

Kenevir (*Cannabis sativa L.*) Sapının Katı Yakıt Pelet Özelliklerinin Belirlenmesi

Mahmut DOK^{1*}  **Mustafa ACAR²**  **Şahin GİZLENCİ³** 

^{1,2,3} **Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Samsun/TURKEY**

¹ <https://orcid.org/0000-0002-1558-7452>

² <https://orcid.org/0000-0003-3831-1894>

³ <https://orcid.org/0000-0001-8964-9233>

*Corresponding author (Sorumlu yazar): mahmutdok@hotmail.com

Received (Geliş tarihi): 02.03.2021 Accepted (Kabul tarihi): 02.08.2021

ÖZ: Bu çalışma 2019 yılı içerisinde Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nün Gelemen'deki arazisi üzerinde yürütülmüştür. Çalışmada materyal olarak, Avrupa'da yaygın ekim alanı olan, yurtdışı tescilli endüstriyel kenevir çeşitlerinden USO-31, Santhica-27, Ferimon, Fedora 17 ve Futura 75 ile birlikte Vezirköprü'de üreticiler tarafından uzun yıllar ekimi yapılan Narlısaray popülasyonu'nun sapsarı kullanılmıştır. Çalışmada bitki boyu ve dekara sap verimi değerleri ile sapsarın lifi alındıktan sonra kalan artıklarından kalorifik değer, nem, kül, pelet çapı, pelet uzunluğu, pelet dayanıklılık direnci ve baca gazı emisyon değerleri (O₂, CO₂, CO, NO, NO_x ve SO₂) incelenmiştir. Çalışma tesadüf blokları deneme deseninde 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Çalışma sonucunda sap verimi, bitki boyu ve kalorifik değer bakımından en yüksek veriler, Narlısaray popülasyonundan elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Narlısaray popülasyonu başta olmak üzere, sırasıyla Futura-75, Uso-31, Ferimon, Fedora-17 ve Santhica-27 çeşitlerinin katı yakıt kaynağı olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kenevir sapı, yenilenebilir enerji, katı yakıt pelet.

Determination of the Solid Fuel Pellet Characteristics of Cannabis (*Cannabis sativa L.*)

ABSTRACT: This study was carried out on the land of the Black Sea Agricultural Research Institute in Gelemen in 2019. The industrial cannabis varieties USO-31, Santhica-27, Ferimon, Fedora 17 and Futura 75, which are registered in Europe, as well as the Narlısaray population, which has been cultivated by its producers for many years in Vezirköprü, were used as the material in the study. In the study, plant height and stem yield (kg / da) characters of cannabis varieties were examined. In addition, solid fuel pellets were made from the residues of the stalks after fiber removal, and the calorific value, moisture, ash, pellet diameter, pellet length, pellet durability and flue gas emission values (O₂, CO₂, CO, NO, NO_x, SO₂) were examined. The study was carried out in a randomized block design with 3 replications. As a result of the study, the highest values for stem yield, plant height and calorific value were obtained from the Narlısaray population. According to the results, it was concluded that mainly the Narlısaray population as well as the varieties Futura-75, Uso-31, Ferimon, Fedora-17, and Santhica-27, can be considered as solid fuel sources.

Keywords: Hemp stalk, renewable energy, solid fuel pellets.

GİRİŞ

Yenilenebilir enerji, insan müdahalesi olmadan doğal çevreden sürekli veya tekrarlamalı olarak akan enerji şeklinde tanımlanmaktadır (Acaroğlu, 2013). Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en büyük araştırma payına sahip olan biyokütledir. Bitkilerin ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan biyokütle, genelde güneş enerjisini fotosentez yardımıyla depolayan bitkisel organizmalar olarak adlandırılır. Biyokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir popülasyona ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip oldukları toplam kütle miktarı olarak da tanımlanabilir (Eren, 2011). Ayrıca biyokütle, karada ve suda yaşayan bitkiler, hayvan artıkları, kentsel atıklar, besin endüstrisi ve tarıma dayalı endüstri atıklarını içeren tüm organik maddeler olarak da tanımlanır. Biyokütle doğrudan ısınma ve elektrik amacıyla kullanılabilir, katı, gaz ve sıvı yakıtla çevrilebilmektedir. Biyokütleden elde edilen enerjiye ise biyokütle enerjisi denir (Karayılmazlar ve ark., 2011). Tarımsal artıklar enerji amacıyla doğrudan yakılabildikleri gibi, parçalanma, kurutma ve sıkıştırma gibi işlemlerden geçirilerek pelet ya da briket şeklinde de kullanılabilirler. Pelet, küçük silindirik bir forma sahip olan genellikle 6-8-10 mm çapında ve 10-40 mm arasında uzunluğu olan, sıkıştırılmış; talaş, odun yongaları, ağaç kabuğu, ağaç dalları, ekinlerin sapları, fındık, ağaç diplerindeki kozalak gibi doğal ürün ve atıklardan elde edilen bir yakıt çeşididir. Briket ise, lignin bakımından zengin orman ve tarımsal artıkların hiçbir kimyasal tutkal ve katkı kullanılmadan kurutulup öğütüldükten sonra yüksek basınçla sıkıştırılması sonucunda yoğunluğu artırılarak farklı biçimlerde üretilen ve enerji sağlamada kullanılan katı yakıttır. Pelet ve briketler evlerin ısınmasında, merkezi ısıtma sistemlerinde, termik santrallerde kömürle birlikte yakılarak ısı ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır (Saraçoğlu, 2010). Özellikle son dönemlerde, atıl durumda bulunan tarımsal atıkların evlerde ısınma amaçlı briket ve pelet üretiminde hammadde olarak kullanılması hem laboratuvar ortamında hem de ticari olarak büyük önem kazanmıştır. Ülkemizde önemli miktarlarda

