



## Biyokütle Enerji Santralleri İçin Tarımsal Atıklar: Şanlıurfa İlinde Tarımsal Atık ve Artıkların Değerlendirilmesi

Kübra Al<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Enerji Sistemleri Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Yalova Üniversitesi, Yalova, Türkiye

E-posta: [kubra.al@outlook.com](mailto:kubra.al@outlook.com)

Orcid: 0000-0001-5201-5245

**Gönderim 27.03.2021; Kabul 09.06.2021**

**Özet:** İklim değişikliğine neden olan CO<sub>2</sub> salınımını en aza indirmek, enerji güvenliğini artırmak ve sürdürülebilir bir çevreye sahip olmak için yenilenebilir enerji kaynakları ve bu kaynaklardan elde edilen yenilenebilir enerji hep gündemde olmalıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında bulunan biyokütle, yakıt üretimine imkân sağlayan yegâne kaynaktır. Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası (BEPA) 2020 yılı verilerine göre Türkiye'nin atıkların toplam enerji eşdeğeri 34 002 549 TEP/yıl'dır. Şanlıurfa ili Türkiye'deki toplam tarım alanının %4.9'una sahiptir ve arazisinin %59.3'ü tarım alanı olarak kullanılmaktadır. Ülkemizdeki buğday üretiminin %3.57'i, arpa üretiminin %5.1'i, mısır üretiminin %4.26'i, pamuk üretiminin %36.97'u Şanlıurfa'da gerçekleşmektedir. Bölgedeki atık miktarı ve bu atıkların ısı değeri incelendiğinde, buğday, mısır ve pamuk atıklarının yüksek potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir. Buğday atığının ise mısır ve pamuktan daha fazla ısı enerji değerine sahip olması nedeniyle biyokütle enerji santralinin %40 buğday, %30 mısır ve pamuk atıklarının kullanılmasının uygun olduğu hesaplanmıştır. 30MW'lık biyokütle enerji santrali için 83719.26 ton buğday artığı, 62789.45 ton mısır ve pamuk atığın toplamda ~210 bin ton tarımsal atığın gerekli olduğu hesaplanmıştır. Belirlenen atık miktarı Çorum Mecitözü ve Afyon'daki biyokütle enerji santrallerinin atık miktarına göre hemen hemen paralel olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyokütle enerjisi, tarımsal artıklar/atıklar, enerji geri kazanımı, yenilenebilir enerji

## Agricultural Wastes for Biomass Power Plants: Utilization of Agricultural Waste and Residues in Sanliurfa Province

**Received 27.03.2021; Accepted 09.06.2021**

**Abstract:** Renewable energy sources and the renewable energy obtained from these sources should always be on the agenda in order to minimize CO<sub>2</sub> emissions that cause climate change, increase energy security and have a sustainable environment. Biomass, which is among the renewable energy sources, is the only source that enables fuel production. According to the Biomass Energy Potential Atlas (BEPA) 2020 data, the total energy equivalent of Turkey's waste is 34 002 549 TEP / year. The province of Şanlıurfa has 4.9% of the total agricultural area in Turkey and 59.3% of its land is used as agricultural land. 3.57% of wheat production, 5.1% of barley production, 4.26% of corn production and 36.97% of cotton production in our country take place in Şanlıurfa. When the amount of waste in the region and the calorific value of these wastes are examined, it is determined that wheat, corn and cotton wastes have a high potential. Since wheat waste has a higher thermal energy value than corn and cotton, it has been calculated that it is appropriate to use 40% wheat, 30% corn and cotton waste in the biomass power plant. It has been calculated that for a 30MW biomass power plant, 83719.26 tons of wheat residue, 62789.45 tons of corn and cotton waste in total, ~ 210 thousand tons of agricultural waste is required. It has been observed that the determined waste amount is almost parallel to the waste amount of biomass power plants in Çorum Mecitözü and Afyon.

**Key Words:** Biomass energy, agricultural residues/ waste, energy recovery, renewable energy

## GİRİŞ

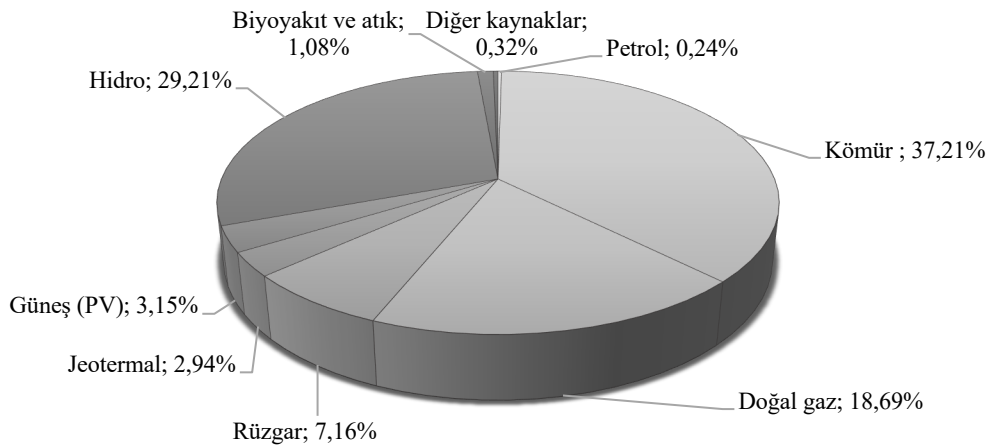
Günümüzde nüfusun hızla artması, teknoloji ve endüstrinin gelişmesi enerji talebini aynı paralellikte arttırmaktadır. Dünyadaki enerji ihtiyacının büyük bir kısmı kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil kaynaklardan karşılanmaktadır<sup>[1]</sup>. Fosil yakıtların tüketim hızı oluşum hızından çok daha yüksek olduğu için sürdürülebilir bir kaynak niteliği taşımamaktadır. İklim değişikliğinin önüne geçmek, temiz yakıt teknolojisi ve sürdürülebilir enerji kullanmak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim

\* İlgili E-posta/Corresponding E-mail: [kubra.al@outlook.com](mailto:kubra.al@outlook.com)

günümüzde hızla artmaktadır [2-4]. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde farklı dönüşüm yöntemleri kullanılarak enerji, malzeme, yakıt ve kimyasal madde üretimine olanak sağlayan yegâne kaynak biyokütledir [5]. Biyokütle, tarımsal artıklar, orman kalıntıları ve atıkları, balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliğinden kaynaklanan atıklar, belediye katı atıklarının organik fraksiyonu, kanalizasyon çamuru ve algler gibi geniş bir kaynak kitlesini kapsamaktadır [6]. Bu kaynakların elektrik, ısı ve sıvı yakıtlar (biyo yakıtlar) gibi faydalı enerji biçimlerine dönüştürülmesi biyokütle enerjisi olarak ifade edilmektedir [7].

