

# TRAKYA YÖRESİ KIRSAL KESİMİNDE KURULABİLECEK RÜZGAR TÜRBİNLERİ İÇİN ÖNERİLER

Dr.Ali VARDAR

T.Ü.Tekirdağ Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü TEKİRDAĞ  
avardar@tu.tzf.edu.tr Tel: 0 282 293 14 42, Fax: 0 282 293 13 78

Prof.Dr.Bülent EKER

T.Ü.Tekirdağ Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü TEKİRDAĞ  
bulek@tu.tzf.edu.tr Tel: 0 282 293 14 42, Fax: 0 282 293 13 78

## ÖZET

Ülkemizin enerji sorununa çözüm arayışları içinde daha fazla enerji üretiminin yanında, belirli kesimlerin kendi enerji ihtiyaçlarını kendileri üreterek ulusal şebekeden daha az enerji talep etmeleri konusu da düşünülmesi gerekir. Bu düşünce altında, kırsal kesimin de kendi enerji ihtiyacını kendisinin üretebilmesi önemlidir. Kırsal kesim açısından kendi enerjisini kendisinin üretmesi, üretimini yaptığı tarımsal ürünlerin girdi kaleminde enerji maliyetinin düşmesini de sağlayacaktır.

Kırsal kesimin kendi enerjisini üretebileceği kaynaklar çeşitlidir. Bunların en önemlilerini temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır. Bu enerji kaynaklarından biri de rüzgar enerjisidir.

Bu çalışmada, 270 farklı rotor formunun rüzgar tüneli denemeleri sonuçlarına göre Trakya yöresi kırsal kesiminde kurulabilecek rüzgar türbinleri için bazı önerilere yer verilmiştir. Bu amaçla Trakya yöresinde bulunan Kırklareli, Lüleburgaz, Tekirdağ, Çorlu ve Edirne ele alınmış ve buralardaki kırsal kesimin enerji tüketimleri ortaya konulmuştur. Bu enerji tüketimlerini karşılayabilecek rüzgar türbini özellikleri göz önüne alınarak yörenin geneli için yapılacak önerilere şekil verilmiştir. Bu çerçevede Rüzgar türbininde kullanılacak kanat tipi, kanat sayısı, kanat açıları, rüzgar türbin yüksekliği ve rüzgar türbini rotor çapı belirlenmiştir.

## 1.GİRİŞ

Ülkemizde yıllardır süregelen sorunlardan biri enerji sorunudur. Ülkemizde 1999 yılında üretilen elektrik enerjinin % 68,75 'i termik santrallerden, % 29,2 'si hidrolik santrallerden, % 0,07 'si jeotermal santrallerden ve % 0,02 'si rüzgar santrallerinden üretilmiş ve % 1,96 lık kısmı ise ithal edilmiştir (1). İthal edilen elektrik enerjisi Bulgaristan, İran ve Gürcistan gibi ülkelerden sağlanmaktadır. Ancak son yıllarda özellikle "mavi akım projesi" ile birlikte ülkemiz kaynağına kendisinin sahip olmadığı bir enerji üretimiyle karşılaşmıştır. Bu enerji üretimi doğalgaz enerjisidir. Şu anda ülkemizin ürettiği elektrik enerjinin % 40 'ı doğal gazdan sağlamaktadır ve bu payın % 60 'a çıkması beklenmektedir. Özellikle doğal gaz anlaşmasının içeriğini incelediğimizde doğalgazdan ürettiğimiz enerjinin bizi dışarıdan satın aldığımız enerjiye kıyasla dışarıya daha çok bağımlı kıldığını görmekteyiz. Doğalgazdan elektrik enerjisi üretebilmek için termik ve hidrolik santrallerimizi çok düşük kapasitelerde

çalıştırmaktayız. Yenilenebilir enerji kaynaklarımızı ise neredeyse hiç kullanmamaktayız. Bir ülkenin tam bağımsızlığının temel taşlarından biri olan enerji, dışarıdan satın alındığında o ülke dışarıya bağımlı hale gelir.

