

Çukurova Koşullarında Yetiştirilen Tatlı Sorgum Genotiplerinin Selülozik Biyoetanol Veriminin Belirlenmesi


Determination of Cellulosic Bioethanol Yield of Sweet Sorghum Genotypes Grown Under Cukurova Conditions


Mine AKSOY¹, Ayşegül EFENDİOĞLU ÇELİK², Mahmut DOK³, Celal YÜCEL^{4*}, Kadir AYDIN⁵


Öz


Tatlı sorgum bitkisi ve özsuyu alındıktan sonra geriye kalan posası birinci nesil biyoetanol, hayvan yemi, gübre, biyoyakıt ve selülozik biyoetanol üretimi gibi çeşitli amaçlar için değerlendirilmektedir ve geniş kullanım alanlarından dolayı gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, farklı tatlı sorgum genotiplerinin özsuyu alındıktan sonra geriye kalan saplarında (posasında) teorik selülozik biyoetanol potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yurt içi ve yurt dışındaki değişik kaynaklardan temin edilen 21 farklı tatlı sorgum (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.) genotipi materyal olarak kullanılmıştır. Tarla denemeleri, Çukurova (Adana) ikinci ürün koşullarında 2016 ve 2017 yıllarında yürütülmüştür. Bitkilerin hasadı, salkımdaki tanelerin süt-hamur olum dönemine denk gelen tarihlerde yapılmıştır. Hasat edilen bitkilerin yaprakları ve salkımları ayrıldıktan sonra saplar ekstrakte edilip özsuyu alınmıştır. Özsuyu alınan saplar (posalar) kurutulduktan sonra selüloz ve hemiselüloz analizleri yapılmış ve teorik selülozik biyoetanol verimleri kuru madde bazında L ton⁻¹ ve L da⁻¹ cinsinden hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda iki yıllık ortalamalara göre; tatlı sorgum genotiplerinin selüloz içeriğinin %33.21-45.13, hemiselüloz içeriğinin %20.63-25.36, teorik selülozik biyoetanol veriminin ise 183.7-231.0 L ton⁻¹ kuru madde (KM) ve 297.4-767.6 L da⁻¹ (KM) arasında değiştiği saptanmıştır. Araştırmada özsuyu alındıktan sonra kalan posanın selülozik biyoetanol üretimi amacıyla kullanılabilmesi ve Grass1, Tracy, UNL-Hyb-3 ve No91 genotiplerinin birim alanda 600 L da⁻¹ üzerinde selülozik biyoetanol üretme kapasitesi ile öne çıkan genotipler oldukları görülmektedir. Tatlı sorgum bitkisinin özsuyundan biyoetanol elde edilmesi ve ayrıca geriye kalan küspesinden de selülozik biyoetanol üretilmesi ile yüksek biyokütle potansiyeline sahip bitkinin tamamından yararlanılarak daha fazla biyoetanol elde edilebileceği ve böylece yenilenebilir enerji kaynağı olarak sürdürülebilirlik, çevre ve ekonomi gibi çeşitli açılardan avantajlar sağlanabileceği sonucuna ulaşılmaktadır.


Anahtar Kelimeler: Tatlı sorgum, Genotip, Posa, Selülozik biyoetanol, Verim

¹Mine Aksoy, Osmangazi İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü, Bursa, Türkiye. E-mail: m.aks0y@tarimormn.gov.tr  OrcID: 0000-0002-3173-6577.

²Ayşegül Efendioğlu Çelik, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Samsun, Türkiye. E-mail: aysegul.celik@tarimormn.gov.tr  OrcID: 0000-0002-5769-5005.

³Mahmut Dok, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Samsun, Türkiye. E-mail: mahmut.dok@tarimormn.gov.tr  OrcID: 0000-0002-1558-7452.

^{4*}**Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** Celal Yücel, Şırnak Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Şırnak, Türkiye. E-mail: celalyuce1@gmail.com  OrcID: 0000-0001-6792-5890.

⁵Kadir Aydın, Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye. E-mail: kdraydin@cu.edu.tr  OrcID: 0000-0002-1583-9605.

Atıf/Citation: Aksoy, M., Efendioğlu Çelik, A., Dok, M., Yücel, C., Aydın, K. Çukurova koşullarında yetiştirilen tatlı sorgum genotiplerinin selülozik biyoetanol veriminin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20 (1), 61-70.

©Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi tarafından Creative Commons Lisansı (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) kapsamında yayımlanmıştır. Tekirdağ 2023

Abstract

Sweet sorghum and its bagasse of sweet sorghum plant which is left after extracting of its juice is used for various purposes such as first generation bioethanol, animal feed, fertilizer, biofuel and cellulosic bioethanol production and it has gained significance because of its broad use areas day by day. In this study, it was aimed to determine the theoretical cellulosic bioethanol potential of the remaining stalks (bagasse) of different sweet sorghum genotypes after extraction of its juice. For this reason, 21 different sweet sorghum (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.) genotypes obtained from different domestic and foreign sources were used as material. Field trials were carried out under second crop conditions in Cukurova (Adana) region in 2016 and 2017. The plants were harvested on dates that coincided with the milk-dough period of the grains in the cluster. After the leaves and inflorescences of the harvested plants were removed, the stalks were extracted and the juice was taken. Theoretical cellulosic bioethanol yields were calculated on the basis of dry matter (DM) in L ton⁻¹ and L da⁻¹ by performing cellulose and hemicellulose analyzes after the stalks (bagasse) was dried. As a result of the study, according to the two-year averages; it was determined that the cellulose content and hemicellulose content of sweet sorghum genotypes and theoretical cellulosic bioethanol yield ranged from 33.21% to 45.13%, from 20.63 to 25.36%, from 183.7 to 231.0 L ton⁻¹ dry matter (DM) and from 297.4 to 767.6 L da⁻¹ (DM), respectively. In the research, it is seen that the remaining bagasse after the removal of juice can be used for cellulosic bioethanol production and Grass1, Tracy, UNL-Hyb-3 and No91 genotypes are prominent genotypes having the capacity to produce cellulosic bioethanol over 600 L da⁻¹ per unit area. It is concluded that if bioethanol is obtained from the juice of sweet sorghum plant and also cellulosic bioethanol is produced from its bagasse remaining after extraction of its juice more bioethanol can be supplied from the unit area by using the whole plant having a high biomass potential and thus it can be provided advantages in terms of different aspects such as sustainability, environment and economy as a renewable energy source.

