

## AHŞAP NUMUNELERİN PİROLİZİ İLE SENTEZ GAZI ELDESİNDE NEMİN ETKİSİ

Mert KILINÇEL<sup>1</sup>, Ethem TOKLU<sup>1</sup>, Mahmut GÜR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 81620, Düzce, TÜRKİYE  
mertkilincel@duzce.edu.tr

**Özet-**Bu çalışmada belirli nem seviyelerindeki (%5-25) atık ahşap numuneleri laboratuvar ölçekli bir piroliz reaktöründe oksijensiz olarak bozundurulmuş, katı, sıvı ve gaz son ürünler olan sentez gazı, katran ve çarelda edilmiştir. Piroliz son ürünlerini etkileyen önemli parametrelerden biri olan nem içeriğindeki değişiminin sentez gazı oluşumuna etkisi incelenmiştir. Çalışmada kullanılan ahşap numuneler iki aşamalı kırma işlemine tabi tutularak 0,2mm-10mm boyutlarına kadar küçültülmüştür. Numunelerin piroliz işlemine hazır hale getirilebilmesi için bir ön kurutma işlemi gerekmektedir. Bu işlem için kullanılan kurutma ünitesi ihtiyacı olan enerjiyi piroliz ünitesinin atık ısısından sağlamaktadır. Burada numunelerin verimli kurutulabilmesi için döner yataklı ve dâhili karıştırma fonksiyonu bulunan, 100-120°C sıcaklık değerlerine ulaşabilen bir kurutucu ünitesi kullanılmıştır. Döner kurutucunun dönme devir hızına değiştirilerek farklı işlem sürelerinde farklı nem oranlarında numuneler elde edilmiştir. Buradan elde edilen üç farklı nem içeriğindeki (%5, %15, %20 ve %25) ahşap numuneler 350-450°C arası sıcaklıkta piroliz edilerek elde edilen sentez gazı oluşumları karşılaştırılmıştır. Piroliz işlemi sonucu ortaya çıkarsentez gazı oluşumları incelendiğinde nem içeriği düşük numunelerden daha yüksek debide gaz çıkışı olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** nem içeriği, piroliz, sentez gazı.

## EFFECT OF MOISTURE CONTENT ON SYNGAS PRODUCTION ON PYROLYSIS OF WASTE WOOD SAMPLES

**Abstract-**In this study, syngas, char and tar were obtained by decomposing waste wood samples at specific moisture levels (5-25%) in a laboratory-scale pyrolysis reactor without oxygen. Effect of the variance in moisture content in the synthesis gas formation which is one of the parameters affecting the final product of pyrolysis was examined. The wood samples used in the work were subjected to a two-stage crushing process and reduced down to sizes of 0.2mm-10mm. A pre-drying process is required for the samples to be ready for pyrolysis. The drying unit used for this process which is supplied by the waste heat energy of the pyrolysis unit. In order to efficiently dry the samples, a dryer unit with rotating bed and internal mixing function and capable of reaching 100-120° C temperature values is used. Samples at different moisture rates were obtained at different processing times by varying the rotational speed of the rotary dryer. The wood samples in three different moisture contents (5%, 15%, 20%, and 25%) were pyrolyzed and the resulting syngas generations were compared. When the synthesis gas formations resulting from the pyrolysis process are examined, it has been determined that the moisture content is higher than the lower samples.

**Key Words-**moisture content, pyrolysis, syngas.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda sınırlı yeraltı kaynaklarının tükenmesi riski güvenilir ve yenilenebilir enerji kaynağı arayışını ve kullanımını küresel bir kaygı haline getirmektedir. Biyokütle enerjisi atmosfere karbondioksit salınımı neredeyse sıfır olan bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Çeşitli form ve türlerde bulunan biyoküteller (hayvan atığı, ağaç ve orman kalıntıları, kentsel ve tarımsal atıklar gibi) çeşitli teknolojiler (yakma, piroliz gazifikasyon, hidroliz, Süperkritik dönüşüm gibi) kullanılarak hidrojen, sentez gazı ve elektrik gibi çıktılar elde edilebilmektedir [1-7].