Ülkemizin enerji sorununa çözüm ararken çözümsüzlüğü pekiştirdiğimiz bugünkü ortamda özellikle kaynağının tamamı ülkemizde bulunan enerji üretimine yönelmemiz önem kazanmaktadır. Bu kaynaklar göz önüne alındığında hidrolik ve termik santrallerin ülkemiz için çok önemli olduğu görülmektedir. Bu santrallerin geliştirilmesi ve enerji çeşitliliğinin sağlanması amacıyla alternatif enerji arayışları ülkemiz için vazgeçilmez bir konudur. Hidrolik ve termik santrallerin yanında alternatif kaynaklar olarak karşımıza temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları çıkmaktadır. Bunların başlıcaları güneş enerjisi, bio-kütle enerjisi, jeotermal enerji ve rüzgar enerjisidir.

Bu çalışmanın amacı, özellikle Trakya yöresi kırsal kesiminde kurulabilecek rüzgar türbinlerinin kanat tipi, kanat sayısı, kanat açıları, rüzgar türbin yüksekliği ve rüzgar türbini rotor çapları hakkında bilimsel bir araştırmaya dayanan önerileri ortaya koymaktır.

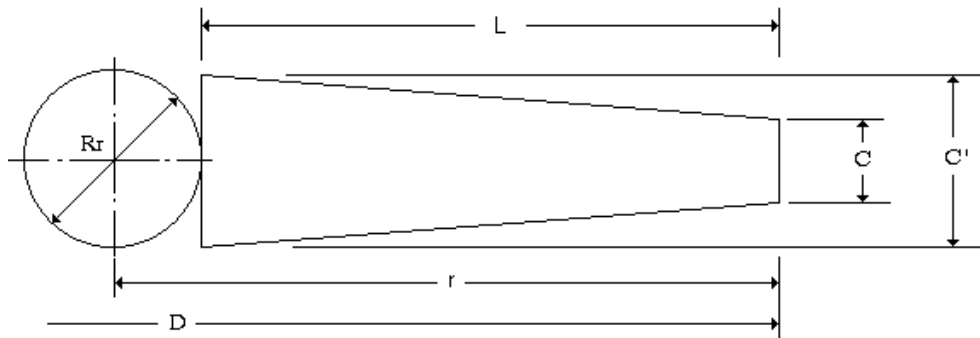
## 2.MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1.MATERYAL

#### 2.1.1.RÜZGAR TÜRBİN KANAT FORMLARI

Denemelerde kullanılan kanatlar Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Atölyelerinde üretilmiştir. Kanatlar malzeme olarak maket uçak imalatında da kullanılan ve mukavemeti oldukça düşük ve yoğunluğu  $0,075 \text{ g/cm}^3$  olan “Balsa” ağacından yapılmıştır. Kanatlar 310 mm rotor, 48 mm göbek (rotorun merkezinde yer alan ve rotor merkezine gelen rüzgarı kanatlara aktaran parça) çapında ve 130 mm kanat boyunda hazırlanmıştır (Şekil-1).

Kanat profillerinin seçiminde “National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) (Ulusal havacılık öneri komitesi)” nin belirlediği esaslar alınmıştır (2).



Şekil-1. Rotor kanat boyutları.

270 farklı rotorun her biri için bir “form kod numarası” verilmiştir. Form kod numaraları bir harf ve üç rakkamdan oluşmaktadır. “Form kod numarası” olarak verilen kodların başındaki harfler profilleri simgelemektedir. Burada A harfi NACA-0012 profilini, B harfi NACA-4412 profilini, C harfi NACA-4415 profilini, D harfi NACA-5317 profilini, E harfi NACA-23012 profilini ve F harfi NACA-23015 profilini

simgelemektedir. Form kod numaralarında harften sonraki ilk rakam kanat burulma açısını (kanadın vida adımı şeklindeki helozonik açısını) simgelemektedir. Burada 1 rakamı burulma açısının 00 olduğunu, 2 rakamı burulma açısının 100 olduğunu ve 3 rakamı burulma açısının 200 olduğunu ifade etmektedir. Harften sonraki ikinci rakam rotor kanat sayısını simgelemektedir. Burada 1 rakamı rotorun 2 kanatlı olduğunu, 2 rakamı rotorun 3 kanatlı olduğunu ve 3 rakamı da rotorun 4 kanatlı olduğunu ifade etmektedir. Form kod numaralarında son rakam ise kanadın rotora bağlanma açısını simgelemektedir. Buna göre 1 rakamı bağlama açısının 50 olduğunu, 2 rakamı bağlama açısının 80 olduğunu, 3 rakamı bağlama açısının 100 olduğunu, 4 rakamı bağlama açısının 150 olduğunu ve 5 rakamı da bağlama açısının 180 olduğunu ifade etmektedir.

