

Derleme Makalesi - Review Article

Odun Sirkesinin Tarımda Kullanımı

Agricultural Use of Wood Vinegar

Murat Birol^{1*}, Elif Günel²

Geliş / Received: 05/10/2021

Revize / Revised: 04/03/2022

Kabul / Accepted: 21/03/2022

ÖZ

Farklı disiplinlerden bilim insanlarının pirolignöz asit olarak da tanımladığı odun sirkesi (OS), biyokütlenin pirolizi ile ortaya çıkan bir üründür. Biyokütlenin piroliz işlemi sırasında açığa çıkan buhar, gaz ve dumanın damıtılması ile oluşan sıvının dinlendirilmesi ve bir süre bekletilmesi sonrasında oluşan üç katmanlı oluşumun orta katmanına OS denilmektedir. Odun sirkesinin bileşimi biyokömür üretiminde kullanılan biyokütlenin çeşidi ve piroliz koşullarına bağlı olarak önemli oranda değişmektedir. Bununla birlikte, sıvı haldeki odun sirkesinde su oranı %80-%90 arasında değişmektedir. Sudan sonra en baskın bileşen asetik asit (30.45-70.60 mg mL⁻¹) olup bunu diğer asitler, alkoller, fenoller, esterler, karbonil, furanlar ve diğer organik bileşenler takip etmektedir. Bileşiminden de kolayca anlaşılacağı gibi OS'un pH'sı 2-4 arasında, özgül ağırlığı 1.005-1.016 g mL⁻¹ ve çözünmüş katran içeriğinin %0.23-%0.89 arasında değiştiği rapor edilmiştir. Toprağa organik madde ve besin elementi sağladığından dolayı, toprağın kalitesinin artmasına katkı sağladığı bunun yanında, çeşitli hastalık ve zararlılar ile mücadelede etkili olduğu, tohumların çimlenmesine yardımcı olduğu, bitki büyüme ve verim parametrelerine katkıda bulunduğu ve meyve kalitesini iyileştirdiği bildirmiştir. Özellikle alkalın topraklarda, pH'nın düşmesine yardımcı olarak besin elementlerinin yararlılığını arttırdığı da bilinmektedir. İçerdiği organik bileşenler sayesinde toprağın agregatlaşmasını arttırması ve toprakta bulunan mikroorganizmaların yaşamlarını da olumlu etkilemesi beklenmektedir. Yukarıda özet olarak belirtilen faydaları, bu ürünün gelecekte tarımsal üretim sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılabilmesine işaret etmektedir. Bu kapsamda OS, atıkların çevreye dost bir ürüne dönüşmesini sağlayacak faydalı bir üründür.

Anahtar Kelimeler- Pirolignöz Asit, Odun Sirkesi, Biyokömür, Piroliz, Sürdürülebilir Tarım

ABSTRACT

Wood vinegar (WV), which is defined as pyrolignous acid by the scientists from different disciplines, is a product of biomass pyrolysis. The middle layer of the three-layer formation, which is formed after the liquid formed by the distillation of the steam, gas, and smoke released during the pyrolysis process of the biomass, is rested and kept for a while, is called WV. The composition of wood vinegar varies considerably depending on the type of biomass used in biochar production and the pyrolysis conditions. However, the water ratio in liquid wood vinegar varies between 80-90%. The most dominant component of WV after water is acetic acid (30.45-70.60 mg mL⁻¹), followed by other acids, alcohols, phenols, esters, carbonyl, furans, and other organic compounds. The pH of WV varies between 2-4, the specific gravity is between 1.0051-016 g mL⁻¹, and the dissolved tar content varies between 0.23-0.89 %. The WV provides organic matter and nutrients to the soil, therefore, the WV increases the soil quality, as well as being effective in combating various diseases and pests, helping the germination of seeds, increasing plant growth, contributing plant growth and yield parameters and improving fruit quality. The WV also increases

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: muratbirol07@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-1947-3193>)

Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Samsun, Türkiye

²İletişim: elifgunal@yahoo.com (<https://orcid.org/0000-0003-0624-2919>)

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ziraat Fakültesi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Türkiye

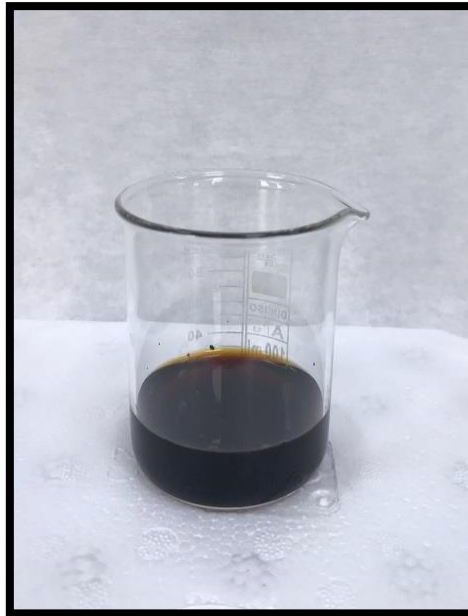
the availability of nutrients by decreasing the pH, especially in alkaline soils. The WV causes an increase in the formation of aggregates. Thus, it is expected to have a positive effect on the activities of soil microorganisms. The aforementioned benefits indicate that this product can be widely used in agricultural production systems in the future. WV is a useful product that will turn waste into an environmentally friendly product.