Keywords: Sweet sorghum, Genotype, Bagasse, Cellulosic bioethanol, Yield

1. Giriş

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerjinin büyük bir bölümü petrol ve petrol türevlilerden sağlanmaktadır. Dünya nüfusunun artması ile birlikte enerji ihtiyacının da artması, fosil yakıt kullanımı da buna paralel olarak artmaktadır. Günümüzde fosil yakıtların yakılması, dünya çapında önemli CO₂ konsantrasyonlarında artışa yol açarken, iklimdeki aşırı değişikliklerle birlikte küresel ısınma ve hava durumunu olumsuz etkilediği bilinmektedir (Chauhan ve ark., 2021). Fosil yakıtların kullanımını azaltmak için çevreye daha az zararlı olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması önemli olmaktadır. Alternatif enerji kaynakları arasında da yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynakları dikkati çekmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında ise birim alanda yüksek biyokütle potansiyeline sahip tarımsal ürünler ve bu tarımsal ürünlerden etanol (biyoetanol) eldesi önem kazanmaktadır. İkinci nesil biyoetanol, daha çok biyokütle kaynaklarından elde edilmektedir. Biyokütle kaynaklarının, gıda amaçlı olarak üretimi yapılan ürünlerle rekabet etmemesi veya üretimlerini sınırlandırmaması için marjinal alanlarda üretimin yapılması da önemli bir avantaj olarak görülmektedir (Bazaluk ve ark., 2021). İkinci nesil selülozik etanol, özellikle tarım ve orman atıklarının hammadde olarak kullanıldığı ülkeler için uygun olduğu bildirilmektedir (Rivera-Burgos ve ark., 2019). Ülkemizde potansiyel ve çeşitliliği fazla olan yeterince değerlendirilemeyen biyoyakıt kaynakları; pelet haline getirilerek ülke ekonomisine katkı sağlayabilir (Develi ve ark., 2021).

Dünya genelinde kullanılmakta olan enerji kaynaklarının birçoğunu fosil enerji kaynakları oluşturmaktadır (Aybek ve ark., 2015). Etanol, hava kirliliğini azaltmak ya da petrol ürünlerinin tüketimini azaltmak amacıyla benzinle değişik oranlarda karıştırılarak kullanılabilen bir yakıttır. En yaygın uygulamalar, E10 ya da E85 diye bilinen sırasıyla %10 ve %85 etanol içeren karışımlardır (Yaşar, 2009). Tatlı sorgumdan fermente edilebilir özsu ayrıldıktan sonra geriye posa kalmakta ve bu lignoselülozik artık, önemli miktarda polimerik karbonhidratlar (selüloz ve hemiselüloz) içermektedir. Bu polisakkaritler, şekerlere hidrolize edilebilmekte ve daha sonra ikinci nesil biyoetanolle fermente edilebilmektedir. Etanol kullanımı %35'e ulaşan yüksek oksijen içeriği nedeniyle yandığında çok temiz olması, atmosferde karbondioksit birikimine katkıda bulunmaması sebebiyle çevreyle dost ve yenilebilir olması gibi çeşitli avantajlara sahiptir (Arif ve ark., 2019). Alternatif enerji kaynağı olarak tatlı sorgumun, sürdürülebilir tarımsal faaliyetler açısından yenilenebilir enerji kaynakları grubunda yer alması, verimli, düşük maliyetli, uygun ve güvenli olması, ayrıca yaklaşık %37 oksijen içermesi nedenleriyle çok iyi bir biyoetanol hammadde kaynağıdır (Wyman ve ark., 1993; Raud ve ark., 2015). İkinci nesil etanol, birinci nesile göre sera gazı emisyonlarının azaltılması için çok daha yüksek bir potansiyele sahiptir (Batog ve ark., 2020).

Lignoselülozik biyokütle, dünyada en yaygın olarak bilinen biyokütledir. Bu nedenle lignoselülozik biyoetanol üretimi, son yıllarda halen sıklıkla kullanılan nişasta biyoetanolüne bir alternatiftir. Lignoselüloz, bitkilerde bulunan selüloz, hemiselüloz, lignin ve diğer ekstraktlar veya mineralden oluşmaktadır. Sorgum posası %11.73-48.0 selüloz ve %10.73-26.14 hemiselüloz içermektedir (Yu ve ark., 2014; Khalil ve ark., 2015; Mahdy ve ark., 2018). Tatlı sorgum posası birçok çevreci teknoloji uygulamalarında kullanılabilmekte ve selülozik etanol üretimi de dahil öne çıkan biyoenerji teknolojilerinde kullanım için uygun olabilmektedir (Mahapatra ve ark., 2017).

Tatlı sorgum (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.), Poaceae familyasına bağlı bir C4 bitkisi olması nedeniyle, yüksek fotosentetik etkinliği olan, kurak ve olumsuz iklim koşullarında tarımı yapılabilen, nispeten düşük girdi gereksinimleri olan önemli bir buğdaygil enerji bitkisidir (Steduto ve ark., 1997; Dolciotti ve ark., 1998; Mastrorilli ve ark., 1999; Ritter ve ark., 2007; Shinde ve ark., 2013). Tatlı sorgum uygun koşullarda 4-5 ay gibi yetiştirme süresinde 4.5 m' ye kadar boylanmakta, tatlı sorgumdan 4.5-11 ton da⁻¹ yaş biyokütle verimi alınmakta (Dweikat, 2014) ve birim alanda yüksek biyokütle üretimi için yeterli miktarda selülozik etanol kaynağı olmasını sağlamaktadır (Han ve ark., 2013). Tatlı sorgum, ağır metal toleransına ve özellikle kadmiyumu (Cd) uzaklaştırma özelliğine sahiptir. Bu nedenle, tatlı sorgum, Cd ile kirlenmiş toprak için sürdürülebilir bir fitoremediasyon sistemi oluşturmak, iyileştirme ve eş zamanlı etanol üretimi için büyük bir potansiyele sahiptir (Xiao ve ark., 2021).