tarımsal atık (herhangi bir şekilde değerlendirilmesi yapılamayan pamuk sapı, ayçiçeği sapı, vb.) yasak olmasına rağmen her yıl tarlada yakılmakta veya evlerde yakacak olarak değerlendirilmeye çalışılmaktadır. Bu atıkların evlerde yakacak olarak değerlendirilmesini cazip hale getirmenin başlıca yolu ise bunların taşınmasını ve sobalarda yakılmasına imkân sağlayacak briketleme ve peletleme sistemleridir (Boztepe ve Karaca, 2009). Peletlerin nem içeriği fiziksel özellikleriyle yakından ilişkilidir ve kaliteli ürünler için %10-15 aralığında olmalıdır. Biyokütle tipine göre değişen peletlerin optimum nem içeriğinin belirlenmesi, yüksek stabilite ve dayanıklılığa sahip pelet üretimi ve ayrıca uygun depolama koşullarının seçimi için gereklidir (Ungureanu ve ark., 2018). Anadolu topraklarında MÖ 1500 yılından beri kenevir tarımının yapıldığı bilinmektedir (Gedik ve ark., 2016). Ülkemizde kenevir tarımı ve lif sektörü çok eskilere dayanmakla birlikte son yıllarda tarımı iyice azalmış ve yok olma noktasına gelmiştir. Kastamonu, öteden beri kenevir yetiştiriciliği ile ünlenmiş bir ilimizdir (Gürel ve ark., 2000). Ne yazık ki, son 9 yıldır Kastamonu'da kenevir tarımı yapılmamaktadır.

Kenevir her yönüyle değerlendirilebilen bir bitkidir. Odun ve kömür sıkıntısı çekilen yerlerde lif üretimi için lifleri alınmış odunsu kısımları yakacak olarak da kullanılırlar. Saplarda yüksek oranda K ve P bulunması nedeniyle küllerinin gübre olarak değeri yüksektir (Turan, 2000). Jankauskiene ve Gruzdeviene (2010) Litvanya'da 5 çeşit ile yaptıkları adaptasyon çalışmasında, USO 31 çeşidinin erkenci olduğunu, dekara 477 kg biyokütle verimi verdiği belirlemişlerdir. Aynı araştırmacıların yapmış oldukları bir başka çalışmada ise bitki sıklığının artması durumunda biyokütle veriminin de istatistiki anlamda artacağı bildirilmiştir (Jankauskiene ve Gruzdeviene, 2015). Endüstriyel kenevirin biyoyakıt hammaddesi olarak kullanılma potansiyeli kenaf, dallı darı ve sorgum biyokütlesi ile agronomik, deneysel ve ekonomik açıdan değerlendirilmiştir (Das ve ark., 2017). Yapılan çalışmada her dört hammaddenin de toplam şeker miktarlarının benzer olduğu görülürken, kenevirin lignin oranının diğer üç hammaddeden daha yüksek

olduğu bulunmuştur. Isıl değerleri karşılaştırıldığında ise kenevir ve kenafın bir miktar daha yüksek ısıl değere sahip olduğu saptanmıştır. Bir diğer aşama olan ön-işlem ve enzimatik hidroliz sonucu endüstriyel kenevirden elde edilen şeker veriminin diğer hammaddeler ile daha yüksek olmasa bile benzer seviyede olduğu belirlenmiştir. Kenevirin biyoyakıt olarak kullanılma potansiyelinin belirlenmesindeki bir diğer faktör etanol verimidir. Endüstriyel kenevirin teorik ve öngörülen etanol verimi (82 galon/kuru ton kenevir) dikkate alındığında biyoetanol potansiyelinin diğer biyokütleler ile benzer olduğu sonucuna varılmıştır. Karşılaştırmalı ekonomik analiz sonucu endüstriyel kenevirin hem taneleri hem de saplarından elde edilen biyoetanol birlikte dikkate alındığında hektar başına brüt kârın diğer bitkilerden daha yüksek olacağı gösterilmiştir. Kreuger ve ark. (2011), endüstriyel kenevirin anaerobik sindirimi ile üretilebilecek net metan gazının birim hektar başına olan enerji verimini incelediği Güney İsveç'te gerçekleştirilen çalışmada, Temmuz ile Kasım ayları arasında dört farklı zamanda hasat edilen kenevirlerin biyokütle verimleri ve elde edilen metan değerleri yenilenebilir enerji için kullanılan diğer bitkilerin değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada kenevirden elde edilen metanın hektar başına en yüksek net enerji verimi 136 GJ olduğu ve bu değer referans olarak kullanılan etanol (buğday) ve biyodizelden (kolza tohumu) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Elde edilen metan veriminin hasat zamanıyla önemli ölçüde ilintili olmadığı çalışma sonucunda belirtilmiştir. Sausserde ve Adamovics (2013), Letonya'da 10 adet endüstriyel kenevir çeşitlerinin (Bialobrzskie, Futura 75, Fedora 17, Santhica 27, Beniko, Ferimon, Epsilon 68, Tygra, Wojko ve Uso 31) biyokütle verimi ve karbon içeriğini araştırdığı çalışmada en yüksek yaş biyokütle verimi Futura-75 çeşidinden 7.5 ton/da olarak belirlenmiştir. Kenevir çeşitlerinde saplardaki karbon içeriği %41,62 ile 45,37 arasında değişmiştir. Sonuç olarak, on adet kenevir çeşidinin de potansiyel biyokütle kaynağı olabileceğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada 6 adet kenevir çeşit ve populasyonunun saplardan elde edilen peletlerin katı yakıt özellikleri incelenmiştir.