### 2.1.2. TRAKYA YÖRESİ RÜZGAR VERİLERİ

Trakya yöresine ait uzun yıllar ortalama rüzgar hızı değerleri Trakya yöresinin değişik noktalarında kurulabilecek rüzgar türbinlerinde kullanılacak türbin kanatlarının belirlenmesinde önem taşımaktadır. DMİ ve EİE kaynaklarına göre Trakya yöresine ait uzun yıllar ortalama rüzgar hızı değerleri ve DMİ kaynaklarına göre Trakya yöresine ait baskın rüzgar esme yönleri Çizelge-1’de verilmiştir (3).

Çizelge-1. Trakya yöresi uzun yıllar ortalama rüzgar hızları ve esme yönleri.

Ölçüm Yeri	Ortalama Rüzgar Hız Değerleri (m/s)	Rüzgar Baskın Esme Yönü	Rüzgar Esme Sa yıs 1	Baskın Esme Yönündeki Ortalama Hız Değeri
Florya	3,5	NE	5430	3,4
Kumköy	4,9	NE	2411	4,4
Kırklareli	3	ENE	1223	2,7
Lüleburgaz	1,8	NE	5170	2,6
Tekirdağ	3,1	NE	3569	4,1
Çorlu	3,9	NE	3626	4,8
Edirne	1,7	N	4018	2,4
İpsala	3,8	NNE	1348	3,8
Uzunköprü	3,42	-	-	-
Gökçeada	4,4	NNE	1173	5,9

### 2.1.3. TRAKYA YÖRESİ KIRSAL KESİMİNİN ENERJİ TÜKETİMİ

Trakya yöresinde elektrik dağıtımını TREDAS (Trakya Elektrik Dağıtım A.Ş.) yapmaktadır. Bu şirketin verilerine göre Trakya’da 2001 yılı içerisinde toplam olarak 2.456.613.349 kWh’lik bir enerji tüketimi gerçekleşmiştir. Trakya yöresinde tüketilen enerjinin yaklaşık %31,38’i meskenlerde ve kırsal kesimde tüketilmiştir. Aşağıda Çizelge-2’de Trakya yöresinde 2001 yılı içerisinde tüketilen enerji değerlerinin yerleşim yerlerine göre dağılımı görülmektedir (4). Çizelge’de “abone başı saatlik maksimum güç” adı altında verilen sütunda geceleri enerji tüketiminin daha az gündüzleri ve akşam saatlerinde daha fazla olduğu göz önüne alınmıştır.

Çizelge-2.Trakya yöresindeki mesken ve tarımsal kesimin 2001 yılı 12 aylık enerji tüketim değerlerinin yerleşim yerlerine göre dağılımı.

Yer	Abone Sayısı	TÜKETİM (kWh)				
		Toplam	Abone Başı Yıllık	Abone Başı Aylık	Abone Başı Saatlik	Abone Başı Saatlik Max. Güç
Tekirdağ	177.582	305.266.456	1719,02	143,252	0,199	4,776
Çorlu	75.208	58.174.278	773,51	64,459	0,090	2,160
Çerkezköy	50.674	24.806.419	489,53	40,794	0,057	1,368
Kırklareli	87.572	144.977.194	1655,52	137,96	0,192	4,608
Lüleburgaz	52.737	42.529.329	806,44	67,203	0,093	2,232
Edirne	120.728	161.615.349	1338,67	111,556	0,155	3,720
Keşan	52.743	33.602.236	637,09	53,091	0,074	1,776
TOPLAM	617.244	770.971.261	1249,05	104,088	0,145	3,480

## 2.2.YÖNTEM

Araştırmada 270 adet farklı özelliklerdeki minyatür rotor formlarının rüzgar tüneli denemeleri yapılmıştır. Bu denemelerde rüzgar hızı, rüzgar tünel sıcaklığı, rotor formunun devir sayısı, rotor formu tarafından üretilen elektriksel gerilim ve akım değerleri ölçülmüştür.