Ülkemizde tatlı sorgum biyokütlesinden ikinci nesil enerji üretimi ile ilgili çalışmalar yok denecek kadar az olup, bu konu ile ilgili yeterli bilgiye ulaşamadığı görülmektedir. Bu çalışma; endüstride biyoetanol elde etmek için Çukurova bölgesi ikinci ürün koşullarında yetiştirilen farklı tatlı sorgum genotiplerinin özsu alındıktan sonra geriye kalan saplarının (posasının) teorik selülozik biyoetanol verimlerini belirlemek ve farklı genotiplerin kimyasal bileşimi ve biyoetanol verimlerindeki farklılıklar da ortaya koymak için yürütülmüştür.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmada, çeşitli kaynaklardan temin edilen 21 adet farklı tatlı sorgum (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.) genotipi materyal olarak kullanılmıştır. Temin edildiği kaynaklara göre materyallerin adları ve temin edildiği kuruluşlar, aşağıdaki gibi gruplandırılmıştır.

1) Cowley, Dale, Grass1, M81-E, Mennonita, Nebraska sugarcane, PI579753, Ramada, Roma, Rox Orange, Smith, Sugar Drip, Theis, Topper 76, Tracy, UNL-Hybrid -3 (26297xM81 E), Williams (Prof. Dr. İsmail Dweikat, Nebraska Üniversitesi, Lincoln, ABD)

2) No2 USDA orijin Çin, No91 USDA orijin Tayvan, No5 USDA orijin Güney Afrika (BATAEM, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Antalya)

3) Yerel çeşit Gülşeker (Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fak. Tarla Bitkileri Bölümü, Bursa)

2.2. Metot

Tarla denemeleri ikinci ürün şartlarında, tesadüf blokları deneme desenine göre dört tekerrürlü olarak 2016 ve 2017 yıllarında Haziran-Ekim döneminde, Çukurova/Adana koşullarında (Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Araştırma alanında) yürütülmüştür. Laboratuvar çalışmaları ise Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü bünyesindeki Enerji Tarımı Araştırma Merkezi Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Bitkilerin hasadı, her genotip için salkımdaki tanelerin süt-hamur olum dönemine denk gelen tarihlerde yapılmıştır. Hasat edilen tatlı sorgum genotiplerinin yaprak ve sapları alındıktan sonra kalan sapları, özel tasarlanmış aletten geçirilerek özsuyu (şırası) alınmıştır. Özsuyu alınmış saplar (posa) önce tartılmış ve daha sonra kurutulmuştur (Şekil 1).



Figure 1. The process of bagasse production from sweet sorghum biomass

Şekil 1. Tatlı sorgum biyokütlesinden posa elde edilmesi süreci

Tatlı sorgum genotiplerinin posalarının selüloz ve hemiselüloz içeriklerini belirlemek için NDF (Nötral Deterjanda Çözünmeyen Lif), ADF (Asit Deterjanda Çözünmeyen Lif) ve ADL (Asit Deterjanda Çözünmeyen Lignin) analizleri yapılmıştır. Bu analizler için her bir genotipi temsil edecek şekilde 500 g yaş ot örneği alınmıştır ve kurutma dolabında 65-70°C' de ağırlıkları sabitleşince selülozik hammadde analizleri için öğütülmüştür. Öğütülen örneklerden de 0.5 gram tartılarak NDF, ADF ve ADL analizleri ANKOM Fiber Analyzer Cihazı'nda gerçekleştirilmiştir (Van Soest ve ark., 1991; Kutlu, 2008). Analizler sonucunda ise aşağıdaki eşitliklerden yararlanılarak % selüloz ve hemiselüloz içerikleri hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Selüloz} = \% \text{ ADF} - \% \text{ ADL} \quad (\text{Eş.1})$$

$$\% \text{ Hemiselüloz} = \% \text{ NDF} - \% \text{ ADF} \quad (\text{Eş.2})$$

Teorik selülozik biyoetanol verimleri ise; hemiselüloz ve selüloz değerlerinin teorik olarak şekere dönüşümünden yola çıkarak litre/ton KM posa cinsinden hesaplanmıştır (Badger, 2002). Tatlı sorgum genotiplerinin dekara kuru madde verimleri hesaba katılarak ayrıca litre cinsinden dekara teorik selülozik biyoetanol verimleri de hesaplanmıştır. Hesaplama; hemiselüloz dönüşüm verimi (%90), xyloze fermentasyon verimi (%50), etanol stokiyometrik oranı (%51), selüloz dönüşüm verimi (%76) ve glukoz fermentasyon verimi (%75) dönüşüm katsayıları kullanılmıştır.

İncelenen tüm özellikler 4 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar, ortalama olarak verilmiştir. İstatistiksel analizde ise, elde edilen veriler JMP istatistik paket programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuş ve ortalamalar, çoklu karşılaştırma Tukey testine göre yapılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Selüloz ve Hemiselüloz İçerikleri

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre selüloz içeriği bakımından incelendiğinde, genotiplerde ve genotip x yıl interaksyonunda $P \leq 0.01$ seviyesinde istatistikî olarak önemli farklılık bulunmuştur (Tablo 1). Genotiplere göre değişimle birlikte tatlı sorgum genotiplerinin posalarından elde edilen selüloz içeriğinin, 2016 ve 2017 yıllarında sırasıyla %32.19-41.48 ve %29.18-48.41 arasında değiştiği saptanmıştır. İki yıllık birleştirilmiş analizlere göre, selüloz içeriği %29.18-48.41 arasında değişmiş olup en yüksek selüloz içeriği, araştırmanın ikinci yılında Gülşeker genotipinde, en düşük selüloz içeriği ise yine çalışmanın ikinci yılında PI579753 genotipinde elde edilmiştir. Genotip ortalamasının %33.21-45.13 arasında değiştiği ve en düşük değer Mennonita çeşidinde elde edildiği ve bunu sırasıyla Cowley ve PI579753 genotiplerinin izlediği belirlenmiştir.

