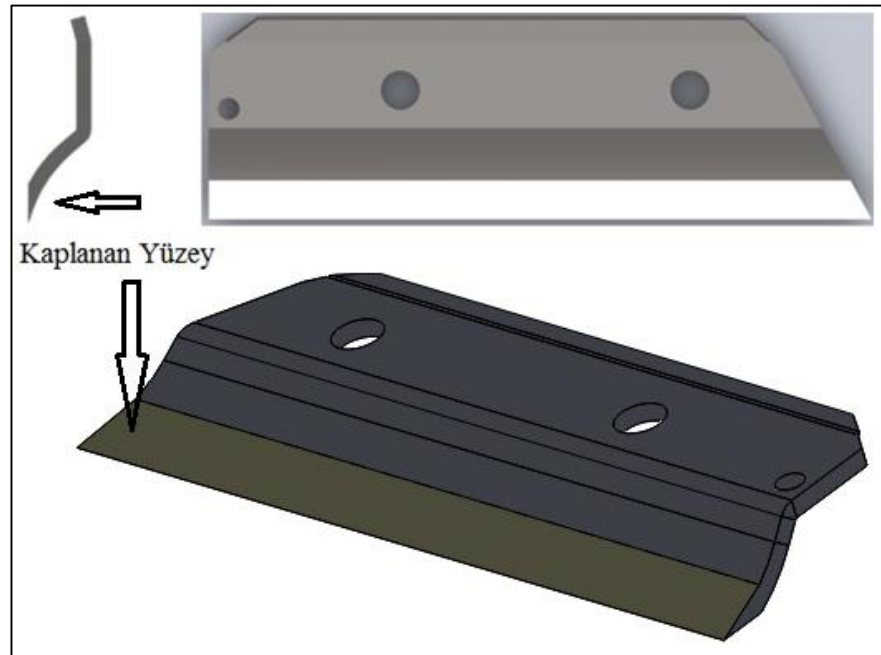
Güner ve Kafadar (1998), diskli ve tamburlu tip iki adet silaj makinası ile güç ve yakıt tüketimi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişler ve diskli tip silaj makinasında güç ve yakıt tüketiminin tamburlu tipe göre daha fazla olduğunu saptamışlardır. Çalışmalarında iki ayrı makina kullanmışlardır. Silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçaklarının kesme etkinliğini geliştirme üzerine yaptığımız çalışmada aynı makina üzerinde sadece kıyıcı bıçaklar değiştirilerek alan deneyleri tamamlanmıştır.

Literatür çalışmaları incelendiğinde silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçaklarının kaplanarak kesme etkinliğinin artırılmasında bıçakların güç ve yakıt tüketimi üzerine etkisinin incelenmesine dair bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular, hazırlanan bıçaklarla yapılan 30 da'lık hasat sonrasında A bıçağının saatlik yakıt tüketimi ortalama  $5,66 \text{ Lh}^{-1}$  21,9 kW güç tüketimiyle en iyi sonuçları verdiği belirlenmiştir.



## 8. SONUÇ

Bu çalışmada tek sıralı silajlık mısır hasat makinasında kullanılan kıyıcı bıçağın kesme performansının geliştirilmesi hedeflenmiş ve böylece bir taraftan etkin çalışma ömrünün uzatılması diğer taraftan da yakıt tüketiminin düşürülmesi sağlanmıştır. Bunu sağlamak için çalışmada kullanılan kıyıcı bıçak kesici yüzeyinin bir bölümü termal kaplama yöntemi kullanılarak özel toz alaşımlarla kaplanmıştır. Şekil 8.1’de kaplanan kıyıcı bıçak kanatçık yüzeyi görülmektedir. Aşınma mekanizması incelendiğine göreceli olarak yumuşak malzemenin, sert olana göre daha önce aşındığı temel bir malzeme davranışıdır. Silajlık mısır hasat işlemi sırasında gerçekleşen kesme işi de malzemenin aşınmasına neden olan ve hızlı gerçekleşen bir olaydır. Kesme işi şekilde görülen keskin kenar tarafından gerçekleştirilmektedir. Şekilde kaplanan yüzey olarak gösterilen bölüm, bıçağın diğer bölümüne göre daha serttir. Kesme işlemi sırasında sert olan kaplama yumuşak olan malzemeye göre daha geç aşındığından keskin kenarda bileme açısı kendini korumaktadır. Alan çalışmaları sırasında bu öngörü büyük oranda gerçekleşmiştir. Böylece kendini bileyen bir mekanizma oluşturularak klasik yöntemde uygulanmak zorunda olan yapay aşındırmaya (bileme) gerek kalmamış, kendi keskinliğini sürekli koruyan bıçak üretilmiştir.