Burada kullanılan rüzgar hızı (V1) değerleri DMİ 'den alınan yöreye ait uzun yıllar ortalama rüzgar hızı değerleridir. Kullanılan rüzgar hızı değerleri ayrıca yer yüzeyinden 10 m yükseklikteki değerlerdir.

Gerçek kanatların Trakya yöresine uyarlanmasına ilişkin hesaplamalarda da rotor kesit alanı 1 no'lu eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

A : rotor kesit alanı (m<sup>2</sup>)

d : rotor çapı (m) dir.

Rotor eksen yüksekliğindeki rüzgar hızı değerleri aşağıdaki 2 no'lu eşitlik yardımıyla bulunmuştur (5).

$$v(h) = (u^* / k) \ln (h/z_0) \quad (2)$$

Bu eşitlikte;

K : Von Karman sabiti (0,4)

u\* : rüzgarın yer yüzeyindeki hızı (sürtünme hızı) (m/s)

h : rüzgar hızının ölçüldüğü yükseklik (m)

z<sub>0</sub> : yer yüzeyindeki engellerden kaynaklanan pürüzlülük uzunluğudur (m).

(Gözlemi tahmin ve tecrübeye dayalı bir değerdir.)

Rüzgarın teorik gücünün tamamını yararlı güce yani mil gücüne çevirmek mümkün değildir. Çevrim sırasında kayıplar söz konusudur. Bu durumda teorik rüzgar gücünün hangi oranda mil gücüne dönüştürülebileceğini hesaplamak gerekir. Bu hesaplamalar aşağıdaki 3 no'lu eşitlik yardımıyla yapılmıştır (6).

$$CP = CPSchmitz \cdot \eta_{profil} \cdot \eta_{uç} \quad (3)$$

Bu eşitlikte;

CP : güç katsayısı (%)

CPSchmitz : girdap kayıpları (%)

$\eta_{profil}$  : profil kayıpları (%)

$\eta_{uç}$  : uç kayıpları (%) dir.

Rotor mil gücü hesaplamalarında ise 4 no'lu eşitlik kullanılmıştır (7, 8). Yapılacak hesaplamalar sonucunda rotorları birbirleriyle kıyaslama olanağı sağlayabilmek için havanın özgül ağırlığı ( $\rho$ ) ve rüzgar hızı ( $V1$ ) değerleri sabit değerler olarak seçilmiştir. Bu değerler  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$  ve  $V1 = 10 \text{ m/s}$  dir.

$$P_{mil} = 0,5 \rho A V^3 CP$$

(4)

Bu eşitlikte;

$P_{mil}$  : rotorun milindeki güç (W)

$\rho$  : havanın özgül ağırlığı ( $\text{kg/m}^3$ )

$V1$  : rüzgarın hızı (m/s)

$A$  : rotor kesit alanıdır ( $\text{m}^2$ )

CP : güç katsayısı (%)

### 3.ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Trakya yöresinde bulunan merkezler için elektriksel güç talebine karşı rüzgar potansiyelleri ile 10 m yükseklikte birim rotor alanından üretebilecekleri güç değerleri Çizelge-3 'de verilmiştir.

Çizelge-3. Yörelere elektriksel güç talebine karşı rüzgar potansiyelleri ile 10 m yükseklikte birim rotor alanından üretebilecekleri güç değerleri.