Termokimyasal dönüşüm işlemleri arasından biyokütlenin pirolizi ve gazifikasyonu sonucu sentez gazı eldesi, bertaraf işlemlerinde enerji eldesi bakımından büyük potansiyele sahiptir[8-9].Biyokütle dönüşüm teknolojileri özellikle kompostlama, düzenli depolama, yakma ve piroliz/gazifikasyon işlemlerinin kullanımı ile atıklardan elde edilen enerjinin artırılmasına yönelik çalışmalardan oluşmaktadır [10]. Piroliz/gazifikasyon işlemlerinde son ürün eldesine doğrudan etki eden parametrelerin (nem içeriği, numune boyutları, ısıtma hızı, işlem sıcaklığı, ortam basıncı, katalizör etkisi ve reaktör tipi gibi) belirlenmesi adına geçmişten günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır [11-16]. Ayrıca ahşap temelli atık ürünlerin, nem içeriği, parçacık boyutu gibi değişkenler göz önüne alınarak birçok termogravimetrik ve kinetik araştırmalar yapılarak akademik arşive sunulmuştur [17-21].

Bu çalışmada laboratuvar ölçekli bir döner yataklı piroliz reaktöründe işleme tabi tutulan atık ahşap numunelerinin nem içeriğindeki değişimine bağlı olarak, işlem sonunda elde edilen sentez gazı oluşumları incelenmiştir. Burada amaç homojen olarak aynı boyutlara getirilen ahşap numuneleri, tamamen aynı ortam şartlarında (aynı sıcaklık ve basınç altında) piroliz işlemine tabi tutarak, tek değişken olan nemin son ürün oluşumlarına etkisini belirlemektir.

## 2. YÖNTEM (METHOD)

Biyokütle pirolizi işlemlerinde ortaya çıkan son ürünlerin kompozisyonu ve miktarı kullanılan reaktör tipi, reaktörün ısınma hızı, işlem sıcaklığı, işlem süresi, ürünlerin nem içeriği, parçacık boyutları, işlem sırasında kullanılan katalizör gibi birçok etkene bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada kolay temin edilebilmesi, düşük sıcaklıklarda ve hızlı bozunması ve temiz çalışma şartları sağlaması gibi avantajlarından dolayı ahşap numuneler kullanılmıştır.

### 2.1. Deneysel Prosedür (Experimental Procedure)

Deneysel çalışmalarda numunelerin küçük parçalar haline getirilmesi için öncelikle bir kaba kırıcı ünite(Şekil 1) kullanılmıştır. Bu ünite de ahşap numuneler 20-50 mm boyutlara indirilerek sonrasında hassas kırıcı ünitesinde 0,2mm-10mm boyutlara kadar küçültülmüş ve kurutma ünitesine aktarılmıştır.



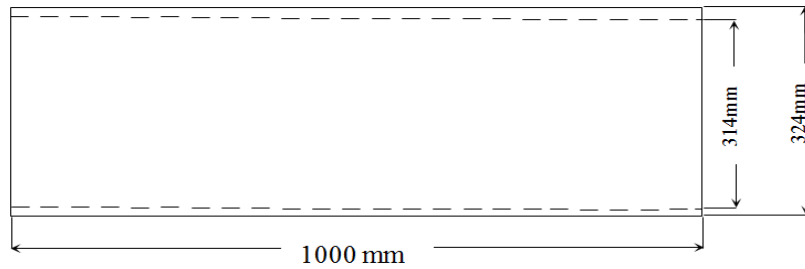
Şekil 1. Kaba ve hassas kırıcı üniteleri.