Şekil 8.1 Kaplanan kıyıcı bıçak kanatçık yüzeyi.

Çalışmada kendini bileyen bıçakların (A ve B) performansı yine konvansiyonel olarak kullanılan bıçakla (S) karşılaştırılmıştır. A, B ve S bıçakları güç ihtiyacı ve yakıt tüketimi bakımından birbirleri ile kıyaslandığında en uygun değer A bıçağı ile elde edilmiştir. B bıçağında kullanılan kaplama toz alaşımının içinde bağlayıcı özellik taşıyan Co bulunmaması veya toz bileşiminde buna benzer alaşım elementlerinin yeteri kadar olmaması nedeniyle kaplama matris yüzeyi üzerinde tutunamamış, çalışma sırasında bölgesel olarak yüzeyden ayrılmalar görülmüştür. Çalışmalarda A bıçağıyla yapılan kıyma işinde toplam 30 da sonunda ortalama yakıt tüketimi 5,66 Lh-1 düzeyine inerken bu değer B bıçağı için 7,07 Lh-1, S bıçağı için ise 7,31 Lh-1 olarak gerçekleşmiştir. A bıçağının ortalama güç tüketimi 21,9 kW olurken bu değer B bıçağı için 23,5 kW, S bıçağı için 23,8 kW olarak gerçekleşmiştir. Bu verilere göre yakıt tüketimi ve güç ihtiyacı bakımından en iyi performans A bıçağı ile sağlanmıştır.

Silajlık mısırların hasat ve kıyma işlemi her üç bıçakla çalışmada silajlık mısırın en uygun hasat zamanı olan % 65-75 nem oranı aralığında yapılmıştır. Bu nem aralığında kıyılan ürünün ortalama kıyma boyu 0-20 mm partikül büyüklüğü aralığında incelendiğinde hedeflenen kıyma boyunun A bıçağıyla % 91,8 oranında sağlandığı belirlenmiştir. Bu değer diğer bıçaklarla kıyaslandığında en iyi sonuçtur.

Silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçaklarında termal kaplamayla sağlanan ömür artışı ile yapay aşındırmadan (bileme) kaynaklanan kanatçık uzunluğu kaybı da en aza indirilmektedir. Bıçağın keskinliğini uzun süre muhafaza etmesi nedeniyle kanatçık boyu daha uzun süre korunmaktadır. Böylece bıçak üzerindeki mesafesi korunan kanatçık, biçme sırasında tamburun dönmesiyle birlikte oluşturduğu üfleme basıncını korumakta ve kıyılan ürünün üfleme bacasından daha kararlı bir şekilde çıkış yapmasını sağlamaktadır. Konvansiyonel uygulamalarda yapay aşındırma (bileme) sonucu kısalan kanatçık nedeniyle oluşturulan hava akımı debisi düşmekte ve kıyılan ürünün üfleme bacasındaki iletiminde sorunlar yaşanmaktadır. Bu durumda makinanın bacasında tıkanma oluşmakta, iş ve zaman kaybı yaşanmaktadır.

Bu çalışmanın sonunda termal kaplama yapılan ve A bıçağı olarak adlandırılan bıçakla yapılan hasat işi ile diğer iki (B-S) bıçağın yaptığı iş karşılaştırıldığında A bıçağının her yönüyle daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Kaplama işlemi, bıçak maliyetini iki kat arttırsa da kaplanmış silajlık mısır hasat makinası kıyıcı bıçaklarının ekonomiyeye sağladığı katma değer ilk maliyetle kıyaslanamayacak kadar yüksektir.