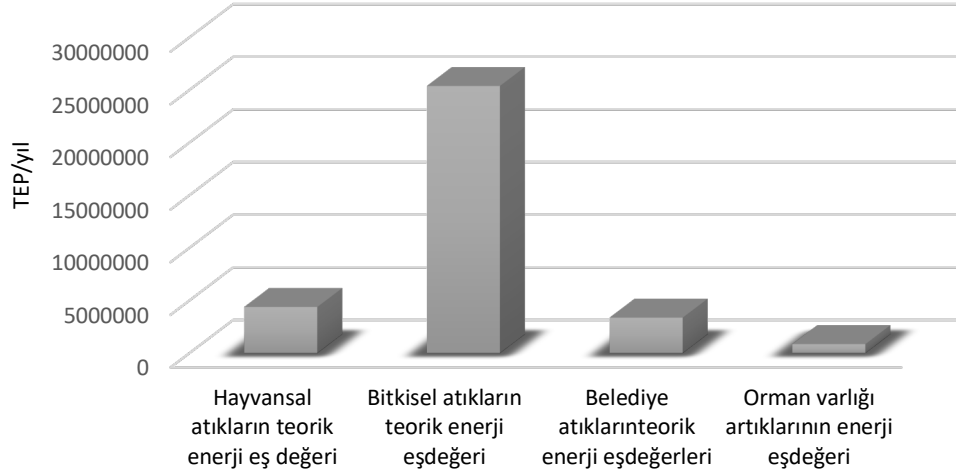
Bilgili ve ark. (2017) biyokütle enerji tüketiminin kişi başına CO<sub>2</sub> emisyonlarını azalttığını, aynı zamanda ülkelerin enerji güvenliğini sağladığını dolayısıyla kişi başına Gayri Safi Yurt İçi Hasıla'yı (GSYİH) arttırdığını belirtmiştir [8]. He ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, biyokütle enerji santrallerinin işletmeye alındıktan sonra kısa bir sürede (0.39 yıl) net emisyon azaltımını sağladığını belirtmişlerdir [9]. Garcia ve ark. (2015) Meksika'da fosil yakıtlarla sağlanan nihai enerji tüketiminin %16'sının biyokütle enerji kaynaklarından karşılanabileceği ve bu durumun da 2035 yılına kadar sera gazı emisyonlarında %17 oranında bir azalma olabileceğini söylemektedirler [10]. Khanna ve ark. (2011) tarım arazilerinin %2'sinden daha az atıkla elde edilen biyoenerjinin Illinois'teki kömürle çalışan elektrik santralleri tarafından üretilen elektriğin %5.5'ini üretebilecek ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının on beş yıl içerisinde %11 azaltacağını belirtmektedirler [11]. Dasappa (2011), tarımsal işleme sırasında üretilen kalıntıların %30'unu ve ağaç işleme endüstrisinden gelen orman kalıntılarının %10'unu kullanarak yaklaşık 5000 MW ve 10000 MW'lık güç üretim potansiyeli olduğunu tahmin etmiştir. 15000MW'lık bir elektrik üretim potansiyeli Sahra Altı Afrika'nın mevcut üretiminin %15'ini karşılamakta olduğunu ifade etmiştir [12]. Nishiguchi ve Tabata (2016) Japonya'da kullanılmayan odunsu biyokütlelerin doğrudan yakma yöntemiyle enerji geri kazanımında 13.7 milyon ton CO<sub>2</sub> emisyon azaltımı olabileceğini ve istihdam olanakları (24700 iş) nedeniyle odun peletlerinin enerjiye dönüştürülmesinin avantajlı olduğunu sunmuştur [13].

Biyokütle Türkiye'nin kırsal alanları için önemli enerji kaynağıdır [14]. Türkiye'de biyokütle kaynaklarına dayalı enerji üretimiyle ilgili araştırmalar 2000'li yıllarda başlayıp 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kanunu'nun yürürlüğe girmesi ile özel sektörün de katkıları ile gelişmeye devam etmiştir [15]. Uluslararası Enerji Ajansı 2019 yılı verilerine göre Türkiye'de kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir kaynaklardan %29.21 oran ile en çok hidroden sağlanırken, %1.08 ile en az atık ve biyoyakıtlardan sağlanmıştır [16]. Türkiye'nin elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları arasında en az biyokütlenin kullanıldığını söylemek mümkündür (Şekil 1).



Şekil 1. Kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi [16]

BEPA 2020 yılı verilerine göre Türkiye'nin atıkların toplam enerji eşdeğeri 34002549 TEP/yıl'dır [17]. Kullanılabilir biyokütle potansiyel miktarı ise 17 MTEP'ten fazladır [18]. Şekil 2'de biyokütle kaynaklarına göre enerji potansiyeli görülmektedir. Eldeki verilere göre en yüksek enerji potansiyeli %74.65 ile bitkisel atıklara ve %2.53 oran ile orman atıklarına aittir.



Şekil 2. Türkiye Biyokütle Enerji Potansiyeli (BEPA)

Ülkemizde biyokütle kaynaklı elektrik enerjisi üretim santral sayısı 199'dur <sup>[17]</sup>. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansına (IRENA) 2019 yılı verilerine göre Türkiye'nin biyoenerji olarak kurulu güç kapasitesi bir önceki yıla göre 396,2 MW artarak 982,5 MW'a ulaşmıştır <sup>[19]</sup>. En büyük biyokütle enerji santrali 27 MW kapasitesi ile Afyon'dadır. Biyokütle tesisinde 260000 ton zirai atığı kullanılarak 202500000 kWh/yıl enerji üretmektedir. Çorum Mecitözü'nde 5MW'lık biyokütle enerji santralinde yıllık 45-50 bin ton fındık kabuğu, mısır ve ayçiçeği sapı yakılarak enerjiye dönüştürülmektedir <sup>[20]</sup>. Ülkemizdeki atıkların enerji potansiyeli yüksek olmasına rağmen biyokütle enerji santrallerinin oldukça az olduğu açıkça görülmektedir.