Piroliz işleminin diğer önemli adımlarından birisi de kurutma işlemidir. İşleme giren ürünlerin yeterli derecede kurutulması son ürün karakterini ve miktarını etkileyen en önemli aşamadır. Piroliz ünitesinin atık ısısından beslenen kurutma ünitesi 110°C sıcaklığa ulaştıktan sonra numunelerin kurutma işlemine geçilmiştir.

Çalışmada öncelikle ham numunelerin tartımı yapılmış ve 24 saat süre boyunca etüvde bekletildikten sonra tekrar tartımları yapılarak sahip oldukları nem içerikleri belirlenmiştir. Sonrasında numuneler belirli kütlede ölçülerek(hassas terazi) kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Kurutma ünitesinin ısınması için gerekli olan enerji piroliz ünitesinin atık ısını kullanan bir geri besleme ünitesi ile sağlanmıştır. Kurutma ünitesinin zamana bağlı olarak ısınma eğilimini belirlemek için, ünitenin aksel merkezine yerleştirilmiş ve uzunluk boyunca beş farklı noktadan ölçüm alan bir termocup'dan, onar dakika ara ile sıcaklık verileri alınmıştır. 10'ar kg kütlede sahip (0,02m<sup>3</sup> hacminde) numuneler 1, 2 ve 3 saat süre ile kurutucuda kalmıştır. Bu işlem sonunda ölçüm tekrarlanarak sabit hacme sahip kaba doldurulmuş ve kütle kayıpları ölçülmüştür. Tartımlarher işlem öncesinde ve sonrasında 0,01 g hassasiyetli bir terazi ile yapılmış ve uzaklaştırılan nem miktarları belirlenmiştir. Bu durumda kurutucuda işlem gören numunelerin nemi ortalama %10-12 oranında azaltılarak piroliz aşamasına geçilmiştir. Kurutma işlemi sonunda numunelerin nem değerleri ölçülerek %20, %15 ve %10 değerlerinde üç ayrı deney seti oluşturulmuştur. Sonrasında numuneler piroliz ünitesine aktarılarak 3 saat süre ile 350-450°C sıcaklık aralığında piroliz işlemine tabi tutulduktan sonra üniteden yoğun bir sentetik gaz çıkışı ve alt çıkış konveyöründen katı ürün (char) eldesi sağlanmıştır. Deneylerin tamamı sabit hacimdeki kaplarda üçer defa tekrarlanmış ve alınan sonuçların ortalama değerleri not edilmiştir. Piroliz işleminin gerçekleştirildiği reaktör ve kurutma ünitesinin montajlı görünümü Şekil 2'de, 0,31 m<sup>3</sup> iç hacmi olan piroliz reaktörünün boyutları ise Şekil 3'teki gibidir.

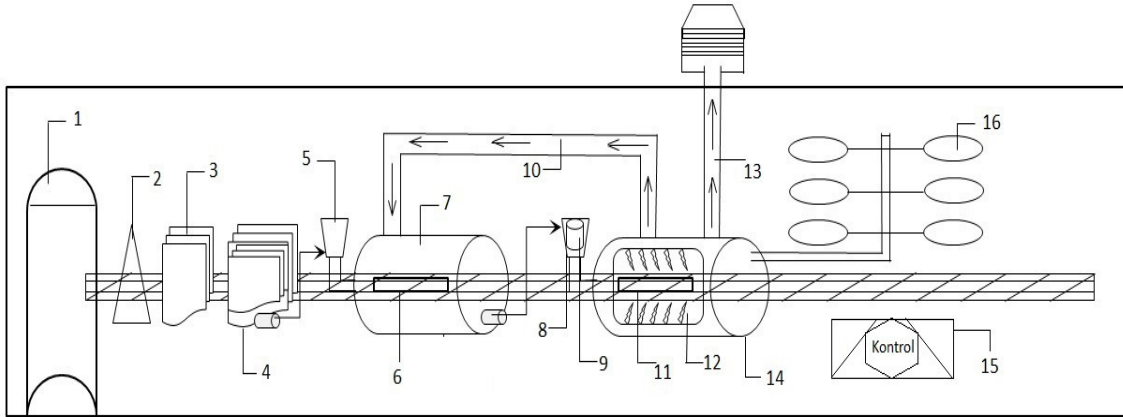


Şekil 2. Piroliz reaktörü ve kurutucu ünite.