MATERYAL ve METOT

Çalışmada materyal olarak, Avrupa'da yaygın ekim alanı olan, yurtdışı tescilli endüstriyel kenevir çeşitlerinden USO-31, Santhica-27, Ferimon, Fedora 17, Finola ve Futura 75 ile birlikte Vezirköprü'de üreticileri tarafından uzun yıllar ekimi yapılan Narlısaray populasyonu kullanılmıştır. Kullanılan Narlısaray, çeşit olmayıp uzun yıllardan beri kullanılan bir populasyondur. Çalışmada kullanılan bu çeşitler endüstriyel kenevirler olup, tetrahydrocannabinol (THC) oranları % 0,2'nin altındadır. Bu çeşitlerin tohumları yurtdışından deneme amaçlı olarak Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından temin edilmiştir. Deneme, tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olacak şekilde; her biri 6 metre boyunda 12 sıradan oluşan parsellere, 20 cm sıra aralığında deneme mibzeri veya el ile ekilmiştir. Parsel genişliği 2,4 m'dir. Toprak hazırlığı geleneksel metotla (pulluk, diskaro, tırmık, ekim ve merdane) yapılmıştır. Ekim, iyi hazırlanmış tohum yatağına, yeterli iklim koşullarına sahip olduğunda, Nisan ayında gerçekleştirilmiştir. Denemede toplam 10 kg/da azot ve 8 kg/da fosfor gübresi uygulaması yapılmıştır. Hesaplanan gübre dozlarından, dekara uygulanacak azotun yarısı ve diğer besin maddeleri ekim ile birlikte Amonyum sülfat (%21) ve DAP (%18-46) formunda; azotun kalan yarısı ise Mayıs ayı ortalarında CAN (%26) formunda verilmiştir (Özdemir, 1993; Vera ve ark., 2010). Denemede bitki boyu (cm) ve dekara sap verimi (kg/da) değerleri alınmıştır. Sap için çeşitler Ağustos ayı içerisinde hasat edilmiş ve havuzlama yapılmadan sap sıyırma makinesiyle lifleri soyulmuştur. Lifleri alındıktan sonra kalan sapsaplar (kıtıklar), peletleme için ayrılarak çekiçli değirmende 6 mm'lik elekten geçirilerek parçalanmış, nem oranları %14 civarına kadar kurutulmuşlardır. Daha sonra kurutulan materyalden birimde mevcut pelet makinesiyle 6 mm çapında peletler elde edilmiştir. Elde edilen peletlerde kalorifik (ısı) değer, nem, kül analizleri ile pelet çapı, pelet uzunluğu ve pelet dayanıklılık direnci (tumbler) gibi fiziksel analizler yapılmıştır. Ayrıca peletler, birimde mevcut pelet sobasında yakılarak baca gazı emisyon değerleri (O₂, CO₂,

CO, NO, NO_x ve SO₂) Optima-7 El Tipi Baca Gazı Analizörü ile ölçülmüştür.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada, Avrupa'da yaygın ekim alanı olan, yurtdışı tescilli endüstriyel kenevir çeşitlerinden USO-31, Santhica-27, Ferimon, Fedora 17 ve Futura 75 ile birlikte Vezirköprü'de üreticiler tarafından uzun yıllar ekimi yapılan Narlısaray populasyonu'nun sapsarı kullanılmıştır. Çalışmada bitki boyu ve dekara sap verimi değerleri ile sapsarın lifi alındıktan sonra kalan artıklarından kalorifik değer, nem, kül, pelet çapı, pelet uzunluğu, pelet dayanıklılık direnci ve baca gazı emisyon değerleri incelenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen veriler, Çizelge 1 ve Çizelge 2 de verilmiştir.

Bitki boyu

Bitki boyu verileri özellikle sap verimini doğrudan etkileyen önemli bir parametredir (Çizelge1). Bitki boyu ölçümleri toprak seviyesinden, bitkinin dikey olarak en üst seviyesi arasındaki mesafe olarak yapılmıştır. Çizelge 1 incelendiğinde; bitki boyu çeşitler arasında oldukça fazla değişim göstermiştir. İstatistik analiz sonuçları incelendiğinde çeşitlerin bitki boylarının çok önemli olduğu görülmektedir ($P \leq 0,01$). Kenevir bitkisi için, özellikle sap ve lif

kullanım amaçlı yetiştirilenlerde, genel olarak uzun boylu olması arzu edilmektedir. Sonuçlara bakıldığında en yüksek bitki boyu değerinin 180,6 cm ile Narlısaray populasyonundan elde edildiği görülmektedir. Narlısaray populasyonunu 146,5 cm ile Santhica-27 çeşidi takip etmekte, en düşük bitki boyu ise 106,3 cm ile Fedora-17 çeşidinden elde edilmiştir.