Hemiselüloz içeriği incelendiğinde ise, genotipler arasında ve genotip x yıl interaksyonunda $P \leq 0.01$ seviyesinde istatistikî olarak önemli farklılık bulunmuştur (Tablo 1). Tatlı sorgum genotiplerinin posalarındaki hemiselüloz içeriği 2016 ve 2017 yıllarında sırasıyla %22.15-27.95 ve %16.58-24.30 arasında saptanmıştır. İki yıllık birleştirilmiş analizlere göre hemiselüloz içeriğinin %16.58-27.95 arasında değiştiği ve en yüksek değer 2016 yılında Grass1 genotipinde, en düşük değer ise 2017 yılında Cowley genotipinde belirlenmiştir. Genotip ortalaması %20.63-25.36 arasında değişirken en düşük hemiselüloz içeriği Cowley genotipinde elde edilmiştir. Cowley genotipini sırasıyla Thesis ve Topper 76 çeşitleri izlemiştir. Selüloz ve hemiselüloz içeriklerinin genotiplere, çevre koşullarına göre değiştiği birçok araştırmacı tarafından da bildirilmektedir (Dolciotti ve ark., 1998; Su ve ark., 2010; Mahdy ve ark., 2018; Chauhan ve ark., 2021).

Çalışmada, selüloz içeriği yüksek olan genotiplerin hemiselüloz içeriklerinin de yüksek olduğu ve selüloz içeriği yüksek olan genotiplerin selülozik etanol verimliliğinin de yüksek olduğu görülmektedir. Selüloz içeriği ile hemiselüloz arasında olumlu ve önemli ilişkilerin olduğu görülmektedir. Han ve ark. (2013) deterjan lif, lignin ve sindirilebilirlik ölçümlerinin, etanol üretimi ile yüksek oranda ilişkili olduğunu bildirmektedir. Tatlı sorgum posasından farklı genotip ve ekolojilerde değişik analiz yöntemleri ile yapılan çalışmalarda, selüloz ve hemiselüloz içerikleri ile ilgili yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir. Marx ve ark. (2014), mikrodalga ışınlama kullanarak yaptığı çalışmada; selüloz ve hemiselüloz içeriklerini sırasıyla %36.60 ve %22.96 olarak saptamışlardır. Umagiliyage ve ark. (2015), tatlı sorgum posasının enzimatik hidrolizini geliştirme üzerine yaptıkları çalışmada; selüloz ve hemiselüloz içeriklerini sırasıyla 36.9 ± 1.6 ve 17.8 ± 0.6 olarak bulmuşlardır. Zhang ve ark. (2011), tatlı sorgum posasının enzimatik hidrolizi üzerine farklı ön muamelelerin etkisini inceledikleri çalışmada; tatlı sorgum posasının selüloz ve hemiselüloz içeriklerini sırasıyla %45.3 ve %26.3 olarak belirlemişlerdir. Guimaraes ve ark. (2014), NIRS cihazında 957 posa örneğinin selüloz ve hemiselüloz içeriklerinin sırasıyla %21.4-49.1 ve %18.4-34.8 arasında değiştiğini saptamışlardır.

Mahdy ve ark. (2018), Giza/Mısır'da tatlı sorgum posasının selüloz içeriğinin %19.48-24.11, hemiselüloz içeriğinin %10.73-14.39 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Khalil ve ark. (2015), hemiselüloz içeriğinin %11.73-17.20 ve selüloz içeriğinin %20.18-26.14 arasında değiştiğini saptamışlardır. Barcelos ve ark. (2016), selüloz ve hemiselüloz içeriklerini sırasıyla 40.4 ± 2.6 ve 20.0 ± 2.5 olarak belirlemişlerdir. Batog ve ark. (2020), Polonya'da ana ve ikinci ürün koşullarında çeşitlere göre değişimle; selüloz içeriğinin %21-41.2 ve hemiselüloz içeriğinin %21.9-35.6 arasında değiştiğini, ana ürün ortalamalarının genelde ikinci ürün ortalamalarına göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Tablo 1. Tatlı sorgum genotiplerinden elde edilen posalarının kuru madde bazında selüloz ve hemiselüloz içerik ortamları ve önemlilik grupları

Table 1. Average values and significance groups of cellulose and hemicellulose contents on dry basis of bagasses obtained from sweet sorghum genotypes

Genotipler	Selüloz İçeriği (%)			Hemiselüloz İçeriği (%)		
	2016	2017	Ortalama	2016	2017	Ortalama
Cowley	37.72 ef ⁺	29.43 ı	33.57 hı*	24.68 b-f ⁺	16.58 k	20.63 ı*
Dale	37.69 ef	47.93 a	42.81 b	26.35 ab	22.72 abc	24.53 abc
Grass1	40.06 b	44.36 b	42.21 b	27.95 a	22.77 abc	25.36 a
M81-E	38.60 cde	37.77 f	38.18 d	23.57 c-h	20.58 e-h	22.07 e-h
Mennonita	35.17 h	31.25 h	33.21 ı	23.04 e-h	20.17 ghı	21.60 ghı
N. sugarcane	32.19 ı	39.64 de	35.91 f	25.27 bcd	24.30 a	24.79 ab
PI579753	39.14 bcd	29.18 ı	34.16 h	24.44 b-g	18.13 jk	21.29 ghı
Ramada	35.4 h1	34.66 g	35.04 g	22.92 e-h	19.33 hij	21.12 hı
Roma	35.85 gh	37.73 f	36.79 e	22.15 h	20.70 d-h	21.42 ghı
Rox Orange	38.07 def	42.09 c	40.08 c	23.41 d-h	24.29 a	23.85 bcd
Smith	35.65 gh	44.24 b	39.94 c	22.99 e-h	23.71 ab	23.35 cde
Sugar Drip	34.69 h	39.52 e	37.10 e	25.50 bc	18.66 ij	22.08 e-h
Theis	39.18 bcd	34.40 g	36.79 e	23.02 e-h	18.83 ij	20.93 hı
Topper 76	36.82 fg	40.75 d	38.79 d	22.66 fgh	19.58 hij	21.12 hı
Tracy	35.36 h	45.02 b	40.19 c	22.54 gh	22.40 bcd	22.47 efg
UNL-Hyb-3	37.98 def	39.33 e	38.65 d	22.89 e-h	20.02 ghı	21.45 ghı
Williams	35.70 gh	42.33 c	39.01 d	22.48 gh	21.48 c-g	21.98 fgh
No2	35.41 h	37.64 f	36.52 ef	22.62 fgh	21.40 c-g	22.01 fgh
No91	39.52 bc	37.45 f	38.48 d	24.33 b-g	22.16 b-e	23.24 c-f
No5	38.66 cde	38.16 f	38.41 d	24.86 b-e	20.35 f-ı	22.61 d-g
Gülşeker	41.84 a	48.41 a	45.13 a	22.41 gh	22.07 b-f	22.24 e-h
Ortalama	37.18	39.11		23.81	20.96	
DK (%)		1.22			3.25	
F (Genotip)		**			**	
F (Yıl)		Önemli Değil			Önemli Değil	
F (Genotip x Yıl İnteraksiyonu)		**			**	