Yöre	Elektriksel Güç Talebi (W)		10 m yükseklikteki Rüzgar Hızı (m/s)	10 m yükseklikteki Teorik rüzgar potansiyeli (W/m <sup>2</sup> )	En iyi kanadın10 m yükseklikte üretebileceği güç (W/m <sup>2</sup> )
	Tüketimin dengeli dağılımı hali	Tüketimin günün 1 saatinde yoğunlaşması hali			
Kırklareli	384	4608	3	16,88	6,08
Lüleburgaz	186	2232	1,8	3,65	1,28
Tekirdağ	398	4776	3,34	23,29	8,38
Çorlu	180	2160	3,9	37,07	13,35
Edirne	310	3720	1,87	4,09	1,43

Ortalama	290	3480	2,78	13,43	6,76
----------	-----	------	------	-------	------

Trakya yöresinde bulunan merkezlere baktığımızda, kanadın harekete başlama hızı Kırklareli için 3 m/s, Lüleburgaz için 1,8 m/s, Tekirdağ için 3,34 m/s, Çorlu için 3,9 m/s, Edirne için 1,87 m/s ve Trakya ortalaması için 2,78 m/s 'nin altında olması gerektiği anlaşılmaktadır.

Trakya yöresinde bulunan merkezler için rüzgar türbininin özelliklerine yönelik olarak yapılabilecek tavsiyeler Çizelge-4 'de yer almaktadır.

Çizelge-4.Trakya yöresi için enerji gereksinimleri bazlı rüzgar türbini tavsiyeleri.

Yöre	Tavsiyeler							
	Kanat Tipi (NACA)	Burulma Açısı (0)	Kanat Sayısı	Bağlama Açısı (0)	Türbin Yüksekliği (m)		Rotor Çapı (m)	
					( a )	( b )	( a )	( b )
Kırklareli	4415	0	4	18	15	25	7,61	21,71
	4415	10	3	18	15	25	7,5	21,38
	23012	0	2	10	15	25	7,96	22,68
Lüleburgaz	4415	0	4	18	20	35	10,17	28,84
	0012	0	4	18	20	35	11,16	31,69
	0012	0	3	18	20	35	11,57	32,84
Tekirdağ	0012	0	4	18	15	25	6,6	18,77
	4412	10	3	18	15	25	6,51	18,57
	0012	0	2	10	15	25	6,9	19,63
Çorlu	0012	0	4	18	10	20	4,2	10,87
	4412	10	3	18	10	20	4,15	10,72
	0012	0	2	10	10	20	4,4	11,37
	0012	0	4	5	10	20	4,11	10,63
Edirne	4415	0	4	18	20	40	12,42	33,63
	0012	0	4	18	20	40	13,65	36,93
	0012	0	3	18	20	40	14,14	38,28
Genel	4415	0	4	18	15	30	7,42	19,76
	4415	10	3	18	15	30	7,32	19,49

( a ) - Tüketimin dengeli dağılımı halindeki elektriksel güç talebine göre.

( b ) - Tüketimin günün 1 saatinde yoğunlaşması halindeki elektriksel güç talebine göre.

#### 4.SONUÇ VE ÖNERİLER

Trakya yöresinin kırsal kesiminin elektriksel güç talebi incelendiğinde en fazla talebin Tekirdağ'da olduğu görülmektedir (4). Yer yüzeyinden 10 m yükseklikteki rüzgar hızlarına bakıldığında ise Çorlu en yüksek değere sahiptir.

Trakya yöresindeki merkezlere göre kullanılması önerilebilecek rotor formları incelendiğinde rotor formunun harekete başlama hızına göre aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir.

Kırklareli için NACA 4415 kanat tipinde, 00 burulma açısında, 4 kanatlı ve bağlama açısı 180 olan rotor formları ile yine NACA 4415 kanat tipinde, 100 burulma açısında, 3 kanatlı ve bağlama açısı 180 olan rotor formları önerilebilir.

Lüleburgaz için NACA 4415 kanat tipinde, 00 burulma açısına sahip, 4 kanatlı ve bağlama açısı 180 olana rotor formları ile NACA 0012 kanat tipinde, 00 burulma açısında, 4 kanatlı ve bağlama açısı 180 olan rotor formları önerilebilir.

Tekirdağ için NACA 4415 kanat tipine sahip, 00 burulma açısında, 4 kanatlı ve bağlama açısı 180 olan form ile aynı kanat tipinin 100 burulma açılı, 3 kanatlı ve bağlama açısı 180 olan rotor formları önerilebilir.

Çorlu için NACA 4415 kanat tipine sahip 00 burulma açılı, 4 kanatlı ve bağlama açısı 180 olan rotor formu ile yine aynı kanat tipinde 100 burulma açılı, 3 kanatlı ve bağlama açısı 180 olan rotor formları önerilebilir.