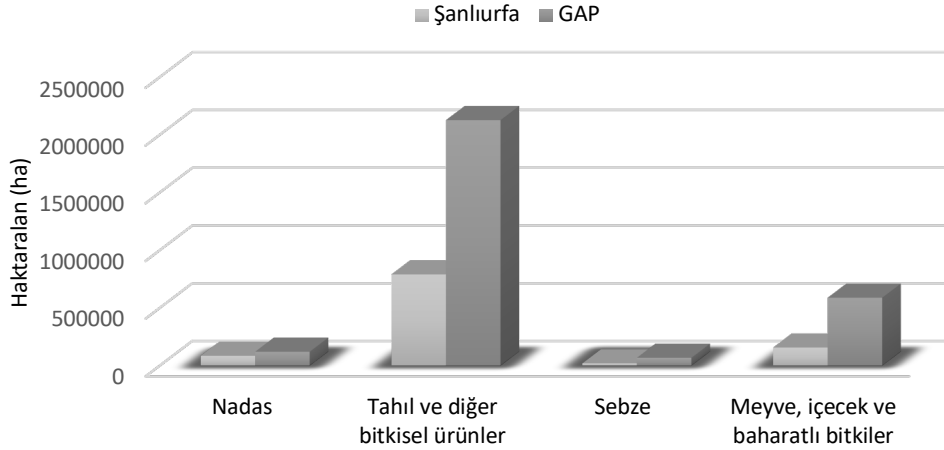
Tarımsal atıkların ne büyüklükte bir enerji üretiminde kullanılabileceği kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Ülkemizde Şanlıurfa ilinin tarımsal üretim nedeniyle ortaya çıkan artık ve atıkların miktarı çok yüksektir. Kullanılmayan bu artık ve atıkların elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılması hedeflenmiştir. Bu çalışma Şanlıurfa ilinde ortaya çıkan tarımsal artık/atıkların elektrik enerjisi üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılmasını içermektedir. Kullanılacak hammadde cinsi ve miktarı, depolama alanı, santralde meydana gelen kül miktarı ve santralde kullanılacak komponentler araştırılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### Çalışma Alanı

Şanlıurfa 19.451 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümüne sahiptir. Şanlıurfa ili 1. sınıf kalitedeki toprak alanı açısından Türkiye'de Adana ilinden sonra ikinci sırada yer almaktadır <sup>[21]</sup>. Türkiye'deki toplam tarım alanının %4,9'una sahip olmakla birlikte Konya ve Ankara'dan sonra üçüncü sırada yer almaktadır <sup>[22]</sup>. Güneydoğu Anadolu Bölgesinin ise en fazla tarım alanına sahip ili Şanlıurfa'dır. Şanlıurfa il arazisinin toplam %59,3'ü tarım alanı olarak kullanılmaktadır <sup>[23]</sup>.

2018 yılı verilerine göre Şanlıurfa ve GAP (Güneydoğu Anadolu Projeleri) bölgesinin tarımsal alanlarının karşılaştırılması Şekil 3'te görülmektedir. Şanlıurfa ili GAP bölgesinin toplam tarım arazisinin %36,3'ünü oluşturmaktadır. Şanlıurfa'nın tarımsal alanı; tahıl ve diğer bitkisel ürünler, sebze, meyve, içecek ve baharatlı bitkiler olarak dört alanda incelenmiştir. Tahıl ve diğer bitkisel ürünlerin %37,2'sini, sebze bahçeleri %29,6, meyve, içecek ve baharatlı bitkilerin ise %26,7'sini kapsamaktadır. Tahıl ve diğer bitkisel ürünler ilin toplam tarım arazisinin %75'ini oluşturmaktadır.



**Şekil 3.** Şanlıurfa ve GAP bölgesinin tarım alanı

Enerji santralinden çıkan elektrik enerjisinin şebekeye iletimi daha kolay olması ve hat kayıplarının minimize edilmesi amacıyla santral konumunun trafo merkezine yakın olması çalışma alanı için dikkate alınan hususlardandır. Şanlıurfa ilinin içerisinde hammadde tedarik edilmesinde herhangi bir problem olması durumunda çevre illerden destek almak, trafo merkezine yakın ve tarımsal atık/artık miktarı fazla olan ilçe Siverek'tir [27].

#### **Biyokütle Seçimi ve Karakteristiği**

Şanlıurfa ili Siverek ilçesi tarımsal üretim açısından Türkiye'de önemli bir konuma sahiptir. İldeki buğday, mısır, pamuk, arpa ve mercimek gibi ürünlerin üretimi bölgedeki yetişen birçok tarımsal üründen fazladır [25]. 2019 yılı buğday, pamuk, arpa ve mısır gibi tarla ürünlerinin Türkiye ve Şanlıurfa'daki üretim miktarı Tablo 1'de verilmiştir [26]. Türkiye'nin buğday üretiminin %3.57'si, pamuk üretiminin %36.97'sinin, arpa üretiminin %5.1'inin, mısır üretiminin %4.26'sı Şanlıurfa ilinde yapılmaktadır.