+) Aynı harf ile gösterilen çeşit x yıl interaksiyonu ortalamaları arasında Tukey testine göre $P \leq 0.05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemli farklılık yoktur.

*) Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen çeşit ortalamaları arasında Tukey testine göre $P \leq 0.05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemli farklılık yoktur.

**) $P \leq 0.01$ seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir.

Han ve ark. (2013), sorgum bitkisinin sap ve posalarında hemiselüloz içeriğinin %23.90-27.80, selüloz içeriğinin %30.5-34.4 ve lignin içeriğinin %3.3-6.00 arasında değiştiği bildirmişlerdir. Su ve ark. (2010), sorgum posasının kuru madde bazında %17-18 selüloz ve %18-21 hemiselüloz arasında değiştiğini belirlemiştir. Sorgum saplarının hemiselüloz içeriğinin %34-37 ve selüloz içeriğinin 39.2-41.5 arasında değiştiğini bildirilmiştir (Chauhan ve ark., 2021).

Cotton ve ark. (2013), yemlik sorgum çeşidinin selüloz içeriğinin %27.7-35.3 arasında ve hemiselüloz içeriğinin ise %21.2-23.8 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Sorgum gibi buğdaygil bitkilerinden elde edilen biyokütlesinin genel olarak ortalama bileşimleri %25-40 selüloz ve %25-50 hemiselüloz olduğunu, selüloz ve lignoselülozik bakımından zengin olduğu belirlenen biyokütlenin, etanol üretimi için iyi bir substrat olarak kullanılabilirliği bildirilmektedir (Sun ve Cheng, 2002; Howard ve ark., 2003; Wongwatanapaiboon ve ark., 2012; Saini ve ark., 2015).

3.2. Teorik Selülozik Biyoetanol Verimleri

Varyans analizi sonuçlarına göre teorik selülozik biyoetanol verimi (L/ton KM) bakımından incelendiğinde; genotipler ve genotip x yıl interaksiyonu bakımında $P \leq 0.01$ seviyesinde istatistikî olarak önemli farklılık bulunduğu ancak yıllara göre $P \leq 0.01$ seviyesinde istatistikî olarak önemli farklılık bulunmadığı görülmektedir (Tablo 2). Tatlı sorgum genotiplerinin posalarından elde edilebilecek teorik selülozik biyoetanol veriminin 2016

yılında 192.1-228.9 L ton⁻¹ KM arasında, 2017 yılında ise 156.7-242.7 L ton⁻¹ KM arasında değiştiği saptanmıştır. İki yıllık birleştirilmiş analiz sonucunda, teorik selülozik biyoetanol verimi 156.7-242.7 L ton⁻¹ KM arasında değişmiş olup en yüksek biyoetanol verimi 2017 yılında Dale çeşidinde, en düşük verim ise yine araştırmanın ikinci yılında Cowley çeşidinde elde edilmiştir. Genotip ortalamasının 183.7-231.0 L ton⁻¹ KM arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Tatlı sorgum genotiplerinden elde edilen posalarının kuru madde bazında teorik selülozik biyoetanol verim ortalamaları ve önemlilik grupları

Table 2. Average values and significance groups of theoretical cellulosic bioethanol yield on dry basis of bagasses obtained from sweet sorghum genotypes

Genotipler	Teorik Selülozik Biyoetanol Verimi (L ton ⁻¹ KM)			Teorik Selülozik Biyoetanol Verimi (L da ⁻¹ KM)		
	2016	2017	Ortalama	2016	2017	Ortalama
Cowley	210.8 cd ⁺	156.7 ı	183.7 j*	352.7 e-h ⁺	300.2 ef	326.5 g*
Dale	215.5 bc	242.7 a	229.1 a	362.2 e-h	395.7 c-f	379.0 efg
Grass1	228.9 a	229.7 bc	229.3 a	621.0 b	603.7 abc	612.3 b
M81-E	210.8 cd	199.0 f	204.9 ef	567.5 bc	457.4 b-f	512.5 b-e
Menonita	196.6 fgh	173.8 h	185.2 j	385.9 d-h	307.9 ef	346.9 fg
N. sugarcane	192.1 h	216.7 d	204.4 ef	325.5 gh	453.5 b-f	389.5 efg
PI579753	215.3 bc	160.3 ı	187.8 ij	435.9 c-h	251.1 f	343.5 fg
Ramada	197.1 fgh	183.9 g	190.5 ı	451.4 c-g	570.6 a-d	511.0 b-e
Roma	196.5 fgh	199.2 f	197.9 gh	514.2 b-e	593.6 abc	553.9 bc
Rox Orange	208.4 d	225.7 c	217.0 b	364.0 e-h	444.2 b-f	404.1 d-g
Smith	198.2 fgh	232.0 b	215.1 b	299.9 gh	650.1 ab	475.0 b-f
Sugar Drip	202.0 ef	199.9 f	200.9 fg	304.5 gh	330.4 def	317.5 g
Theis	211.3 cd	181.5 g	196.4 h	556.9 bc	524.8 a-e	540.9 bcd
Topper 76	201.6 efg	207.1 e	204.3 ef	500.8 b-f	596.2 abc	548.5 bcd
Tracy	195.8 gh	231.0 bc	213.4 bc	341.8 fgh	404.8 b-f	373.3 efg
UNL-Hyb-3	206.5 de	203.1 ef	204.8 ef	793.7 a	741.5 a	767.6 a
Williams	196.9 fgh	218.4 d	207.7 de	270.9 h	323.9 def	297.4 g
No2	196.3 fgh	200.9 f	198.6 gh	338.2 fgh	262.1 f	300.2 g
No91	216.4 bc	202.4 ef	209.4 cd	637.6 ab	592.0 abc	614.8 b
No5	214.8 bc	199.8 f	207.3 de	533.0 bcd	338.0 def	435.5 c-g
Gülşeker	219.4 b	242.5 a	231.0 a	286.6 gh	375.8 c-f	331.2 fg
Ortalama	206.2	205.1		440.2	453.2	
DK (%)		1.09			18.02	
F (Genotip)		**			**	
F (Yıl)		Önemli Değil			Önemli Değil	
F (Genotip x Yıl İnteraksiyonu)		**			**	