Şekil 3. Piroliz reaktörü.

Numunelerin hazırlanmasından kurutulmasına ve sonrasında piroliz son ürünü eldesine kadar gerçekleştirilen prosesin akış şeması Şekil 4'te gösterilmektedir.



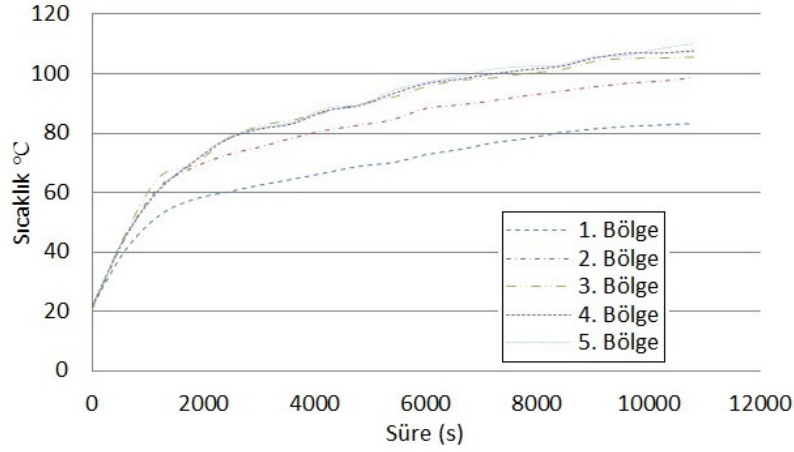
**Şekil 4.** Termal işleme prosesi akış şeması.

(1-Depo, 2-Süzme ünitesi, 3-Kırıcı, 4-Hassas kırıcı, 5-Kurutma ünitesi besleme, 6-Vidalı konveyör kurutma odası, 7-Isıtma gazı haznesi, 8-Pirolizünitesi besleme, 9-Hava kilidi, 10-Sıcak baca gazı geribesleme, 11-Vidalı konveyör piroliz odası, 12-Alevlik (gaz ocağı), 13-Atık gaz tahliye bacası, 14-Char/tar, katran tahliyesi, 15-Kontrol ünitesi, 16-Sentez gazı tahliyesi).

Çalışmada ısıl bozunmanın uygulandığı piroliz ünitesi 2,5 °C/dk hızla 350-450°C sıcaklıklara kadar ısıtılmıştır. Uygulanan sıcaklık aralığının 350-450°C olarak seçilmesinin iki nedeni bulunmaktadır. Birincisi ahşap numunelerin pirolizi çalışmalarının, katran ve çar oluşumunda bu sıcaklık aralıklarında kullanılıyor olmasıdır. İkinci sebep ise piroliz işlemine tabi tutulan numunelerinden alınan sıcaklık ölçümlerinin bu aralıklarda daha doğru ve kesin sonuç vermesidir[22]. Piroliz işlemi sırasında ahşap numunenin sıcaklık profilini incelemek için termokuplun belirli noktalara özenle sabitlenmesi gerekmektedir. Güvenilir bir sonuç elde etmek için termokupl ölçüm cihazının deney süresince numunelerle temas etmesini sağlamak çok önemlidir. Büyük parçacıklarla gerçekleştirilen piroliz çalışmaları yüksek sıcaklıklarda ve yüksek ısı yoğunlukta tatbik edilmiştir[23-27]. Hasan ve arkadaşları bunun ilgili yaptıkları çalışmada, ilk deneylerin de piroliz sonunda çar oluşumunda parçalanma sıcaklığının 400°C'nin üzerinde olduğunu gözlemlemişlerdir. Parçalanma, termokupulların çoğunu akışkanlaştırıcı kumlu yatağa (parçalanmış çar) maruz bırakır. Bu nedenle ölçülen sıcaklık her zaman gerçek parçacık sıcaklığını temsil etmeyeceğini ileri sürmüşlerdir [22].