## 9. ÖNERİLER

Tarımsal üretimde en önemli girdilerden biri güç kaynağının çalıştırılmasında kullanılan yakıttır. Günümüz çalışmalarının en öncelikli konu başlığı enerji verimliliğini arttırmak, aynı işi daha az enerjiyle yapabilmenin yol ve yöntemlerini geliştirmektir. Bu çalışma sonunda uygulanan yöntem ve kullanılan kaplama malzemesi uygulamaya aktarıldığı durumda önemli bir tasarruf sağlanacaktır. Özellikle ülkemizde yaygın olarak kullanılan tek sıra silajlık mısır hasat makinalarında bulunan bıçakların bu şekilde tungsten karbür (WC) kaplanarak kullanılması önerilmektedir. Bunun gerekçeleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Kaplanan bıçakların sağladığı yakıt tasarrufu,
- Bıçak bilemeden ve değiştirmeden daha fazla alanın hasadının yapılması,
- Kullanılacak kaplamalı bıçaklarla çalışmada makina güç gereksiniminin azalması,
- Yapay aşındırma kaynaklı malzeme kaybının en aza indirilmesi,
- Yapay aşındırmaya gerek kalmayacağı için makina üzerinde sabit halde bulunan aşındırma sistemine gerek kalmaması ve bu durumda da makina üretim maliyetini düşürmesi,
- Konvansiyonel sistemde doğal ve yapay aşındırma sonucunda oluşan bıçak kanatçıklarında oluşan kısıalma ve bu nedenle oluşan iş ve zaman kaybının önemli ölçüde azaltılması (bu konuda nicel bir sonuç bulunmamakla beraber çalışma sırasında gözlem-deneyim sonuçları ve geri bildirimler alınmıştır)
- Hasat edilip kıyılan ürün kıyma boyunun daha uzun süre optimum düzeyde elde edilmesi (kıyma boyu besleme etkinliği açısından önemlidir)