Sap ağırlığı

Sap ağırlığı (kg/da) değerleri özellikle lif amaçlı kenevir yetiştiriciliğinde önemlidir. Çünkü sap verimi ile lif verimi arasında pozitif bir korelasyon olduğu söylenebilir. Sap veriminin artışına bağlı olarak lif verimi de artmaktadır. Kenevir bitkisi lif ve tohum amaçlı olarak yetiştirilebilmektedir ve tohum ya da lif amaçlı yetiştirildiğinde hasat dönemleri farklılık göstermektedir. Çalışmada sap verimleri lif amaçlı hasatlardan elde edilmiştir. Lif amaçlı yetiştiricilikte erkek bitkiler çiçeklenmelerini tamamladıktan 5-6 gün sonra ideal hasat dönemine gelmektedir. Sap verimleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çeşitler arasındaki farkın istatistiki olarak çok önemli olarak hesaplandığı görülmektedir ($P \leq 0,01$). Çizelge 1 incelendiğinde, sap verimi bakımından en yüksek değere sahip olan materyalin 894,9 kg/da ile Narlısaray populasyonu, en düşük olanın ise 226,4 kg/da ile Santhica-27 çeşidi olduğu görülmektedir.

Çizelge 1. Bazı kenevir çeşitlerinin tarımsal, fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Table 1. Agricultural, physical and chemical properties of some cannabis varieties.

Çeşitler Varieties	Biyokütle verimi Biomass weight (kg/da)	Bitki boyu Plant height (cm)	Isıl değer Calorific value (kcal/kg)	Pelet nemi Pellet humidity (%)	Pelet Kül miktarı Pellet ash content (%)	Pelet uzunluğu Pellet length (mm)	Pelet çapı Pellet diameter (mm)	Dayanıklılık direnci Durability resistance (Tumbler-%)
Fedora 17	293,5 d	106,3 d	4.299 cd	11,60 ab	10,55 b	20,77	6,35	91,03 c
Futura 75	566,2 b	143,0 b	4.405 b	10,93 bc	7,19 d	20,08	6,24	92,67 b
Ferimon	463,4 c	120,1 c	4.309 c	10,63 c	8,22 c	20,49	6,17	95,90 a
Narlısaray	894,9 a	180,6 a	4.588 a	8,07 d	3,76 f	18,70	6,17	87,57 d
Uso-31	251,9 de	107,0 d	4.386 b	8,40 d	5,66 e	23,48	6,17	96,03 a
Santhica 27	226,4 e	146,5 b	4.256 d	12,03 a	11,72 a	22,76	6,20	95,67 a
VK/ CV*	6,07	11,9	0,61	4,18	2,37	33,65	2,30	0,55
ÖD/ SD^	**	**	**	**	**	ÖD/NS&	ÖD/NS&	**

** : Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark Duncan testine göre $P \leq 0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı değildir.

The difference between the means indicated with the same letter in the same column is not statistically significant at $P \leq 0,01$ level according to the Duncan test.*VK: Varyasyon katsayısı, CV: Coefficient of variation. ^ÖD: Önem derecesi, SD: Significance degree. &ÖD: Önemli değil. NS: Not significant.

Üst ısı değerleri

Araştırmada incelenen kenevir çeşitlerinden elde edilen peletlerin üst ısı değerlerine ait veriler Çizelge 1’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde çeşitler arasındaki farklılıklar, istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p \leq 0,01$). Kenevir çeşitlerinin üst ısı değerleri 4588 ile 4256 kcal/kg arasında değişmiştir. En yüksek ısı değeri Narlısaray popülasyonundan elde edilirken en düşük değerde Santhica-27 çeşidinden elde edilmiştir. Avrupa Birliği’nce kabul edilen TS EN ISO 17225-6 (EN ISO 17225-6:2014) sınıflandırılmış ahşap olmayan peletler standardına göre peletlerin net ısı değeri (Q) 14.5 Mj/kg (3485.57 kcal/kg) ve üzerinde olmalıdır. Bu çalışmada kullanılan kenevir çeşitlerinin üst ısı değerleri, istenilen standartların üzerinde yer almaktadır.

Nem (%)

Araştırmada kullanılan kenevir çeşitlerinden elde edilen peletlerin nem oranlarına ait değerler Çizelge 1’de verilmiştir. Kenevir çeşitlerinin nem değerleri % 12,03 ile 8,07 arasında değişmiştir. En yüksek nem değeri Santhica-27 çeşidinden elde edilirken en düşük nem Narlısaray popülasyonundan elde edilmiştir. Avrupa Birliği’nce kabul edilen TS EN ISO 17225-6 standardına göre peletlerin nem değerleri, A sınıfı peletler için % 12’nin altında, B sınıfı peletler için de %12-15 aralığında olmalıdır. Bu çalışmada kullanılan kenevir çeşitlerinin nem değerleri Santhica-27 hariç, A sınıfı peletler grubunda yer almaktadırlar. Genel olarak değerlendirildiğinde ise, kenevir çeşitlerinden elde edilen peletlerin nem içeriği yönünden standartlara uygun olduğu görülmektedir.