**Tablo 1.** 2019 Tarla ürünlerinin miktarı (ton)

Ürün adı	Türkiye Üretimi (ton)	Şanlıurfa Üretimi (ton)
Buğday	19,000,000	677,390
Pamuk (kütülü+ lifli)	3,014,000	1,114,164
Arpa	7,600,000	387,507
Mısır (silaj)	25,499,870	1,085,459

Mutlu ve ark. (2019) GAP bölgesinin tarımsal biyokütle potansiyelini araştırmıştır ve bu sonuca göre buğday, arpa, mısır ve pamuk ürünlerinin enerji üretimi için kullanılabilir yıllık toplam miktarı 5,572,419 ton, bu atıkların ısıl değeri ise 34 milyon MWh olduğunu saptamışlardır [27]. Avcioğlu ve ark. (2019) çalışmasında bazı ürünlerinin kalıntı oranları araştırılmıştır. Bu araştırmaya göre ortalama ürün kalıntı oranı buğday samanı 1.13, arpa 1.22, pamuk 2.3 ve mısır için 1.88 olduğunu belirtmişlerdir [28]. Öztürk ve Başçetinçelik (2006) çalışmasında tarımsal atık/atıklarının kullanılabilirlik oranları yüzdesel olarak verilmiştir [29]. Tarımsal ürünlerin üretimi, ürün kalıntı oranı, atık miktarı ve atıkların ne kadarının kullanılabilir olduğu Tablo 2'de gösterilmektedir. Buğday, pamuk ve mısırın atık miktarının arpaya göre daha fazla olduğu açıkça görülmektedir.

**Tablo 2.** Tarımsal ürünlerin ortalama ürün kalıntı oranı, atık miktarı ve kullanılabilirliği

Hammadde	Üretim (ton)	Ortalama ürün kalıntı oranı	Atık miktarı (ton)	Kullanılabilirlik (%)
Buğday	677,390	1.13	765450.7	15
Pamuk	1,114,164	2.30	2562577.2	60
Arpa	387,507	1.22	472758.54	15

Mısır	1,085,459	1.88	2040662.92	60
-------	-----------	------	------------	----

Buğday, pamuk ve mısır atıklarının yaklaşık analizi, elementel analizi ve ısıl değeri Tablo 3'te verilmiştir. Atıkların yaklaşık analiz, elementel analiz ve net kalorifik değerleri incelenmiş, Phyllis'e kayıtlı mevcut girişlerin ortalaması olarak alınmıştır<sup>[30]</sup>. Buğday için yedi farklı analiz mısır atıkları için beş farklı analiz ve pamuk için dört farklı analiz dikkate alınmıştır. Bu verilere göre alt ısıl değeri en yüksek buğday sapı olurken mısır artıklarının en düşük değere sahip olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 3.** Mısır, pamuk, buğday atıklarının karakteristiği

Hammadde	Yaklaşık analiz (wt%)				Elementel Analiz (wt%)					Net Kalorifik Değerleri (NHV), Mj/kg	Referanslar
	Nem Miktarı	Kül Miktarı	Uçucu Madde	Sabit Karbon	C	H	S	N	O		
Buğday Sapı	vb.	5,27	vb.	vb.	47,07	5,37	0,08	0,87	41,33	17,70	[31-37]
Mısır artığı	vb.	6,28	76,17	17,54	45,12	5,65	0,21	0,68	41,87	16,75	[38-42]
Pamuk artığı	vb.	4,94	71,02	23,40	45,83	5,58	0,58	1,23	42,31	17,03	[43-46]

vb.: Veri bulunamamıştır.

## ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### *Hammaddenin Seçilmesi*

Biyokütle santralinde kullanılacak olan hammaddenin alt ısıl değeri, santralin verimliliği ve kapasite faktörüne bakılmakta ve bu işlemlere göre hesap yapılmaktadır. Toplam enerji girişi  $E_{giriş}$  (kJ/yıl), m yıllık atık miktarını (kg/yıl) ve NHV hammaddenin alt ısıl değerini Eşitlik 1'de belirtilmiştir<sup>[47]</sup>.

$$E_{giriş} = m \times NHV \text{ [kJ/yıl]} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Bir santralin belli bir zamanda ürettiği toplam enerjinin tam kapasitede üretebileceği enerjiye oranı kapasite faktörü (KF) olarak adlandırılmaktadır<sup>[48]</sup>. Kapasite faktörü hesaplanması Eşitlik 2'de gösterilmektedir.

$$KF = \frac{\text{Elektrik üretimi [MWh/yıl]}}{\text{Santral kapasitesi [MW] .24 saat/gün .365 gün/yıl}} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Biyokütle enerjisi ile çalışan elektrik santralleri hammadde mevcudiyetinin tüm yıl boyunca aynı olduğu durumda çok yüksek kapasite faktörlerine (%85-95) sahip olabilirler<sup>[49]</sup>. Fakat hammadde mevcudiyetinin hasada dayandığı durumlarda kapasite faktörü bu değerden daha az orana sahip olur. Dolayısıyla santral için kapasite faktörü 0.8 olarak baz alınmıştır ve doğrudan yanma teknolojisinin verimliliği %21 olarak kabul edilmiştir.

Bojić ve ark. (2013) Voyvodina'daki biyokütle enerji santralinin minimum elektrik üretim maliyetlerine dayalı olarak mevcut santral kapasitelerini 10MW'tan 15MW'a çıkarmaları ortalama elektrik enerjisi üretim maliyetlerini %10 düşürdüğünü tespit etmişlerdir<sup>[50]</sup>. Planlanan santralin ekonomik getirisi için minimum 15 MW, yeterli hammadde tedariki ve kontrol kolaylığı açısından maksimum gücün 30 MW olması öngörülmüştür. Seçilen bölgede en çok üretim yapılan tarımsal ürünler mısır, pamuk ve buğday olduğu için bu ürünlerin verileri ile hesaplamalar yapılmıştır.

Hammadde miktarına göre kurulacak santralin güç değeri belirlenmektedir. Hammaddenin fazla olması ve bu kaynaklarının enerji değerinin yüksek olması durumunda güç değeri de aynı paralellikte olacaktır. Tablo 4'te sistemde kullanılabilir atık miktarı ve güç aralıkları verilmiştir. Sadece mısır artıklarının yakıldığı biyokütle santrali için 15MW'lık bir santralde 1075585.5 ton/yıl atık kullanılırken 30MW'lık santralde 215171 ton/yıl kullanılması gerektiğine saptanmıştır. %50 Mısır- %50 Pamuk artıkları yakıldığında 15MW'lık biyokütle santralinde 106693.73 ton/yıl atık kullanılırken 30MW'lık santralde 213387.5 ton/yıl kullanılması gerekir. Pamuğun alt ısıl değeri mısırdan daha fazla olduğu için

atık miktarı güç başına azalmıştır. %40 buğday artığı, %30 mısır ve pamuk artığı kullanıldığında oluşan alt ısıl değer 17,22 MJ/kg'dür. Bu durumda 15MW'lik santral için yıllık 104649.08 ton atık gerekirken 30MW'lik santralde 2109298.16 ton atık gerektirmektedir. Buğday sapının alt ısıl değeri, mısır ve pamuk artıklarının alt ısıl değerinden daha yüksek olması nedeniyle, kullanılacak hammadde miktarı azalacak; ayrıca atıkların depolanacağı alan da azalacaktır.