+) Aynı harf ile gösterilen çeşit x yıl interaksiyonu ortalamaları arasında Tukey testine göre P≤0.05 seviyesinde istatistiksel olarak önemli farklılık yoktur.

*) Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen çeşit ortalamaları arasında Tukey testine göre P≤0.05 seviyesinde istatistiksel olarak önemli farklılık yoktur.

**) P≤0.01 seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir.

Ayrıca, tatlı sorgum genotiplerinin dekara kuru madde verimleri hesaba katılarak, litre cinsinden dekara teorik selülozik biyoetanol verimleri de hesaplanmıştır. Teorik selülozik biyoetanol verimi (L da⁻¹ KM) bakımından incelendiğinde ise genotipler ve genotip x yıl interaksiyonu P≤0.01 seviyesinde istatistikî olarak önemli bulunurken, yıllara göre P≤0.01 seviyesinde istatistikî olarak önemli farklılık bulunmamıştır (Tablo 2). Tatlı sorgum genotiplerinin posasından elde edilebilecek teorik selülozik biyoetanol verimi, 2016 ve 2017 yılları için sırasıyla 325.5-793.7 L da⁻¹ KM ve 251.1-741.5 L da⁻¹ KM arasında değişmiştir. Dekara teorik selülozik biyoetanol verimi 2017 yılında daha yüksek bulunmuştur. İki yıllık birleştirilmiş analizlere göre, teorik selülozik biyoetanol verimi 251.1-793.7 L da⁻¹ KM arasında değişmiştir ve en yüksek teorik selülozik biyoetanol verimi ise araştırmanın ikinci yılında PI579753 genotipinde elde edilmiştir. Genotip ortalaması 297.4-767.6 L da⁻¹ KM arasında değişirken en düşük değer Williams genotipinde elde edilmiş ve bunu sırasıyla No2 genotipi ve Sugar Drip çeşidi takip etmiştir.

Zhao ve ark. (2009), tatlı sorgumda selülozik etanol verimini 2006 yılında 198.5-448.9 L da⁻¹ arasında; 2007 yılında ise 179.6-659.1 L da⁻¹ arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Guimaraes ve ark. (2014), tatlı sorgum bitkisinin saplarındaki özsuyu alındıktan sonra geriye kalan posa örneklerinde teorik selülozik etanol veriminin 221-412 L ton⁻¹ KM arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Barcelos ve ark. (2016), tatlı sorgum posasından teorik selülozik etanol verimini 430 L ton⁻¹ KM olarak saptamışlardır.

Batog ve ark. (2020), Polanya’da sorgum çeşitlerinin biyoetanol verimini 223-506 mg L⁻¹ KM sap arasında değiştiğini bildirmektedirler. Rakhmetova ve ark. (2020), bitki öz suyundan alınan şıradan 404.1 L da⁻¹ ve 639 L da⁻¹ arasında etanol elde edileceğini ve ek olarak da posanın kullanımı ile toplam biyoetanol veriminin 1.142,3 L da⁻¹ ulaşabildiğini bildirmektedirler. Mahdy ve ark. (2018), etanol üretimi için yüksek selüloz ve düşük lignin içeriğine sahip çeşitlerin tercih edilmesi gerektiği bildirilmiştir. Tang ve ark. (2018), ortamın bitki büyümesi, biyokütle verimi ve bileşenleri ve ardından enerji sorgumun etanol potansiyelini önemli ölçüde (p<0.05) etkilediğini bildirmektedirler.

Maw ve ark. (2017), Midwest Amerika’da New Franklin lokasyonunda tatlı sorgum posalarının yıllara göre selülozik etanol verimi, 399.7-1011.9 L da⁻¹ KM arasında, Mount Vernon lokasyonunda ise verimin 202.6.-844.3 L da⁻¹ arasında değiştiğini saptamışlardır. Cotton ve ark. (2013), teorik etanol verimi, sınırlı su uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde 264-338 L da⁻¹ olarak belirlenirken su uygulaması yapılmadan yetiştirilen bitkilerde ise 160-252 L da⁻¹ olarak tespit etmişlerdir.