Kül oranı

Araştırmada kullanılan kenevir çeşitlerinden elde edilen peletlerin kül oranlarına ait değerler Çizelge 1’de verilmiştir. Kenevir çeşitlerinin kül oranları % 11,72 ile 3,76 arasında değişmiştir. En yüksek kül oranı Santhica-27 çeşidinden elde edilirken en düşük kül değeri de Narlısaray popülasyonundan elde edilmiştir. Avrupa Birliği’nce kabul edilen TS EN ISO 17225-6 standardına göre peletlerin kül

oranları, A sınıfı peletler için % 6’nın altında, B sınıfı peletler için de %6-10 aralığında olmalıdır. Bu çalışmada kullanılan kenevir çeşitlerinden Narlısaray ve USO-31, A sınıfı peletler grubunda, Ferimon ve Futura-75 çeşitleri B sınıfı peletler grubunda yer alırken Fedora-17 ve Santhica-27 çeşitleri ise istenilen standartlardan yüksek kül oranına sahip çeşitler grubunda yer almışlardır.

Pelet uzunluğu

Araştırmada kullanılan kenevir çeşitlerinden elde edilen peletlerin uzunluklarına ait değerler Çizelge 1’de verilmiştir. Kenevir çeşitlerinden elde edilen peletlerin uzunlukları 18,70 mm ile 23,48 mm arasında değişmiştir. En yüksek pelet uzunluğu USO-31 çeşidinden elde edilirken en düşük pelet uzunluğu Narlısaray popülasyonundan elde edilmiş, ancak pelet uzunluğu yönünden çeşitler arasındaki farklılık istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,01$). Avrupa Birliği’nce kabul edilen TS EN ISO 17225-6 standardına göre peletlerin uzunlukları, 3,15 ile 40.00 mm aralığında olmalıdır. Bu çalışmada kullanılan kenevir çeşitlerinin tamamı, kabul edilebilir sınırlar arasında yer almışlardır.

Pelet çapı

Araştırmada kullanılan kenevir çeşitlerinden elde edilen peletlerin çaplarına ait değerler Çizelge 1’de verilmiştir. Kenevir çeşitlerinden elde edilen peletlerin çapları 6 mm civarında ölçülmüş, ancak pelet çapı yönünden çeşitler arasındaki farklılık istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,01$). Avrupa Birliği’nce kabul edilen TS EN ISO 17225-6 standardına göre peletlerin çapı, 0,6 ile 25,00 mm aralığında olmalıdır. Bu çalışmada kullanılan kenevir çeşitlerinin tamamı, kabul edilebilir sınırlar arasında yer almışlardır.

Pelet mekanik dayanıklılık direnci (Tumbler)

Araştırmada kullanılan kenevir çeşitlerinden elde edilen peletlerin mekanik dayanıklılık direncine ait değerler Çizelge 1’de verilmiştir. Kenevir çeşitlerinin mekanik dayanıklılık direnci % 87,57 ile 96,08 arasında değişmiştir. En yüksek mekanik dayanıklılık direnci USO-31 çeşidinden elde

edilirken en düşük mekanik dayanıklılık direnci de Narlısaray popülasyonundan elde edilmiştir. Avrupa Birliği'nce kabul edilen TS EN ISO 17225-6 standardına göre peletlerin mekanik dayanıklılık direnci, A sınıfı peletler için % 97,5 ve üzerinde, B sınıfı peletler için de % 96,0 ile 97,5 aralığında olmalıdır. Bu çalışmada kullanılan kenevir çeşitlerinden sadece USO-31, çeşidi B sınıfı peletler grubunda yer alırken diğer çeşitlerin istenilen standartlardan daha düşük mekanik dayanıklılık direncine sahip oldukları görülmüştür.

Baca gazı emisyon değerleri

Çalışmada kullanılan kenevir çeşitlerinden elde edilen peletler pelet sobasında yakılarak baca gazı emisyon değerleri incelenmiş ve Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelgede de görüldüğü gibi, baca gazından çıkan O₂ değerleri 16,67 ile 18,70 arasında değişmiştir. CO₂ miktarı da 2,60 ile 4,23 arasında değişirken en yüksek değer Narlısaray popülasyonundan, en düşük değer de Santhica-27 çeşidinden elde edilmiştir. Isınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde biyokütle yakıtı için verilen CO₂ sınır değeri maksimum %20,5'tir. Dolayısıyla incelenen peletlerin CO₂ değeri belirtilen limitin altındadır.