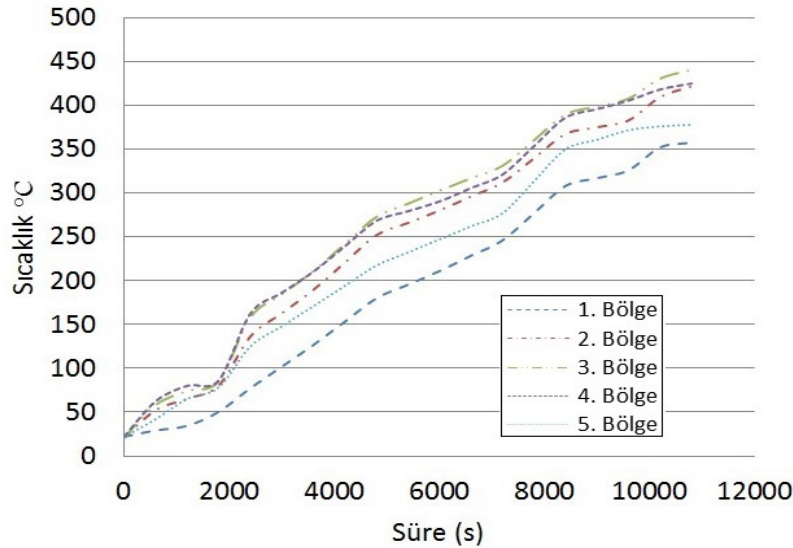
### 3. BULGULAR (FINDINGS)

DeneySEL çalışmalarda kullanılmak üzere numuneler öncelikle 100-110°C sıcaklıklara ulaşan kurutma ünitesinde işleme tabi tutulmuştur. Burada öncede belirlenen sürelerde nem alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kurutma ünitesinin ısınması için gerekli olan enerji piroliz ünitesinin atık ısısını kullanan bir geri besleme ünitesi ile sağlanmıştır. Kurutma ünitesinin zamana bağlı olarak ısınma eğilimini belirlemek için, ünitenin aksel merkezine yerleştirilmiş ve uzunluk boyunca beş farklı noktadan ölçüm alan bir termocupldan, onar dakika ara ile sıcaklık verileri alınmıştır. Ünite de bulunan beş ayrı bölgenin zamana bağlı olarak ısınma eğilimi Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. Kurutma ünitesinin zamana bağlı ısınma eğilimi.

Kurutma ön işleminden sonra nemi alınan numuneler piroliz ünitesine aktarılmıştır. İşlem sıcaklığının 350-450°C aralığında gerçekleştiği ünite, piroliz ünitesinin zamana bağlı olarak ısınma eğilimi yine beş ayrı bölgeden alınan onar dakikalık ölçümler ile elde edilmiştir. Piroliz ünitesinin ısınma eğilimi ise Şekil 6'da görülmektedir.

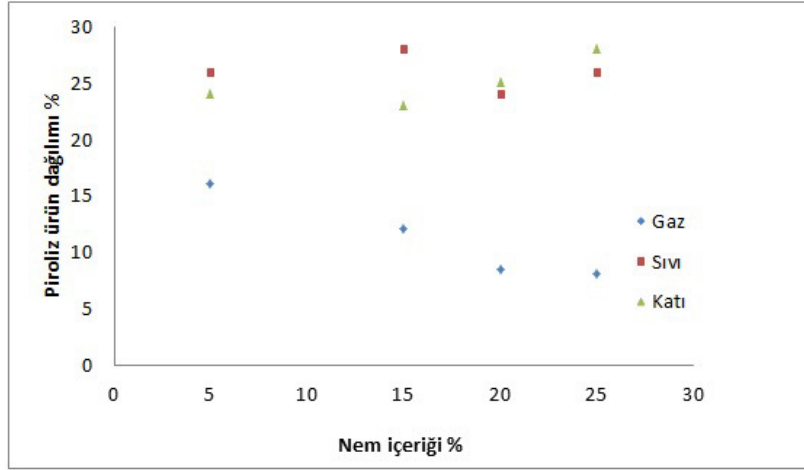


Şekil 6. Piroliz ünitesinin zamana bağlı ısınma eğilimi.