**Tablo 4.** Sistemde atık miktarı kullanımına göre güç (MW)- atık miktarı

Atık miktarı	15 MW	20 MW	25 MW	30 MW	Birim
%100 Mısır (16.75 MJ/kg)	107585.5	143447.33	179309.17	215171	Ton/yıl
%50 Mısır-%50 Pamuk (16.89 MJ/kg)	106693.73	142258.31	177822.89	213387.5	Ton/yıl
%40 Buğday- %30 Mısır-%30Pamuk (17.22 MJ/kg)	104649.08	139532.11	174415.13	209298.16	Ton/yıl

Buğday, mısır ve pamuk artıklarının diğer tarımsal ürünlerinin artıklarından daha fazla ve çeşitliliği daha yoğun olduğu için sistemde üç tür atık kullanılması uygun görülmüştür. Üç artığın kullanıldığında istenilen güç üretilip aynı zaman da depolama için kullanılacak olan arazi diğer seçeneklere göre daha az olacaktır. 30MW'lık tesis kurulduğunda 83719.26 ton buğday artıkları, 62789.45 ton ise mısır ve pamuk artıkları gereklidir. İlerdeki üretilen buğday mısır ve pamuk artıkları biyokütle enerji santralinin hammadde olarak ihtiyacını karşılamaya yetecektir. İlin buğday artığının %72.9'u, pamuk artığının %4.08 ve mısır artıklarının ise %5,12'sinin kullanılması santralin hammadde kaynağı ihtiyacını karşılamaya yetecektir. Ramamurthi ve ark. (2014), hammaddesi pirinç samanı (alt ısıl değeri 13.5 MJ/kg) olan ve %21 verimlilikte çalışan 5 MW biyokütle enerji santrali için yıllık pirinç talebinin kuru bazda 47,440 ton olduğunu hesaplamıştır <sup>[51]</sup>. Singh (2015), Hindistan için yaptığı çalışmada kullanılmayan mahsul kalıntılarının tahmini yıllık biyo-enerji potansiyeli 0.35 EJ'dir ve bu Hindistan'ın yıllık birincil enerji tüketiminin %1.43'üne eşdeğerdir. Isıl verime bağlı olarak bu kaynaklardan 2000-3000 MW'lık bir güç potansiyelinin değerlendirilebileceğini belirtmektedir. <sup>[52]</sup>. Delivand ve ark. (2011), alt ısıl değeri 12.39 MJ/kg olan pirinç samanının kuru bazda yıllık 75,798 ton olan biyokütle enerji santrali 10 MW ve %23 verimle çalıştığını belirtmişlerdir <sup>[53]</sup>.

### Depolama Alanı

Hammaddelerin nem miktarı (%), ortalama parçacık boyutu (mm), yığın yoğunluğu (kg m<sup>-3</sup>), gözeneklilik (%) verileri Tablo 5'te verilmiştir. Yığın yoğunluğu en fazla olan hammadde pamuk iken en az buğday olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 5.** Hammaddelerin nem miktarı, ortalama parçacık boyutu, yığın yoğunluğu ve gözeneklilik <sup>[54]</sup>

Hammadde	Nem Miktarı (%)	Ortalama parçacık boyutu (mm)	Yığın yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	Gözeneklilik (%)
Buğday artık	7,79	0,42	160,75	51,25
Mısır artık	6,4	0,49	127,32	58,51
Pamuk sapı	7,45	0,38	230,55	74,55

Hammaddelerin yığın yoğunluklarına bakılarak santralde kullanılacak yakıtların depolanması için gerekli alan hesaplanmıştır. Gerekli hammadde miktarı 209298.16 ton fakat yakıtın tedarik edilmesinde herhangi bir problem olmasına karşın enerji güvenliğinin sağlanması amacıyla hesaplamalar 220000 ton üzerinden yapılmıştır.

$$\text{Depolama alanı [m}^2\text{]} = \frac{\text{Hammadde miktarı [kg]}}{\text{Yığın yoğunluğu [kg/m}^3\text{]} \times 7 \text{ [m]}} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