Kenevir çeşitlerinde ortaya çıkan NO gazı değerleri incelendiğinde, 412,7 ile 242,3 ppm arasında değişmiştir. Isınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde biyokütle yakıtı için verilen CO sınır değeri maksimum 4000 mg/Nm³ (3200 ppm)' tür. Çeşitlerin CO değeri

belirtilen limitin altındadır. Çeşitlerin NO ve NO_x değerleri de çizelgede verilmiştir. Isınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde biyokütle yakıtı için verilen NO_x sınır değeri maksimum 400 mg/Nm³ (195 ppm)' tür. Çeşitlerin baca gazı NO_x değerleri de belirtilen limitlerin altındadır. Çeşitlerin baca gazı SO₂ değerleri de ya hiç çıkmamış ya da çok az miktarda ölçülmüştür.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde, biyokütle miktarı (sap verimi), 895 ile 276 kg/da arasında değişmiştir. Jankauskiene ve Gruzdeviene (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, USO-31 çeşidinden 477 kg/da biyokütle verimi elde edilmiş, bu çalışma ile uyum göstermiştir. Yine Sausserde ve Adamovics (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, 10 çeşit kenevir denenmiş ve hektara 7,5 ton biyokütle verimi ile Futura-75 çeşidi ilk sırada yer almıştır. Araştırmacı, kullanılan bu 10 çeşidin de biyokütle kaynağı olabileceğini belirtmiştir. Bizim çalışmamızda elde edilen biyokütle verimi de yukarıdaki araştırmacıların sonuçlarına paralellik göstermektedir. Buradaki sap verimleri, lifi alındıktan sonra kalan artıklarıdır ve kuru baz'da alınmıştır. Diğer bir ifadeyle elde edilen veriler net biyoyakıt olarak pelet yapımında kullanılan miktardır. Lifi alındıktan sonra pelet yakıt elde etmek için yaklaşık 895 kg verim, biyoyakıt üretimi için önemli bir rakamdır. Tamamen artık olarak değerlendirilen bu üründen pelet ya da briket yakıt üretmekle önemli bir enerji açığı kapatılabilir. Kenevir yetiştiriciliğinde sap ve lif amaçlı üretim düşünülüyorsa, bitki boyu yüksek

Çizelge 2. Bazı kenevir çeşitlerinin baca gazı emisyon değerleri.

Table 2. Flue gas emission values of some cannabis varieties.

Çeşitler Varieties	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)
Fedora 17	16,70 d	4,20 a	277,3 bc	152,0 a	159,7 a	0,00 b
Futura 75	17,13 c	3,77 b	242,3 c	108,7 cd	114,3 cd	1,33 b
Ferimon	17,50 b	3,40 c	332,0 b	123,7 b	130,0 b	1,00 b
Narlısaray	16,67 d	4,23 a	297,7 bc	115,7 c	122,0 c	1,00 b
Uso-31	17,80 b	3,10 c	236,7 c	107,0 d	112,3 d	1,00 b
Santhica 27	18,30 a	2,60 d	412,7 a	108,0 d	113,3 d	4,00 a
VK/ CV [*]	1,07	5,21	13,00	3,24	3,40	61,59
ÖD/ SD [^]	**	**	**	**	**	**

** : Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark Duncan testine göre P≤0.01 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı değildir. The difference between the means indicated with the same letter in the same column is not statistically significant at P≤0.01 level according to the Duncan test. ^{*}VK: Varyasyon katsayısı, CV: Coefficient of variation. [^]ÖD: Önem derecesi, SD: Significance degree. ^{*}ÖD: Önemli değil. NS: Not significant.

olan materyaller öncelikle değerlendirilmelidir. Zira bitki boyu yüksek olan materyalin biyokütle verimi de yüksek olacak demektir. Bu çalışma sonuçlarına göre sap ve lif amaçlı yetiştiricilik yapılacaksa Narlısaray popülasyonunun öncelikle tercih edilmesi gerektiği söylenebilir. Üst ısıl değer yönüyle çalışma incelendiğinde, kenevir çeşitlerinden en yüksek Narlısaray popülasyonu 4.588 kcal/kg ile ilk sırada yer almış, en son sırada da 4.256 kcal/kg ile Santhica-27 çeşidi gelmiştir. Avrupa Birliği'nce kabul edilen TS EN ISO 17225-6 (EN ISO 17225-6:2014) sınıflandırılmış ahşap olmayan peletler standardına göre peletlerin net ısıl değeri (Q) 14.5 Mj/kg (3485,57 kcal/kg) ve üzerinde olmalıdır. Bizim çalışmada kullandığımız 6 materyal de bu değerlerin üzerinde yer almaktadır. Peletlerin kül içerikleri, % 11,72 ile 3,76 aralığında yer almıştır. Avrupa Birliği'nce kabul edilen EN ISO 17225-6: (2014) pelet standardına göre, peletlerde kül % olarak, A sınıfı peletlerde %6'nın altında, B sınıfı için ise %6 ile %10 aralığında olmalıdır. Bizim materyallerden bazılarında (Fedora-17 ve Santhica-27) kül miktarı fazla bulunmuştur. Ancak kenevirin küllerinin gübre olarak da kullanılabilmesi Turan (2000) tarafından bildirilmiştir. Çalışmada incelenen pelet uzunluğu ve pelet çapı kriterleri, peletlerde istenilen standartlar içerisinde yer almakta olup herhangi bir problem teşkil etmemektedir. Çalışmada pelet mekanik dayanıklılık direnci, istenilen standartlardan bir miktar düşük çıkmıştır. Bunun nedeninin, peletleme sisteminden ve materyalin yapısından kaynaklanabileceği söylenebilir. Bu özellik, peletin nakliye sırasında parçalanması ve depolama şartlarıyla ilgilidir. Şayet pelet üretildiği yerde ya da yakın bölgelerde tüketilecekse bunun bir sakıncası olacağı beklenmemektedir. Bu çalışmada kullanılan materyallerin baca gazı emisyon değerlerinden CO₂ miktarı, en düşük Santhica -27 çeşidinden % 2,60, en yüksek ise Fedora çeşidinden %4,20 ve Narlısaray popülasyonunda %4,23 olarak gerçekleşmiştir. CO oranı en düşük USO-31 çeşidinden 236,7 ppm, en yüksek olan çeşitten de Santhica-27 çeşidinden 412,7 ppm çeşidinden elde edilmiştir. NO_x yönü itibarıyla de en düşük USO-31 çeşidinden 112,3 ppm, en yüksek de Fedora-17