Bu konuda çalışan araştırmacılar tarafından bu çalışma daha kapsamlı ve farklı ürünlerde devam ettirilebilir. Özellikle kaplama işleminde hangi yöntemin uygulanacağı ve hangi toz alaşımının kullanılacağı önemli bir sorudur. Tarım işlerinde farklı koşullara göre kaplama tozu bileşiminin belirlenmesi yönünde de araştırmaların yapılması anlamlı olacaktır.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Advanced Coating**, 2013, Advanced Coating S.A., <http://www.advanced-coating.com/projection-hvof.htm> (Erişim tarihi: 1 Ağustos 2013)
- Alayunt, F. N.**, 2000, Biyolojik Malzeme Bilgisi, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Ders Kitabı, Bornova-İzmir, 132 s.
- Alibaş, K., Tekin, Y., Yüksel, G., Ünal, H., Ulusoy, Y., Işık, E. ve Darga, A.**, 1995, Tarım Alet ve Makinaları, Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi, Eskişehir, 357 s.
- Ang, A. S., Berndt, C. C., and Cheang, P.**, 2011, Deposition Effects of WC Particle Size on Cold Sprayed WC–Co Coatings, *Surface and Coatings Technology*, 205:3260–3267 pp.
- Anık, S.**, 1991, Kaynak Tekniği El Kitabı, Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, İstanbul, 244 s.
- As Kaynak**, 2009, As Kaynak Ürün Katoloğu, Kocaeli.
- Aw, P. K., Tan, A. L., Tan, T. P., and Qiu, J.**, 2008, Corrosion Resistance of Tungsten Carbide Based Cermet Coatings Deposited by High Velocity Oxy-Fuel Spray Process, *Thin Solid Films*, 516:5710–5715 pp.
- Bilgen, H., Çakmak, B., Yalçın, H., Özkul, H., Polat, M., ve Kılıç, A.**, 2005, Plastik Rengi Vakum Uygulaması ve Bekletme Şeklinin Paket Mısır Silaj Yemi Kalitesi Üzerine Etkileri, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42(2):77-85 s.
- Bilgin, S., & Samur, R.**, 2009, Isıl Püskürtme Yöntemi ile Oluşturulan Martenzitik Paslanmaz Çelik Kompozit Toz Kaplamanın Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük.
- Chen, H., and Hutchings, I. M.**, 1998, Abrasive Wear Resistance of Plasma-Sprayed Tungsten Carbide–Cobalt Coatings. *Surface and Coatings Technology*, 107(98):106-114 pp.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Cho, T. Y., Yoon, J. H., Kim, K. S., Song, K. O., Joo, Y. K., Fang, W., and Hwang, S. Y.,** 2008, A Study on HVOF Coatings of Micron and Nano WC–Co Powders, *Surface and Coatings Technology*, 202:5556–5559 pp.
- Evrenosoğlu, M., ve Yalçın, H.,** 2006, Silajlık Mısır Hasat Mekanizasyonu Sistemlerinin İşletmecilik Yönünden İrdelenmesi, *Tarım Makinaları Bilim Dergisi*, 2(1):65-70 s.
- FAO,** 2014, Food and Agriculture Organization of the United Nations, <http://faostat.fao.org/faostat> (Erişim tarihi: 23 Aralık 2014)
- Filya, İ.,** 2001, Silaj Teknolojisi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü, Bursa, 66 s.
- Gordon England,** 2013, Independent Metallurgist and Consultant to the Thermal Spray Coating Industry, <http://www.gordonengland.co.uk> (Erişim tarihi: 1 Ağustos 2013)
- Gökçe, R.,** 2005, Hayvancılıkta Mutlak Kar Getiren Yem Silaj, SÜTAŞ Süt Hayvancılığı Eğitim Merkezi Yayını, Bursa, 9 s.
- Guilemany, J. M., Fernandez, J., Delgado, J., Benedetti, A. V., and Climent, F.,** 2002, Effects of Thickness Coating on The Electrochemical Behaviour of Thermal Spray Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>–NiCr Coatings, *Surface and Coatings Technology*, 153:107–113 pp.
- Gulf Energy,** 2013, Gulf Energy LLC, [http://www.gulfenergy-int.com/?page\\_id=1858](http://www.gulfenergy-int.com/?page_id=1858) (Erişim tarihi: 1 Ağustos 2013)
- Güner, M., ve Kafadar, A.,** 1998, Tamburlu ve Diskli Silaj Makinaları Üzerinde Karşılaştırmalı Bir Araştırma, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 4(1):47-51 s.
- Güney, B., Yavuz, İ., ve Mutlu, İ.,** 2014, Fren Disklerinde Alev Püskürtme ve Ergitme Kaplama Yöntemi Uygulaması, 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa.
- Hayden Corp,** 2013, Hayden Corp., [http://www.haydencorp.com/content.php?p=flame\\_spray](http://www.haydencorp.com/content.php?p=flame_spray) (Erişim tarihi: 1 Ağustos 2014)