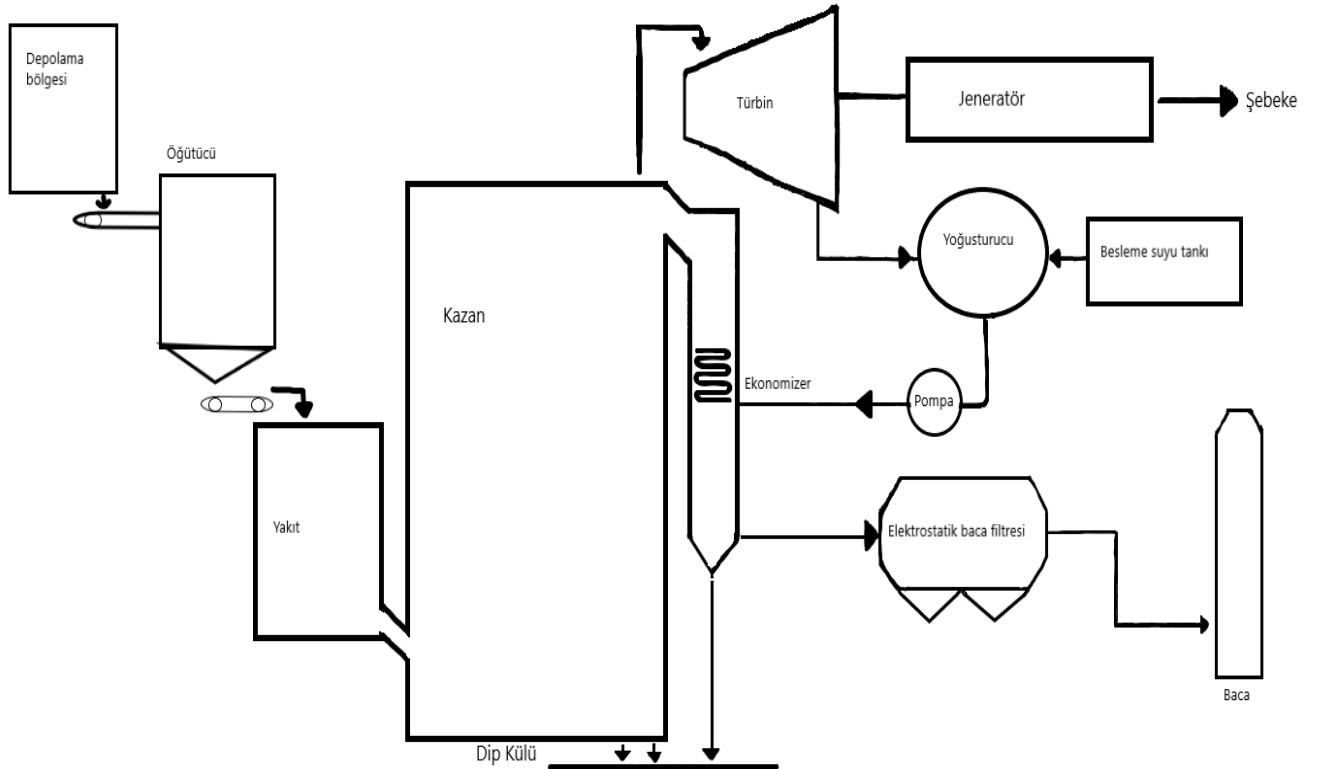
Mısır ve pamuk için ihtiyaç duyulan yıllık atık miktarı 66000 ton, buğday için ise 88000 ton olduğu hesaplanmıştır. Depolama alanı için ideal yükseklik 7m olması uygun olarak görülmüştür. Biyokütle stok durumunda havalandırma ve bazı ekipmanların bulunması için %10 ekstra alan gereklidir <sup>[55]</sup>.

Tarımsal atıklarının yığın yoğunluğunu kullanarak ayrı ayrı hesaplandığında pamuk atığı ve buğday atığı için sırasıyla 40896 m<sup>2</sup> ve 78204.84 m<sup>2</sup>'lik alana ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Mısır yılda iki kez hasat edildiğinden 55540,6 m<sup>2</sup>'lik alan yeterli olacaktır. Depolama alan yüksekliği 7 metre ve %10 ekstra alan için toplam 192105.58 m<sup>2</sup> alan kullanılması gereklidir. Sadece mısır atıklarının kullanılması durumunda 271531.7 m<sup>2</sup> alan kullanılacakken üç çeşidin kullanılmasıyla 72205.65 m<sup>2</sup>'lik alandan tasarruf yapılmıştır. Depolama bölgesi atıkların nemlenmemesi yanma performansını düşürülmemesi için nem içermemeli, ortam şartlandırılmalıdır.

### Biyokütle Santral Çevrimi

Biyokütle santralinde doğrudan yakma sistemi kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülmesi planlanmıştır. Sistemde kullanılacak olan ekipmanlar ise depolama ünitesi, taşıyıcılar, öğütücü, yakıt silosu, kazan, türbin, yoğusturucu, ekonomizer, elektrostatik baca filtresi, kül depolama tankı, besleme suyu tankı, sistem kontrolleri, jeneratör, fanlar ve pompalardır. Sistemde peletleme ünitesine gerek duyulmadığı için kullanılmamıştır böylece maliyet açısından tasarruf yapılmıştır. Depolama ünitesinde bulunan biyokütle, taşıyıcılar yardımıyla öğütücüye gelip öğütücüde öğütme işlemi yapılarak yakıtımızın tanecik boyutu küçültülür. Küçülen tanecik boyutları yakıt silosuna taşınır ve oradan kazana taşınıp yakıt kazanında yakılır. Kazandan ayrılan buhar türbine giderek mili harekete geçirerek mekanik enerjisine dönüştürürken mekanik enerji jeneratörde ise elektrik enerjisine dönüştürmüş olur. Yoğusturucuda yoğuşan buharın ekonomizere gönderilerek enerji kazanımı sağlanır. Elektrostatik baca filtresi kullanılması atmosfere verilen kirletici miktarını azaltılmış olur. Yanan biyokütleden bir miktar kül çıkmaktadır, santralden çıkan kül ise depolanır ve kullanılmak üzere (çimentoya katkı maddesi veya gübre olarak) ilgili yerlere götürülür.

Kazan seçimi hareketli ızgaralı buhar kazanı olup 10-30 mm ebadında olan biyokütleri yakabilmek için dizayn edilmiş kazanlardır. Yıllık 209298.16 ton artık yakacak olan ızgaralı kazanın saatte yaklaşık 25 ton yanması beklenmektedir. Buhar türbininin buhar giriş basıncı 120 bar ve buhar giriş sıcaklığı ise 520 °C sıcaklığa çıkmaktadır. Buhar türbininin uzunluğu 12 m, genişliği 4 m ve yüksekliği 5 m olup, üretim gücü maksimum 50MW'a kadar çıkmaktadır. Kurulması planlanan santralin basit şematik gösterimi Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Biyokütle santrali basit şematik gösterimi

Biyokütle tesisinde yaklaşık yıllık 210 bin ton buğday, mısır ve pamuk artıkları yakılacaktır. Bu yanma sonucunda ise kül oluşacaktır. Santralde %40 buğday kullanımında yaklaşık 83719.26 ton buğday atığı, %30 mısır ve pamuk kullanımında ise yıllık 62789.45'er ton tarımsal artık yakılmış olacaktır. Tarımsal artık karakteristiğine göre oluşacak kilogram başına ortalama kül yüzdesi mısır %6.28, pamuk %4.94 ve buğdayın ise %5.27 olduğu tespit edilmiştir. Karbon, oksijen, hidrojen ve azot yanıcı maddeler oldukları için külün yapısında bulunmamaktadır. Yanan biyokütle de oluşan küller depolanır. Ortaya çıkan kül çimentoya katkı malzemesi veya gübre olarak kullanılmak üzere ilgili yerlere götürülür<sup>[56]</sup>.