#### 4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Şekil 7 elde edilen ürünlerin yaklaşık dağılımını göstermektedir. 2,5 °C/dk hızla 350-450°C sıcaklıklara kadar ısıtılan piroliz ünitesinde numuneler tam ısınmanın gerçekleşmesinin ardından üniteye beslenmiş ve ısıl bozunmaya maruz bırakılmıştır. Ürünler belirlenen nem seviyelerine kurutulmuş ve ayrı ayrı piroliz edilmiştir. İşlemler sonunda elde edilen veriler incelendiğinde nem içeriği az olan ürünlerin gaz verimliliğinin daha yüksek olduğu ve nem düşüşüne bağlı olarak gaz yüzdesinde düzenli bir artış olduğu görülmüştür. Xiao ve arkadaşları %37 nem içeriğindeki ahşap numuneleri 400°C sıcaklıkta ısıl bozundurarak %10 gaz, %25 sıvı ve %28 katı son ürün elde etmişlerdir[28]. Ayrıca Hasan ve arkadaşları yine ahşap pirolizinde

nem ve katalizör kullanımının etkisi üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada, işlem görecektir olan ahşap numunelerin %0 nem içeriğinde en verimli gaz üretimi sağlandığı belirtilmiştir[29]. Laboratuvar ölçekli olarak tasarlanarak üretilen piroliz ünitemizde gerçekleştirilen çalışmada elde edilen sonuçlar daha önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Burada piroliz işlemine tabi tutulacak ahşap numunelerin nem içeriğinin son ürün oluşumunda doğrudan etkisi olduğu görülmüştür. Çalışmalar sadece ahşap numuneler üzerinde gerçekleştirildiği için, bunun dışındaki organik numunelerde ayrıca çalışmalar yapılarak nem içeriğinin malzemeye özgü etkileri araştırılabilir.



Şekil 7. Son ürün yüzde oranları (nem içeriği dâhil).

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Koordinatörlüğüne, [2016.06.06.405](#) nolu projeye verdikleri destekten dolayı teşekkür eder.

## 5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] K. Araus, F. Reyes, and M. Toledo, “Syngas production from wood pellet using filtration combustion of lean natural gas-air mixtures,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 39, no. 15, pp. 7819–7825, 2014.
- [2] Li S, Xu S, Liu S, Yang C, Lu Q. “Fast pyrolysis of biomass in free-fall reactor for hydrogen-rich gas”. *Fuel Process Technol* 2004;85:1201e11.
- [3] Chen G, Andries J, Spliethoff H, Fang M, van de Enden PJ. “Biomass gasification integrated with pyrolysis in a circulating fluidised bed.” *Sol Energy* 2004;76:345e9.
- [4] Qinglan H, Chang W, Dingqiang L, Yao W, Dan L, Guiju L. “Production of hydrogen-rich gas from plant biomass by catalytic pyrolysis at low temperature.” *Int J Hydrogen Energy* 2010;35:8884e90.
- [5] Aasberg-Petersen K, Bak Hansen JH, Christensen TS, Dybkjaer I, Christensen PS, Stub Nielsen C, et al. “Technologies for large-scale gas conversion.” *Appl Catal A* 2001;221:379e87.