4. Sonuç

Fosil yakıtların enerji kaynağı olarak kullanımı, enerji açısından ülkemizin dışa bağımlı olması, bu kaynakların kullanımı sonucunda küresel ısınma, iklim değişikliği gibi olumsuz çevresel etkileri alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Tarımsal kaynaklı alternatif biyoetanol kaynakları yenilenebilir, sürdürülebilir, çevre ile dost özellikleri sebebiyle büyük önem taşımaktadırlar. Bu çalışmada; diğer bitkilere kıyasla su ve gübre ihtiyacı daha az olan ve de birim alandan daha yüksek biyokütleyle sahip tatlı sorgum bitkisinin biyoetanol kaynağı olarak değerlendirilebilme potansiyeli incelenmiştir. Çukurova lokasyonunda 2016 ve 2017 yıllarında genotiplerin iki yıllık ortalamalarına göre, özsuyu (şırası) alındıktan sonra geriye kalan tatlı sorgum posasından elde edilen selüloz içeriğinin %33.21-45.13, hemiselüloz içeriğinin %20.63-25.36, teorik selülozik biyoetanol veriminin 183.7-231.0 L ton⁻¹ KM ve 297.4-767.6 L da⁻¹ arasında değiştiği saptanmıştır. UNL-Hyb-3 genotipinin, çalışmada incelenen tüm genotipler arasında hem 2016 (793.7 L da⁻¹) ve 2017 (741.5 L da⁻¹) yıllarında ve hem de iki yıllık birleştirilmiş analiz sonucunda (767.6 L da⁻¹) birim alanda en yüksek biyoetanol verimine sahip olduğu saptanmıştır. Teorik selülozik biyoetanol verimlerinin iki yıllık ortalamalarına göre UNL-Hyb-3 genotipini sırasıyla 614.8 L da⁻¹ ile No91 ve 612.3 L da⁻¹ ile Grass1 genotipleri takip etmiştir. Yapılan tüm analizler göz önüne alındığında tatlı sorgum bitkisinin biyoetanol kaynağı olarak değerlendirilebileceği anlaşılmıştır. Enerji ihtiyacının büyük bir oranının ithalat ile karşılandığı ülkemizde, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerjinin sağlanması için alternatif kaynaklardan biri olan biyoetanol, önemli ve büyük bir potansiyel oluşturmaktadır. Biyoetanol, ayrıca çevre kirliliğini azaltması ve ekonomiye katkı sağlamasından dolayı da önem taşımaktadır. Ülkemizde biyoetanol üretimi ve biyoetanol üretiminde diğer bitkilere kıyasla toprak seçiciliği, su ve gübre kullanımı daha az olan tatlı sorgum bitkisinin hammadde olarak kullanımı teşvik edilmelidir.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen 1140948 numaralı projenin bir bölümüdür. TÜBİTAK’ a desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Arif, A.B., Budiyo, A., Diyono, W., Hayuningtyas, M., Marwati, T., Sasmitaloka, K.S., Richana, N. (2019). Bioethanol Production From Sweet Sorghum Bagasse Through Enzymatic Process. *2nd International Conference on Agriculture Postharvest Handling and Processing IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 309. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/309/1/012033>.
- Aybek, A., Üçok, S., İspir, M.A., Bilgili, M.E. (2015). Digital mapping and determination of biogas energy potential of usable animal manure and cereal straw wastes in Turkey. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 12(3): 109-120.
- Badger, P.C. (2002). Ethanol from cellulose: A general review, Trends in new crops and new uses, 17-21. In: J. Janick and A. Whipkey (Eds.), Trends in new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, VA. <https://www.hort.purdue.edu/newcrop/nenu02/pdf/badger.pdf>. (Erişim tarihi: 20.08.2021).
- Barcelos, A.C., Maeda, R., Anna, L., Pereira Jr, N. (2016). Sweet sorghum as a whole-crop feedstock for ethanol production. *Biomass and Bioenergy*, 94: 46-56. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.08.012>
- Batog, J., Frankowski, J., Wawro, A., Lacka, A. (2020). Bioethanol production from biomass of selected sorghum varieties cultivated as main and second crop. *Energies*, 13: 6291. <https://doi.org/10.3390/en13236291>.
- Bazaluk, O., Havrysh, V., Fedorchuk, M., Nitsenko, V. (2021). Energy assessment of sorghum cultivation in southern Ukraine. *Agriculture*, 11: 695. <https://doi.org/10.3390/agriculture11080695>.
- Chauhan, N.M., Hajare, S.T., Mamo, B., Madebo, A.A. (2021). Bioethanol production from stalk residues of chiquere and gebabe varieties of sweet sorghum. *International Journal of Microbiology*, 12: 1-16. <https://doi.org/10.1155/2021/6696254>.
- Cotton, J., Burow, G., Acosta-Martinez, V., Moore-Kucera, J. (2013). Biomass and cellulosic ethanol production of forage sorghum under limited water conditions. *Bioenergy Research*, 6: 711-718. <https://doi.org/10.1007/s12155-012-9285-0>
- Develi, C.H., Aybek, A., Üçok, S. (2021). Antep fıstığı kabağı ve zeytin küspesinden biyoyakıt amaçlı pelet elde edilmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(4): 689-701.
- Dolciotti, I., Mambell, S., Grandi, S., Ventur, G. (1998). Comparison of two sorghum genotypes for sugar and fiber production. *Industrial Crop Production*, 7: 265-272.
- Dweikat, I. (2014). Sorghum diversity paper, sweet energy crop article. <http://agronomy.unl.edu/sweetsorghum>, (Erişim tarihi: 07.03.2020).
- Guimarães, C.C., Simeone, M.L.F., Parrella, R.A.C., Sena, M.M. (2014). Use of NIRS to predict composition and bioethanol yield from cell wall structural components of sweet sorghum biomass. *Microchemical Journal*, 117: 194-201.
- Han, K.J., Pitman, W.D., Kim, M., Day, D.F., Alison, M.W., McCormick, M.E., Aita, G. (2013). Ethanol production potential of sweet sorghum assessed using forage fiber analysis procedures. *GCB Bioenergy*, 5: 358-366. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2012.01203.x>
- Howard, R.L., Abotsi, E., Jansen van Rensburg, E.L.J., Howard, S. (2003). Lignocellulose biotechnology: issues of bioconversion and enzyme production. *African Journal of Biotechnology*, 2(12): 602-619. <https://doi.org/10.5897/AJB2003.000-1115>
- Khalil, S.R.A., Abdelhafez, A.A., Amer, E.A.M. (2015). Evaluation of bioethanol production from juice and bagasse of some sweet sorghum varieties. *Annals of Agricultural Sciences*, 60(2): 317-324. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2015.10.005>
- Kutlu, H.R. (2008). Yem Değerlendirme ve Analiz Yöntemleri. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü Ders Notu, 68 S. <http://www.zootekni.org.tr/upload/File/sunular/tm.pdf>. (Erişim tarihi: 04.08.2020).
- Mahapatra, A.K., Ekefre D.E., Pattanaik N.K., Jena U., Williams A.L., Latimore M. (2017). Thermal properties of sweet sorghum bagasse as a function of moisture content. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19(4): 108-113.
- Mahdy, E.M.E., Ramadan, H.A., Emara, M.A. (2018). Suitability of some sweet sorghum varieties for bioethanol production. *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, 9(9): 205-210.
- Marx, S., Ndaba, B., Chiyanzu, I., Schabert, C. (2014). Fuel ethanol production from sweet sorghum bagasse using microwave irradiation. *Biomass and Bioenergy*, 65: 145-150. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.11.019>
- Mastorilli, M., Katerji N., Rana G. (1999). Productivity and water use efficiency of sweet sorghum as affected by soil water deficit occurring at different vegetative growth stages. *European Journal of Agronomy*, 11: 207-215.
- Maw, M.J.W., Houx, J.H., Fritsch, F.B. (2017). Maize, sweet sorghum, and high biomass sorghum ethanol yield comparison on marginal soils in Midwest USA. *Biomass and Bioenergy*, 107: 164-171. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.09.021>
- Rakhmetova, S.O., Vergun, O.M., Blume, R.Y., Bondarchuk, O.P., Shymanska, O.V., Tsygankov, S.P., Yemets, A.I., Blume, Y.B., Rakhmetov, D.B. (2020). Ethanol production potential of sweet sorghum in North and Central Ukraine. *Open Agriculture Journal*, 14: 321-338.
- Raud, M., Tutt, M., Olt, J., Kikas, T. (2015). Effect of lignin content of lignocellulosic material on hydrolysis efficiency. *Agronomy Research*, 13(2): 405-412.
- Ritter K.B., McIntyre C.L., Godwin I.D., Jordan D.R., Chapman S.C. (2007). An assessment of the genetic relationship between sweet and grain sorghums, within *Sorghum bicolor* ssp. *bicolor* (L.) Moench, using AFLP markers. *Euphytica*, 157: 161-176.
- Rivera-Burgos, L.A., Volenc, J.J., Ejeta, G. (2019). Biomass and bioenergy potential of brown midrib sweet sorghum germplasm. *Frontiers in Plant Science*, 10: 1142. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01142>.