## SONUÇ

Ülkemizdeki tarım alanının %4.9 sahip olan Şanlıurfa'nın tarımsal artık/atık miktarı oldukça fazladır. Türkiye'nin buğday üretiminin %3.57'si, pamuk üretiminin %36.97'sinin ve mısır üretiminin %4.26'sı Şanlıurfa ilinde meydana gelmektedir. Buğday, mısır ve pamuk artıklarının ortalama alt ısıl değeri sırasıyla 17.70, 16.75 ve 17.03 MJ/kg olduğu tespit edilmiştir. Şanlıurfa ilinde kullanılması en uygun hammadde oranı %40 buğday, %30 mısır ve pamuk atığıdır. 30MW'lık biyokütle enerji santrali için gerekli hammadde 83719.26 ton buğday artıkları, 62789.45 ton ise mısır ve pamuk artıkları toplamda yaklaşık 210 bin ton olarak hesaplanmıştır. Enerji güvenliğinin sağlanması amacıyla depolama alanı hesaplamaları 220000 ton üzerinden yapılmıştır. Mısır ve pamuk için ihtiyaç duyulan yıllık atık miktarı 66000 ton buğday için ise 88000 ton olduğu hesaplanmıştır. 7m yükseklikteki depolama alanının tarımsal atıklarının yığın yoğunluğunu kullanarak ayrı ayrı hesaplanıp toplamda depolama için 192105.58 m<sup>2</sup> alan kullanılması gerekli olduğu belirlenmiştir. Santralde saatte yaklaşık 25 ton atık yakılması öngörülmüştür. Tarımsal artık karakteristiğine göre oluşacak kilogram başına ortalama kül yüzdesi mısır %6.28, pamuk %4.94 ve buğdayın ise %5.27 olduğu tespit edilmiştir. Yanan biyokütle de oluşan küller depolanır ve çimentoya katkı malzemesi veya gübre olarak kullanılmak üzere ilgili yerlere götürülür. Tarımsal artıkların elementel ve yaklaşık analiz verileri ortalama değer olarak alınmıştır. Santral kurulumu yapılacağı düşünüldüğü takdirde bölgedeki tarımsal atıkların enerji değeri, elementel ve yaklaşık analizi yapılmalıdır. Analiz sonucuna göre de yakıt miktarı belirlenmelidir. Biyokütle enerji potansiyeli yüksek olan Türkiye'nin bu alandaki yönelimini ve teşviklerini arttırılmalıdır. Biyokütlenin enerji olarak kullanılmasıyla ülkemizdeki istihdam oranı artıp ülke ekonomisine katkıda bulunmasını sağlarken aynı zamanda enerji verimliliği ve enerji güvenliğini arttırmış olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi *Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 33-54
- [2] Demirbas, A. (2005). Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues. *Progress in Energy and Combustion Science*, 31(2), 171-192.
- [3] Owusu, P. A., & Asumadu-Sarkodie, S. (2016). A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering*, 3(1), 1167990
- [4] BILGEN, S., KAYGUSUZ, K., & SARI, A. (2004). Renewable Energy for a Clean and Sustainable Future. *Energy Sources*, 26(12), 1119–1129. doi:10.1080/00908310490441421
- [5] KABAKCI, S. B., & Koca, D. (2019). Enerji geri kazanımı için arıtma çamurunun hidrotermal karbonizasyonu. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(3), 1061-1072.
- [6] Başakçılardan Kabakcı, S., & Baran, S. S. (2019). Hydrothermal carbonization of various lignocellulosics: Fuel characteristics of hydrochars and surface characteristics of activated hydrochars. *Waste Management*, 100, 259–268. doi:10.1016/j.wasman.2019.09.021
- [7] Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748–764. doi:10.1016/j.rser.2014.07.113
- [8] Bilgili, F., Koçak, E., Bulut, Ü., & Kuşkaya, S. (2017). Can biomass energy be an efficient policy tool for sustainable development?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 830-845.
- [9] He, J., Liu, Y., & Lin, B. (2018). Should China support the development of biomass power generation?. *Energy*, 163, 416-425.