çeşidinden 159,7 ppm olarak elde edilmiştir. Kenevir peletinin baca gazı emisyonu değerleri ile ilgili olarak bu çalışmada elde edilen veriler incelendiğinde de CO₂, CO ve NO_x değerlerinin ısınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde biyokütle yakıtı için verilen limitlerin altında olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada elde edilen peletlerin ısıl değer, kül, nem, dayanıklılık direnci, pelet uzunluğu ve pelet çapı açısından sınır değerlerine yakın veya üzerinde olduğu, baca gazı emisyon değerleri açısından ise sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür. Çalışma sonunda görüldüğü gibi, kenevir sapı artıklarının peletlenmesi sonucu kaliteli, temiz ve yenilenebilir bir yakıt elde edilmiştir. Kenevir sapından elde edilen peletler, ev ve sera ısıtması için geleneksel sobalarda ve gelişmiş yakma sistemlerinde yakılabilir. Bu peletlerin termik santrallerde güç ve ısı üretimi için kömür ile birlikte yakılması mümkündür. Ayrıca elde edilen peletlerin daha yüksek peletleme basıncında ve uygun nem içeriğinde peletlenmesi işlemi pelet kalitesini artıracaktır. Çoğunlukla ülkemizde yenilenebilir enerji kaynağı denildiğinde akla ilk olarak elektrik enerjisine dönüştürmek gelir, oysa ısınma amaçlı olarak yılda yaklaşık 10 milyon ton linyit kömür ithal edilmektedir. Ülkemizde halen, ısıl değeri 3000 kcal/kg'nın üzerinde olan linyitler, ısıtma gayesiyle satışa arz edilmektedir. Isıtmada kullanılacak kömürün en az 4000 kcal/kg ısı değerine sahip olması gerekir. Ancak, ülkemiz linyit potansiyelinin %12,7'si 3000 kcal/kg'nın üzerinde ısı değerine sahiptir. Ülkemiz şartlarında, %18 kül oranına kadar (kuru kömürde) kül içeren kömürlerin ev yakıtı olarak kullanılabilmesini kabul etsek bile, bu kül oranına sahip linyit miktarı da toplam potansiyel rezervinin ancak %5,6 'sını oluşturmaktadır (Kemal ve Semerkant, 2015).

SONUÇ

Biyokütle enerjisi, çevre ve iklim sorunlarına çözüm getirme amacıyla alternatif bir enerji kaynağı olarak gündeme yerleşmiştir. Türkiye bir tarım ülkesi olduğundan, tarımsal biyokütle, ülkemizde enerji üretimi bakımından özel bir öneme sahiptir. Tarımsal üretim sonucunda arta

kalan bitkisel artıkların herhangi bir şekilde değerlendirilmeyip yok edilmesi ciddi anlamda çevre kirliliğini beraberinde getirmekte ve ekonomik bir kayıp oluşturmaktadır. Enerji talebinin büyük bir bölümünü ithalatla karşılayan Türkiye’de, enerji ihtiyacının sürdürülebilir bir şekilde sağlanmasında yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan tarımsal artıklar, önemli ve büyük bir potansiyel oluşturmaktadır. Tarımsal artıklardan enerji üretmek için en kolay ve etkin yöntemlerden biri, bu artıkları katı yakıt olarak kullanmaktır. Bununla birlikte, bitkisel artıkların katı yakıt olarak kullanımında karşılaşılan en önemli sorun, bitkisel artıkların yoğunluklarının düşük ve nem içeriklerinin yüksek olmasıdır. Düşük yoğunluk ve yüksek nem içeriği, taşıma ve depolama sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, bitkisel artıkları enerji üretmek amacıyla etkin ve kolay bir şekilde kullanabilmek için uygulanacak yöntemlerden biri de, bu artıkları kurutup, öğüttükten sonra, presleyerek pelet ya da briket haline getirmektir. Pelet yakıt, katı yakıt olarak odun ve kömürün kullanıldığı her alanda kullanılabilen bir yakıttır.