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Jianhong, H., and Schoenung, J. M.,** 2002, A Review on Nanostructured WC–Co Coatings, *Surface and Coatings Technology*, 157:72–79 pp.
- John Deere,** 2014, John Deere Company, [https://jdparts.deere.com/partsmkt/document/english/featbene/SPFH\\_INSPECTION\\_AND\\_MAINTENANCE\\_GUIDE.pdf](https://jdparts.deere.com/partsmkt/document/english/featbene/SPFH_INSPECTION_AND_MAINTENANCE_GUIDE.pdf) (Erişim tarihi: 9 Ocak 2014)
- Kasap, E., Engürülü, B., Çiftçi, Ö., Kılınç, S. K., Gölbaşı, M., ve Başaran, H.,** 2000, Tarım Alet ve Makinelerinin Tamir ve Bakımı, T.C. Tarım ve Köyüşleri Bakanlığı DAGMEM, Ankara, 675 s.
- Keleş, G., ve Çıbık, M.,** 2014, Mısır Silajının Besin ve Besleme Değerini Etkileyen Faktörler, *Hayvansal Üretim*, 55(2):27-37 s.
- Knapp, J. K., and Nitta, H.,** 1997, Fine-Particle Slurry Wear Resistance of Selected Tungsten Carbide Thermal Spray Coatings, *Tribology International*, 30(3):225-234 pp.
- Kutlu, H. R.,** 2014, Çukurova Zootekni Derneği, “Tüm Yönleriyle Silaj Yapımı ve Silajla Besleme”, <http://www.zootekni.org.tr/upload/File/SILAJ%20E%20KTABI.pdf> (Erişim tarihi: 20 Aralık 2014)
- Lau, K. H., Mei, D., Yeung, C. F., and Man, H. C.,** 2000, Wear Characteristics and Mechanisms of A Thin Edge Cutting Blade, *Materials Processing Technology*, 102:203-207 pp.
- Nascimento, P. M., Renato, C. S., Ivancy, M. M., Walter, L. P., and Herman, J. V.,** 2001, Effects of Tungsten Carbide Thermal Spray Coating by HP/HVOF and Hard Chromium Electroplating on AISI 4340 High Strength Steel, *Surface and Coatings Technology* 138(01):113-124 pp.
- Özbudak,** 2014, Özbudak Makina Sanayi ve Ticaret <http://www.ozbudak.com.tr> (Erişim tarihi: 7 Ağustos 2014)
- Persson, S.,** 1987, Mechanics of Cutting Plant Material, American Society of Agricultural Engineers, Michigan-USA, 340 p.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Prokap**, 2014, Prokap Makine Bakım Onarım Otomasyon Metal ve Kaplama, <http://www.prokap.com.tr/Teknikbilgi/KAPLAMA%20TANIMLARI.pdf> (Erişim tarihi: 1 Ağustos 2014)
- Safer**, 2014, Silaj Makineleri, [http://safer-omu.net/tr/resimler/m\\_silaj\\_makineleri.pdf](http://safer-omu.net/tr/resimler/m_silaj_makineleri.pdf) (Erişim tarihi: 28 Mart 2014)
- Stewart, D. A., Shipway, P. H., and McCartney, D. G.**, 1998, Influence of Heat Treatment on The Abrasive Wear Behaviour of HVOF Sprayed WC–Co Coatings, *Surface and Coatings Technology*, 105(98):13-24 pp.
- Stewart, D. A., Shipway, P. H., and McCartney, D. G.**, 1999, Abrasive Wear Behaviour of Conventional and Nanocomposite HVOF-Sprayed WC–Co Coatings, *Wear*, 225(99):789–798 pp.
- Sulzer**, 2013, Sulzer Ltd., <http://www.sulzer.com/sv/Products-and-Services/Coating-Equipment/Thermal-Spray/Processes/Electric-Arc-Wire> (Erişim tarihi: 1 Ağustos 2013)
- Şahin, İ. F., ve Zaman, M.**, 2010, Hayvancılıkta Önemli Bir Yem Kaynağı Silaj, *Doğu Coğrafya Dergisi*, 1-18 s.
- TİGEM**, 2013, Hayvancılık Sektör Raporu, Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 49 s.
- Tsetinc**, 2013, Coating, <http://www.tsetinc.com/ceramicoat.htm> (Erişim tarihi: 1 Ağustos 2013)
- Türkoğlu, A. B., Akdeniz, B., Turan, H., Kocatürk, A., ve Aşık, K.**, 2010, Silaj Yapım Tekniği ve Mekanizasyonu, T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Söke Zirai Üretim İşletmesi Tarımsal Yayım ve Hizmetiçi Eğitim Merkezi Müdürlüğü, Söke, 205 s.
- Wikipedia**, 2015, Coating, <http://tr.wikipedia.org/wiki/A%C5%9F%C4%B1nma> (Erişim tarihi: 05 Haziran 2015)
- Yaylak, E., ve Alçıçek, A.**, 2003, Sığır Besiciliğinde Ucuz Bir Kaba Yem Kaynağı Mısır Silajı, *Hayvansal Üretim*, 44(2):29-36 s.



**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

**Yolcu, H., ve Tan, M.,** 2008, Ülkemiz Yem Bitkileri Tarımına Genel Bir Bakış, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi, 14(3):303-312 s.

## ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Manisa ilinin Salihli ilçesine bağlı Sart kasabasında doğdu. 1998 yılında Salihli Endüstri Meslek Lisesi, Metal İşleri Bölümünden mezun oldu. 2000-2004 yıllarında Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü'nü bitirerek Teknik öğretmen unvanını aldı. 2004 yılında yine aynı üniversitenin, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezinde Yrd. Doç. Dr. H. Özkan GÜLSOY danışmanlığında "Ti-6Al-4V Parçaların Toz Enjeksiyon Kalıplama Metodu ile Üretilmesi" konulu yüksek lisans tezini hazırlayarak 2007 yılında mezun oldu. Aynı yıl Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir Meslek Yüksekokulu, Teknik Programlar Bölümü, Makine Teknolojisi Programında öğretim görevlisi olarak atandı. 2008 yılında Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim dalında doktora eğitimine başladı. 2010 yılında kısa dönem olarak yaptığı askerlik görevini Trabzon 48'inci Motorlu Piyade Tugayı Komutanlığında tamamladı. İngilizce bilmektedir.

Ergül evli ve bir çocuk babasıdır.

## **EKLER**

Ek 1 Türkiye’de üretim yapan yerli silajlık mısır hasat makinası firmaları

Ek 2 Landini Powerform 75 model traktör teknik özellikleri

Ek 3 Türk Fiat 80 - 66 model traktör teknik özellikleri

Ek 4 S kodlu bıçak ile çalışılan alanda mısır nem tayini

Ek 5 A kodlu bıçak ile çalışılan alanda mısır nem tayini

Ek 6 B kodlu bıçak ile çalışılan alanda mısır nem tayini

Ek 7 S kodlu bıçağın kıyma ve dağılım kalitesi için elek analizi

Ek 8 A kodlu bıçağın kıyma ve dağılım kalitesi için elek analizi

Ek 9 B kodlu bıçağın kıyma ve dağılım kalitesi için elek analizi

Ek 10 Kaplama malzemesine ait XRD değerleri

Ek 1 Türkiye’de üretim yapan yerli silajlık mısır hasat makinası firmaları

<b>İl</b>	<b>Üretici Firma</b>
Adana	Sönmezler Tarım Makinaları Sanayi ve Tic. Ltd. Şti.
Balıkesir	Çelmak Tarım Mak. Plastik Demir Doğ. Hay. Tic. ve San. Ltd. Şti.
	Paksan Makina San. ve Tic. A.Ş.
	Tınaz Tarım ve Sanayi Makinacıları Tic. ve San. A.Ş.
Burdur	Çokcanlar Makina Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.
	Kayhan Ertuğrul Makina Sanayi ve Tic. A.Ş.
Bursa	Fimaks Makina Gıda ve Tarım Ürünleri San. Tic. A.Ş.
İzmir	Özbudak Makina Sanayi ve Ticaret
	Tosun Tarım Makinaları San. ve Tic. A.Ş.
	Türkay Tarım Makinaları San. ve Tic. Ltd. Şti.
	Verimal Tarım Makinaları Bilgisayar San. ve Tic. Ltd. Şti.
Konya	Çelik-El Tarım Mak. San. ve Tic. Ltd. Şti.
	Hatunsaraylı Tarım Makinaları San. ve Tic. A.Ş
	Özsel Tarım Makinaları ve Ticaret
Sakarya	Berke Tarım Makinaları

Ek 2 Landini Powerform 75 model traktör teknik özellikleri

MOTOR	
Model	Perkins 1104 C-44
Tip	Dizel, Su Soğutmalı
Güç	67 BG / 50 kW
En Yüksek Güçte Motor Devri	2200 dev/dk
Silindir Sayısı	4
Çap ve Strok	105 x 127 mm
Silindir Hacmi	4400 cm <sup>3</sup>
En Yüksek Torkta Motor Devri	1400 dev/dk
Hava Filtresi	Kuru Tip
Yakıt Kapasitesi	102 L
KUYRUK MİLİ (PTO)	
PTO Mili	Bağımsız PTO
Devir	540 dev/dk
Kontrol Şekli	Mekanik
GÜÇ AKTARIMI	
Dişli Kutusu	24 İleri x 12 Geri, Senkromeçli
Maksimum Hız	40 km/h
Fren Tipi	4 Tekerlekte Etkili, Yağ Banyolu, Çoklu Disk, Hidrolik Komutalı
Kaldırma Kapasitesi	3700 kg
Hidrolik Pompa Debisi	52,3 L/dk
Hidrolik Servis Çıkışı	4 Kademeli
Arka Hidrolik Askı Tipi	3 Noktadan
Direksiyon	Hidrostatik
ELEKTRİK SİSTEMİ	
Akümülatör	12 V-100 Ah
Alternatör	14 V-85 A