- [10] García, C. A., Riegelhaupt, E., Ghilardi, A., Skutsch, M., Islas, J., Manzini, F., & Masera, O. (2015). Sustainable bioenergy options for Mexico: GHG mitigation and costs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 545–552. doi:10.1016/j.rser.2014.11.062
- [11] Khanna, M., Önal, H., Dhungana, B., & Wander, M. (2011). Economics of herbaceous bioenergy crops for electricity generation: Implications for greenhouse gas mitigation. *Biomass and Bioenergy*, 35(4), 1474–1484. doi:10.1016/j.biombioe.2010.11.031
- [12] Dasappa, S. (2011). Potential of biomass energy for electricity generation in sub-Saharan Africa. *Energy for Sustainable Development*, 15(3), 203-213.
- [13] Nishiguchi, S., & Tabata, T. (2016). Assessment of social, economic, and environmental aspects of woody biomass energy utilization: Direct burning and wood pellets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1279-1286.
- [14] Bilgen, S., Keleş, S., Sarıkaya, İ., & Kaygusuz, K. (2015). A perspective for potential and technology of bioenergy in Turkey: Present case and future view. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 228–239. doi:10.1016/j.rser.2015.03.096
- [15] Karabaş, H. (2019). Sakarya İlinin Bitkisel Biyokütle Açısından Atık Miktarının ve Enerji Potansiyelinin Araştırılması. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2(1), 35-43.
- [16] International Energy Agency IEA, (2019). Turkey <https://www.iea.org/countries/turkey>
- [17] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı <https://enerji.gov.tr/>, Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası (BEPA) (2020).
- [18] Toklu, E. (2017). Biomass energy potential and utilization in Turkey. *Renewable Energy*, 107, 235–244. doi:10.1016/j.renene.2017.02.008
- [19] International Renewable Energy Agency (IRENA), (2019) <https://www.irena.org/bioenergy>
- [20] Biyoenerji Dergisi Erişim tarihi: 19.12.2020 <https://biyoenerjidergisi.com>
- [21] Karağaç, A., Bilgiç, A., & Çukur, Ü. (2006). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Şanlıurfa Tarım Master Planı
- [22] VALİLİĞİ, Ş., & MÜDÜRLÜĞÜ, Ç. ŞANLIURFA 2015 YILI İL ÇEVRE DURUM RAPORU
- [23] T.C. Kalkınma Bakanlığı Güneydoğu Anadolu Bölgesi Kalkınma İdaresi Başkanlığı Şanlıurfa İl Profili
- [24] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM), (2020) <http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/SANLIURFA-REPA.pdf>
- [25] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Şanlıurfa Tarımsal Yatırım Rehberi Sunum <https://www.tarimorman.gov.tr/>
- [26] TÜİK, 2019 Bitkisel Üretim İstatistikleri [tuik.gov.tr](http://tuik.gov.tr)
- [27] MUTLU, N., TOLAY, M., KARACA, C., & ÖZTÜRK, H. H. Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) Bölgesinin Tarımsal Biyokütle Potansiyeli. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 15(3), 77-81.
- [28] Avcıoğlu, A. O., Dayıoğlu, M. A., & Türker, U. (2019). Assessment of the Energy Potential of Agricultural Biomass Residues in Turkey. *Renewable Energy*. doi:10.1016/j.renene.2019.01.053
- [29] H.H. Ozturk, A. Bascetincelik, (2006) Energy exploitation of agricultural biomass potential in Turkey, *Energy Explor. Exploit.* 24 313-330
- [30] Phyllis 2 <https://phyllis.nl/>
- [31] ECN Phyllis2 ID- number #424 <https://phyllis.nl/>
- [32] ECN Phyllis2 ID- number #425 <https://phyllis.nl/>
- [33] ECN Phyllis2 ID- number #426 <https://phyllis.nl/>
- [34] ECN Phyllis2 ID- number #427 <https://phyllis.nl/>
- [35] ECN Phyllis2 ID- number #454 <https://phyllis.nl/>
- [36] ECN Phyllis2 ID- number #455 <https://phyllis.nl/>
- [37] ECN Phyllis2 ID- number #456 <https://phyllis.nl/>
- [38] Y.J. Lu, L.J. Guo, C.M. Ji, X.M. Zhang, X.H. Hao, Q.H. Yan:Hydrogen production by biomass gasification in supercritical water: a parametric study. *Int J Hydrogen Energy* 31 (2006) 822-831
- [39] S. Gaur and T.B. Reed; An Atlas of Thermal Data For Biomass and Other Fuels. NREL/TP-433-7965, June 1995
- [40] <http://rredc.nrel.gov:80/biomass/doe/nrel/comp/alki/appendix.html> (1998). Link obsolete. Instead, try [http://www.nrel.gov/rredc/biomass\\_resource.html](http://www.nrel.gov/rredc/biomass_resource.html)

- [41] R. J. Evans, A. R. Knight, M. Onischak and S. P. Babu: Development of biomass gasification to produce substitute fuels, Richland, Washington, USA, Pacific Northwest Laboratory (PNL), PNL--6518, 14 p. (1988).
- [42] O. Kitani and C. W. Hall: Biomass Handbook, Gordon and Breach science publishers, New York (1989)
- [43] N. Magasiner and J. W. de Kock: Design criteria for fibrous fuel fired boilers. *Energy World* (8-9) pp. 4-12 (1987).
- [44] O. Kitani and C. W. Hall: Biomass Handbook, Gordon and Breach science publishers, New York (1989)
- [45] P. D. Grover: Thermochemical characteristics of biomass residues for gasification, Indian Institute of Technology, Delhi, India (1989).
- [46] P.V.R. Iyer, T.R. Rao, P.D. Grover, N.P. Singh: Biomass Thermo-chemical Characterization (revised second edition), Indian Institute of Technology, Delhi, India (1997). Also in: *Biomass and Bioenergy* 22 (2002) 195-203.
- [47] Good, J., Nussbaumer, T., Delcarte, J., & Schenkel, Y. (2006). Determination of the efficiencies of automatic biomass combustion plants. *Verenum. International Energy Agency, IEA. Bioenergy Task, 32*.
- [48] Morató, T., Vaezi, M., & Kumar, A. (2020). *Techno-economic assessment of biomass combustion technologies to generate electricity in South America: A case study for Bolivia. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 134, 110154.* doi:10.1016/j.rser.2020.110154
- [49] IRENA (2020), Renewable Power Generation Costs in 2019, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, (7) 110-119.
- [50] Bojić, S., Đatkov, Đ., Brcanov, D., Georgijević, M., & Martinov, M. (2013). Location allocation of solid biomass power plants: Case study of Vojvodina. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 26, 769-775.*
- [51] Vijay Ramamurthi, P., Cristina Fernandes, M., Sieverts Nielsen, P., & Pedro Nunes, C. (2014). Logistics cost analysis of rice residues for second generation bioenergy production in Ghana. *Bioresource Technology, 173, 429-438.* doi:10.1016/j.biortech.2014.09.102
- [52] Singh, J. (2015). Overview of electric power potential of surplus agricultural biomass from economic, social, environmental and technical perspective—A case study of Punjab. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42, 286-297.* doi:10.1016/j.rser.2014.10.015
- [53] Delivand, M. K., Barz, M., & Gheewala, S. H. (2011). Logistics cost analysis of rice straw for biomass power generation in Thailand. *Energy, 36(3), 1435-1441.* doi:10.1016/j.energy.2011.01.026
- [54] MAJOR, P. (2012). Availability and physical properties of residues from major agricultural crops for energy conversion through thermochemical processes. *American Journal of Agricultural and Biological Science, 7(3), 312-321.*
- [55] Rentizelas, A. A. (2016). *Biomass storage. Biomass Supply Chains for Bioenergy and Biorefining, 127-146.* doi:10.1016/b978-1-78242-366-9.00006-x.
- [56] Deloitte (2014) *Biyokütlenin Altın Çağı*