- Saini, J.K., Saini, R., Tewari, L. (2015). Lignocellulosic agriculture wastes as biomass feedstocks for second-generation bioethanol production: concepts and recent developments. *Biotechnology*, 5(4): 337-353. <https://doi.org/10.1007/s13205-014-0246-5>
- Shinde, M.S., Repe, S.S., Gaikwad, A.R., Gadakh, S.R. 2013. Physio-biochemical assessment of sweet sorghum genotypes during post rainy season. *Journal Academia Industrial Research*, 1(8):501-507.
- Steduto, P., Katerji N., Puertos-Molina, H., Unlu, M., Mastrorilli, M., Rana, G. (1997). Water use efficiency of sweet sorghum under water stress conditions. Gas exchange investigations at leaf and canopy scales. *Field Crops Research*, 54: 221-234.
- Su, M.Y., Tzeng, W.S., Shyu, Y.T. (2010). An analysis of feasibility of bioethanol production from Taiwan sorghum liquor waste. *Bioresource Technology*, 101: 6669–6675.
- Sun, Y., Cheng, J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology*, 83(1): 1-11.
- Tang, C., Li, S., Li, M., Xie, G.H. (2018). Bioethanol potential of energy sorghum grown on marginal and arable lands. *Frontiers in Plant Science*, 9: 440, 1-11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00440>.
- Umagiliyage, A.L., Choudhary, R., Liang, Y., Haddock, J., Watson, D.G. (2015). Laboratory scale optimization of alkali pretreatment for improving enzymatic hydrolysis of sweet sorghum bagasse. *Industrial Crops and Products*, 74: 977-986. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.044>
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A. (1991). Method for dietary fiber, neutral detergent fiber and nostarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74: 3583-3597.
- Wongwatanapaiboon, J., Kangvansaichol, K., Burapatana, V., Inochanon, R., Winayanuwattikun, P., Yongvanich, T., Chulalaksananukul, W. (2012). The potential of cellulosic ethanol production from grasses in Thailand. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2012:1-10, [doi:10.1155/2012/303748](https://doi.org/10.1155/2012/303748).
- Wyman, C.E., Bain, R.E., Hinman, N.D., Stevens, D.J. (1993). Ethanol and Methanol from Cellulosic Biomass. In: Johansson, T.B., Kelly, H., Reddy, A.K.N., Williams, R. (Eds.), *Renewable Energy*. Island Press, Washington DC, 865-924.
- Xiao, M.Z., Sun, Q., Hong, S., Chen, W.J., Bo, P., Du, Z.Y., Yang, W.B., Sun, Z., Yuan, T.Q. (2021). Sweet sorghum for phytoremediation and bioethanol production. *Journal of Leather Science and Engineering*, 3: 32. <https://doi.org/10.1186/s42825-021-00074-z>
- Yaşar, B. (2009). *Alternatif enerji kaynağı olarak biyodizel üretim ve kullanım olanaklarının Türkiye tarımı ve AB uyum süreci açısından değerlendirilmesi*. (Doktora Tezi) Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Yu, M., Li, J., Li, S.Z., Ran, D., Jiang, Y., Fan, G., Zhao, G., Chang, S. (2014). A cost-effective integrated process to convert solid-state fermented sweet sorghum bagasse into cellulosic ethanol. *Applied Energy*, 115: 331-336. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.11.020>
- Zhang, J., Ma, X., Yu, J., Zhang, X., Tan, T. (2011). The effects of four different pretreatments on enzymatic hydrolysis of sweet sorghum bagasse. *Bioresource Technology*, 102: 4585-4589. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.12.093>
- Zhao, Y.L., Dolat, A., Steinberger, Y., Wanga, X., Osman, A., Xie, G.H. (2009). Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. *Field Crops Research*, 111: 55-64. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.10.006>