Edirne için ise yine NACA 4415 kanat tipinin 00 burulma açılı, 4 kanatlı ve 180 bağlama açılı formları ile NACA 0012 kanat tipinin 00 buluma açılı, 4 kanatlı ve 180 bağlama açılı formları en uygun olanlarıdır.

Trakya yöresini genel olarak ele aldığımızda ise NACA 4415 kanat tipinin iki farklı formunu önermek mümkündür. Bunlardan biri 00 burulma açılı, 4 kanatlı ve 180 bağlama açılı rotor formu diğeri ise 100 burulma açılı, 3 kanatlı ve 180 bağlama açılı rotor formudur.

Trakya yöresinin kırsal kesiminin elektriksel güç tüketiminin günün 12 saatine düzgün olarak yayılması halinde önerilebilecek türbin yüksekliği ve rotor çapları Çizelge 5.19'da verilmiştir. Buna göre yükseklik ve rotor çapı olarak en düşük değere sahip rüzgar türbini Çorlu'da kurulabilir. Elektriksel güç talebini karşılayabilmek için en yüksek ve rotor çapı en büyük türbin ise Lüleburgaz ve Edirne'de kurulabilir. Trakya'nın geneli için ortalama rüzgar türbini yüksekliği 15m, rotor çapı ise 7,37m'dir.

Trakya yöresinin kırsal kesiminin elektriksel güç tüketiminin günün 1 saatinde yoğunlaşması halinde ise önerilebilecek türbin yüksekliği ve rotor çapları da yine Çizelge 5.19'da verilmiştir. Buna göre de yükseklik ve rotor çapı olarak en düşük değere sahip rüzgar türbini yine Çorlu'da kurulabilir. Elektriksel güç talebini karşılayabilmek için en yüksek ve rotor çapı en büyük türbin ise Edirne'de kurulabilir. Trakya'nın geneli için ortalama rüzgar türbini yüksekliği 30m, rotor çapı ise 19,63m'dir.

Önerilebilecek son bir nokta da rüzgar türbininin kurulacağı nokta ile ilgilidir. Rüzgar türbininin kurulacağı noktada esen rüzgarın hakim esme yönü dikkate alınarak bu yönde rüzgarın hızını kesecek engellerin olmamasına özen gösterilmelidir. Buna göre Kırklareli'nde doğu-kuzeydoğu yönünde, Lüleburgaz, Tekirdağ ve Çorlu'da kuzeydoğu yönünde, Edirne'de kuzey yönünde ve Trakya'nın genelinde güneydoğu yönünde rüzgarın hızını kesen engeller olmayan noktalara rüzgar türbini kurulması önerilebilir.

## 5.REFERANSLAR

- 1.ANONYMOUS, 2000, Enerji İstatistikleri, Enerji Dergisi Sayı:12 s.46.
- 2.DREESE, J., 2000, Aero Basics & DesignFOIL, User Guide, Capitola, CALIFORNIA.
- 3.ANONYMOUS, 1984, Türkiye Rüzgar Enerjisi Doğal Potansiyeli, Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü Yayınları: 85-1, ANKARA
- 4.ANONYMOUS, 2002, Trakya Yöresindeki Meskenlerin 2001 yılı 12 aylık enerji tüketimleri, TREDAS Genel Müdürlüğü, TEKİRDAĞ
- 5.KLUG, H., 2001, Basic Course in Wind Energy, Deutsches Windenergie Institute GmbH (DEWI), İSTANBUL
- 6.ÖZDAMAR, A., M. G. KAVAS, 1999, Rüzgar Türbini Pervanesi Dizaynı Üzerine Bir Araştırma, Güneş Günü Sempozyumu Bildiriler Kitabı S.151-160, KAYSERİ
- 7.UYAR, T. S., 1985, Rüzgar Enerjisi Sistemleri, TÜBİTAK-MAM-MESAB, KOCAELİ
- 8.JAGADEESH, A., 1984, Windmills to Boost Agricultural Production in India, 2nd International Symposium on Mechanization and Enegy in Agriculture Bildiriler Kitabı S.261-266, ANKARA