- [6] Demirbas A. "Combustion characteristics of different biomass fuels." *Prog Energy Combust Sci* 2004;30:219e30.
- [7] Holladay JD, Hu J, King DL, Wang Y. "An overview of hydrogen production technologies." *Catal Today* 2009;139:244e60.
- [8] X. Peng, L.S. Wang, M. Mirzaee, H. Ahmadi, M.J. Esfahani, S. Fremaux "Hydrogen and syngas production by catalytic biomass gasification." *Energy Convers Manage*, 135 (2017), pp. 270-273
- [9] M. Hu, L. Gao, Z. Chen, C. Ma, Y. Zhou, J. Chen, et al. Syngas production by catalytic in-situ steam co-gasification of wet sewage sludge and pine sawdust *Energy Convers Manage*, 111 (2016), pp. 409-416.
- [10] Alzate-Gaviria, L.M., Sebastian, P.J., Pérez-Hernández, A., Eapen, D., 2007. Comparison of two anaerobic systems for hydrogen production from the organic fraction of municipal solid waste and synthetic wastewater. *International Journal of Hydrogen Energy* 32 (15), 3141–3146.
- [11] A. Demirbas, "Effect of temperature on pyrolysis products from four nut shells," *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 76, no. 1–2, pp. 285–289, 2006.
- [12] W. Yan, Z. Shuting, Z. Yufeng, X. Hui, D. Na, and C. Guanyi, "Experimental studies on low-temperature pyrolysis of municipal household garbage - Temperature influence on pyrolysis product distribution," *Renew. Energy*, vol. 30, no. 7, pp. 1133–1142, 2005.
- [13] S. Luo, B. Xiao, and L. Xiao, "A novel shredder for municipal solid waste (MSW): Influence of feed moisture on breakage performance," *Bioresour. Technol.*, vol. 101, no. 15, pp. 6256–6258, 2010.
- [14] R. K. K. Yuen, G. H. Yeoh, G. de Vahl Davis, and E. Leonardi, "Modelling the pyrolysis of wet wood – I. Three-dimensional formulation and analysis," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 50, no. 21, pp. 4371–4386, 2007.
- [15] A. Demirbas, "Effect of initial moisture content on the yields of oily products from pyrolysis of biomass." *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 71, no. 2, pp. 803–815, 2004.
- [16] S. Xiong, J. Zhuo, B. Zhang, and Q. Yao, "Effect of moisture content on the characterization of products from the pyrolysis of sewage sludge," *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 104, pp. 632–639, 2013.
- [17] M. M. Hasan, X. S. Wang, D. Mourant, R. Gunawan, C. Yu, X. Hu, S. Kadarwati, M. Gholizadeh, H. Wu, B. Li, L. Zhang, and C. Z. Li, "Grinding pyrolysis of Mallee wood: Effects of pyrolysis conditions on the yields of bio-oil and biochar," *Fuel Process. Technol.*, vol. 167, pp. 215–220, 2017.
- [18] T. Wang, R. Zhang, L. Peng, Y. Ai, and Q. Lu, "Pyrolysis characteristic changes of poplar wood during natural decay," *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, no. September, pp. 0–1, 2017.
- [19] Z. Sun, B. Xu, A. H. Rony, S. Toan, S. Chen, K. A. M. Gasem, H. Adidharma, M. Fan, and W. Xiang, "Thermogravimetric and kinetics investigation of pine wood pyrolysis catalyzed with alkali-treated CaO/ZSM-5," *Energy Convers. Manag.*, vol. 146, pp. 182–194, 2017.
- [20] P. Thy, G. H. Barfod, A. M. Cole, E. L. Brown, B. M. Jenkins, and C. E. Leshner, "Trace metal release during wood pyrolysis," *Fuel*, vol. 203, pp. 548–556, 2017.
- [21] K. Azizi, M. Keshavarz Moraveji, and H. Abedini Najafabadi, "Simultaneous pyrolysis of microalgae *C. vulgaris*, wood and polymer: The effect of third component addition," *Bioresour. Technol.*, vol. 247, no. September 2017, pp. 66–72, 2018.