Ek 3 Türk Fiat 80 - 66 model traktör teknik özellikleri

MOTOR	
Model	Fiat 8045.05
Tip	Dizel, Su Soğutmalı
Güç	85 BG / 62,6 kW
En Yüksek Güçte Motor Devri	2500 dev/dk
Silindir Sayısı	4
Çap ve Strok	104 x 115 mm
Silindir Hacmi	3908 cm <sup>3</sup>
En Yüksek Torkta Motor Devri	1400 dev/dk
Hava Filtresi	Yağ banyolu, ön temizleyicili
Yakıt Kapasitesi	73 L
KUYRUK MİLİ (PTO)	
PTO Mili	Bağımsız PTO
Devir	540 dev/dk
Kontrol Şekli	Mekanik
GÜÇ AKTARIMI	
Dişli Kutusu	12 İleri x 12 Geri, Senkromeçli
Maksimum Hız	40 km/h
Fren Tipi	4 Tekerlekte Etkili, Yağ Banyolu, Çoklu Disk, Hidrolik Komutalı
Kaldırma Kapasitesi	2700 kg
Hidrolik Pompa Debisi	34,5 L/dk
Hidrolik Servis Çıkışı	4 Kademeli
Arka Hidrolik Askı Tipi	3 Noktadan
Direksiyon	Hidrostatik
ELEKTRİK SİSTEMİ	
Akümülatör	12 V-120 Ah
Alternatör	14 V-45 A

Ek 4 S kodlu bıçak ile çalışılan alanda mısır nem tayini

Açıklama: Etüv'de 105 C°'de 24 saat					Ortalama Nem: % 76,98
Örnek No	Kap No	Yaş + Dara (g)	Kuru + Dara (g)	Dara (g)	Nem (%)
1 da	15	85,91	53,15	43,77	77,74
1 da	34	82,57	53,54	45,68	78,69
1 da	11	88,40	54,69	45,91	79,34
5 da	18	72,70	43,07	34,82	78,22
5 da	32	71,03	45,98	38,50	77,01
5 da	22	72,27	47,16	40,22	78,35
10 da	12	81,61	54,58	44,74	73,31
10 da	16	84,78	57,15	47,03	73,19
10 da	13	82,45	54,33	44,21	73,54
15 da	8	78,41	50,70	41,49	75,05
15 da	17	75,71	46,61	37,76	76,68
15 da	6	76,40	49,32	40,43	75,28
20 da	29	75,42	46,87	38,67	77,69
20 da	24	85,14	52,78	44,26	79,16
20 da	25	82,80	55,94	48,14	77,50
25 da	14	86,99	53,19	43,49	77,70
25 da	23	77,45	48,93	41,04	78,33
25 da	3	79,07	47,04	37,84	77,69
30 da	4	87,65	56,38	47,35	77,59
30 da	5	85,47	55,57	46,89	77,50
30 da	2	76,12	51,63	44,41	77,74

Ek 5 A kodlu bıçak ile çalışılan alanda mısır nem tayini

Açıklama: Etüv'de 105 C°'de 24 saat					Ortalama Nem: % 74,83
Örnek No	Kap No	Yaş + Dara (g)	Kuru + Dara (g)	Dara (g)	Nem (%)
1 da	24	82,91	52,86	44,26	77,75
1 da	3	78,52	46,46	37,85	78,83
1 da	16	83,19	55,12	47,03	77,63
5 da	6	79,77	50,62	40,42	74,08
5 da	23	80,50	51,86	41,06	72,62
5 da	14	84,98	54,71	43,51	72,99
10 da	11	84,66	56,13	45,91	73,63
10 da	15	79,54	53,50	43,77	72,80
10 da	18	75,96	45,24	34,82	74,67
15 da	8	82,97	52,49	41,49	73,48
15 da	29	75,23	48,30	38,68	73,68
15 da	5	81,27	56,32	46,89	72,57
20 da	17	75,84	47,52	37,77	74,39
20 da	25	90,66	58,37	48,14	75,94
20 da	4	83,10	55,99	47,35	75,83
25 da	22	87,22	51,50	40,21	75,98
25 da	13	91,91	55,63	44,22	76,07
25 da	12	82,97	54,47	44,73	74,53
30 da	34	89,33	57,00	45,67	74,05
30 da	32	89,23	51,13	38,49	75,09
30 da	2	86,55	55,02	44,41	74,82