Yapılan fiziki ve kimyasal analizler sonunda kenevir sapının herhangi bir katkı maddesi kullanılmadan peletlenmesinin mümkün olduğu belirlenmiştir. Kenevir sapından elde edilen peletin kül oranı %3,76 ile 11,72 arasında değişmektedir. Isıl değeri yönüyle ise kenevir sapının 4309 ile 4588 kcal/kg arasında gayet yüksek bir değerde olduğu görülmektedir. Ülkemizde çıkarılan linyit kömürlerinin % 90'ının ısıl değerinin 3000 kcal/kg'nın altında olduğu düşünüldüğünde (Anonim, 2012), kenevir sapının kaliteli bir yakıt kaynağı olduğu söylenebilir. Kenevir lifi alındıktan sonra kalan sap (biyokütle) miktarı da bazı çeşitlerde 900 kg/da civarındadır. Hâlihazırda 2020 yılı fiyatlarıyla kg fiyatının 1.00-1.20 TL olan pelet fiyatları dikkate alındığında, sadece peletten elde edilecek gelir dekar başına 800 ile 1.000 TL arasındadır ki bu da üretici için iyi bir yan gelir oluşturabilir. Sonuç olarak kenevir bitki artıkları saplardan elde edilen yakıt pelet, çevreyle dost, sürdürülebilir ve yenilenebilir katı biyoyakıt kaynağı olarak potansiyele sahip olduğu ve fosil yakıtlara alternatif bir yakıt olabileceği belirlenmiştir.

LİTERATÜR LİSTESİ

- Acaroğlu, M. 2013. Alternatif Enerji Kaynakları, Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Anonim. 2012. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu. Kömür Sektör Raporu (Linyit) 2011. Stratejik Planlama Koordinasyon Birimi, Mayıs 2012, Ankara.
- Boztepe, E. ve A. Karaca. 2009. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Tarımsal Atıklar. Enerji Kongresi. 21-23 Ekim.2009. İzmir.
- Das, L., Liu, E., Saeed, A., Williams, D.W., Hu, H., Li, C., Ray, A.E., and Shi, J. 2017. Industrial hemp as a potential bioenergy crop in comparison with kenaf, switch grass and biomass sorghum, Bioresource Technology 244 (1): 641-649.
- Eren, Ö. 2011. Çukurova bölgesinde tatlı sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) moench) üretiminde yaşam döngüsü enerji ve çevresel etki analizi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Tarım Makinaları Anabilim Dalı. Doktora Tezi. 1-196.
- Gedik, G., ve O. Avinç, A. Yavaş. 2016. Kenevir Lifinin Özellikleri ve Tekstil Endüstrisinde Kullanımıyla Sağladığı Avantajlar. Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi. 4(3): 39-48.

- Gürel, A., H. Akdemir, Ş.H. Emiroğlu, H. Kadoğlu, ve H.B. Karadayı. 2000. Türkiye lif bitkileri (Pamuk tarımı, Teknolojisine genel bakış ve Diğer lif bitkileri. Türkiye Ziraat Mühendisliği V. Teknik Kongresi, 17-21 Ocak, Ankara, 525-566.
- Jankauskiene, Z. ve E. Gruzdeviene. 2010. Evaluation of *Cannabis sativa* cultivars in Lithuania. Agriculture Vo. 97, No 3. p.87-96.
- Jankauskiene, Z. ve E. Gruzdeviene. 2015. Screening of Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.) Cultivars for Biomass Yielding Capacities in Lithuania. Journal of Natural Fibers, Volume 12, Issue 4.
- Karayılmazlar, S., N. Saraçoğlu, Y. Çabuk, ve R. Kurt. 2011. Biyokütlenin Türkiye’de enerji üretiminde değerlendirilmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi. 13 (19):63-75.
- Kemal, M. ve O. Semerkant. 2015. Türkiye linyit potansiyeli ve kullanım olanağı. http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/d770c496aa3da6d_ek.pdf. Son erişim: 02.01.2021.
- Kreuger, E., T. Prade, F. Escobar, S.E. Svensson, J.E. Englund, and L. Björnsson. 2011. Anaerobic digestion of industrial hemp—effect of harvest time on methane energy yield per hectare, Biomass and Bioenergy. 35(2): 893-900.

- Özdemir, O. 1993. Azot ve Bitki Sıklığının Kenevir'in Verimi ve Bazı Özelliklerine Etkisi. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Samsun Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları. Genel Yayın No:78, Rapor Serisi No:65. Samsun.
- Sausserde, R., and A. Adamovics, 2013. Industrial hemp for biomass production. Journal of Agricultural Engineering Volume XLIV(s2):e123.
- Saraçoğlu, N. 2010. Küresel İklim Değişimi, Biyoenerji ve Enerji Ormanlığı. Ankara: Efil Yayınevi.
- TS EN ISO 17225-6:2015. Katı biyoyakıtlar - Yakıt özellikleri ve sınıfları - Bölüm 6. Öğütülmüş odunsu olmayan peletler. (EN ISO 17225-6:2014).
- Turan, Z., M. 2000. Lif Bitkileri. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları No:83. Bursa.
- Ungureanu, N., V. Vladut, G. Voicu, M.N. Dinca, and B. S. Zabava. 2018. Influence Of Biomass Moisture Content On Pellet Properties – Review. Engineering For Rural Development, Jelgava, 23.-25.05.2018.
- Vera, C. L., S. S. Malhi, S. M. Phelps, W. E. May, and E. A. Johnson. 2010. N, P and S fertilization on industrial hemp in Saskatchewan. Can. J. Plant Sci. 90: 179-184.