Ek 6 B kodlu bıçak ile çalışılan alanda mısır nem tayini

Açıklama: Etüv'de 105 C°'de 24 saat					Ortalama Nem: % 72,40
Örnek No	Kap No	Yaş + Dara (g)	Kuru + Dara (g)	Dara (g)	Nem (%)
1 da	8	97,06	57,62	41,51	71,00
1 da	13	99,16	59,79	44,24	71,69
1 da	16	93,83	60,18	47,15	72,09
5 da	17	90,66	51,27	37,82	74,55
5 da	5	97,67	59,43	46,93	75,36
5 da	12	92,40	56,49	44,78	75,41
10 da	4	106,42	63,14	47,38	73,31
10 da	14	97,30	57,87	43,54	73,34
10 da	25	104,19	63,24	48,14	73,06
15 da	22	88,38	53,35	40,24	72,77
15 da	6	90,33	53,91	40,48	73,06
15 da	11	93,38	59,04	45,93	72,37
20 da	15	103,44	60,49	43,78	71,99
20 da	32	84,12	51,00	38,52	72,63
20 da	34	95,35	59,62	45,70	71,96
25 da	2	93,66	58,89	44,43	70,63
25 da	18	88,78	50,49	34,83	70,97
25 da	23	89,44	55,15	41,06	70,88
30 da	3	86,05	51,98	37,87	70,71
30 da	24	91,04	57,53	44,29	71,68
30 da	25	84,23	51,97	38,70	70,85

Ek 7 S kodlu bıçağın kıyma ve dağılım kalitesi için elek analizi

Örnek No	80-40 mm	40-20 mm	20-10 mm	10-5 mm	5-2,5 mm	Tabla
1 da	0,01	0,14	0,77	0,22	0,06	0,03
5 da	0,01	0,09	0,58	0,25	0,06	0,02
10 da	0,01	0,23	0,75	0,24	0,05	0,02
15 da	0,01	0,28	0,76	0,43	0,10	0,05
20 da	0,01	0,06	0,69	0,41	0,10	0,03
25 da	0,01	0,08	0,91	0,43	0,13	0,04
30 da	0,01	0,28	0,71	0,38	0,15	0,05

Ek 8 A kodlu bıçağın kıyma ve dağılım kalitesi için elek analizi

Örnek No	80-40 mm	40-20 mm	20-10 mm	10-5 mm	5-2,5 mm	Tabla
1 da	0,01	0,05	0,59	0,31	0,08	0,02
5 da	0,01	0,07	0,64	0,28	0,08	0,04
10 da	0,01	0,08	0,61	0,23	0,07	0,03
15 da	0,01	0,07	0,71	0,15	0,05	0,02
20 da	0,01	0,09	0,58	0,17	0,06	0,02
25 da	0,01	0,06	0,65	0,15	0,04	0,02
30 da	0,01	0,09	0,69	0,19	0,05	0,02

Ek 9 B kodlu bıçağın kıyma ve dağılım kalitesi için elek analizi

Örnek No	80-40 mm	40-20 mm	20-10 mm	10-5 mm	5-2,5 mm	Tabla
1 da	0,01	0,76	1,50	0,20	0,06	0,02
5 da	0,01	0,08	0,64	0,36	0,08	0,03
10 da	0,01	0,04	0,63	0,33	0,07	0,02
15 da	0,01	0,05	0,45	0,29	0,09	0,03
20 da	0,01	0,04	0,73	0,38	0,07	0,02
25 da	0,01	0,07	0,38	0,41	0,13	0,06
30 da	0,01	0,10	0,53	0,21	0,09	0,05

## Ek 10 A kodlu bıçağın kaplama malzemesine ait XRD değerleri