Keywords- Pyroligneous Acid, Wood Vinegar, Biochar, Pyrolysis, Sustainable Agriculture

I. GİRİŞ

Tarım ve ormancılık faaliyetleri sonucu ortaya çıkan ve çoğunlukla yakılarak veya doğada terk edilerek elden çıkarılan biyokütle miktarının yıllık 146 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir [1]. Bu tür biyokütle kalıntılarının yakılması, toprak canlılarını olumsuz etkileyerek toprağın bozulmasına yol açabilir. Ayrıca çok sayıda partikül, uçucu organik karbon ve yarı uçucu organik karbon bileşikleri, kül, sülfat aerosoller ve eser gazlar da atmosfere salınmaktadır. Bu kirleticiler, küresel iklim değişikliğinin artması, biyolojik çeşitliliğin yok olmasının yanı sıra sosyo-ekonomik ve sağlık sorunları gibi küresel ölçekte birçok soruna yol açmaktadır. Bu nedenle, biyokütlenin yanmasını veya çürütülerek yok edilmesini en aza indirmek ve bunun yerine düşük maliyetli kirlilik azaltma ve onu faydalı biyo ürünlere dönüştürmek için sürdürülebilir teknolojiler geliştirmek önemlidir [2]. Küresel ve bölgesel olarak çevre kirliliğini azaltmanın bir yolu, biyokütlenin piroliz, karbonizasyon, gazlaştırma ve süper kritik sıvı ekstraksiyonu gibi çeşitli işlemlerle gaz, sıvı ve katı yakıtlara dönüştürülmesidir [3,4].

Açık havada yakıldığında küle dönüşen biyokütle, kapalı bir ortamda ısıtılırsa, ısı etkisiyle biyokömüre dönüşür. Karbonizasyon adı verilen bu işlem esnasında ortaya çıkan duman soğutulduğunda, yoğunlukları birbirinden farklı olan, yağlı bir sıvı, kalın bir katran ve ham odun sirkesi (OS) olarak adlandırılan şeffaf, sarımsı kahverengi bir sıvıdan oluştuğu görülecektir [2,5] (Şekil 1). Odun sirkesi toplam biyokütlenin %7.26'sına ulaşabilen yüksek bir verimliliğe sahiptir [6]. Büyüme teşvik edici etkisi nedeniyle odun sirkesinin tarımsal üretimde kullanımı 1930'lara kadar uzanmaktadır. Bununla birlikte, odun sirkesinin bitkisel üretimdeki etkilerini araştıran ilk çalışmalar oldukça uzun zaman önce Japonya'da başlamıştır. Buna rağmen Japonya odun sirkesinin tarımsal kullanımını ancak 20 yıl önce tavsiye etmeye başlamıştır [7].



Şekil 1 Prolignöz asit (Odun sirkesi)

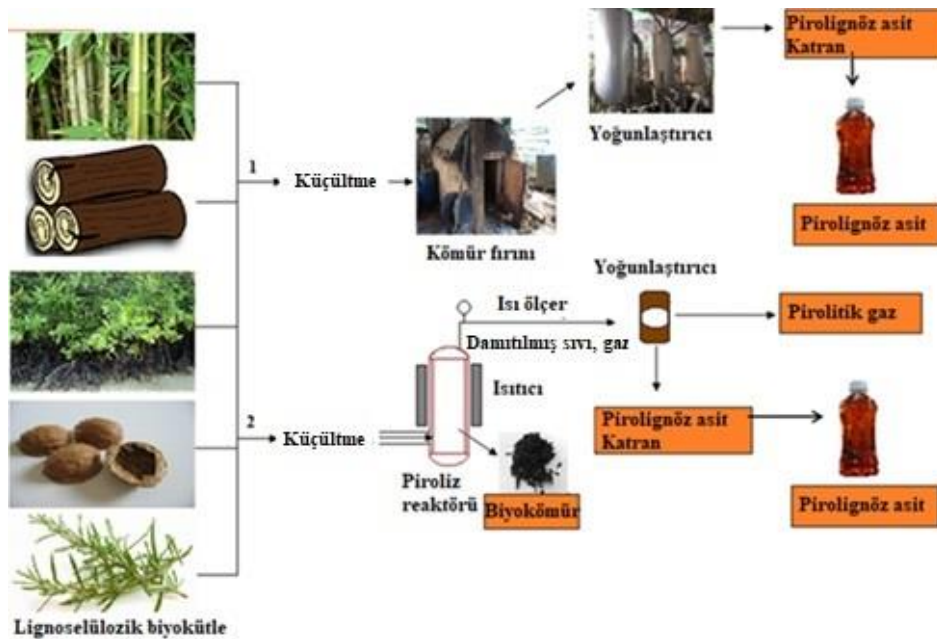
Son yıllarda, odun sirkesi ile ilgili araştırmalar; tıp, gıda, tarım ve çevre alanlarında bakteriyostatik ajanlar, antioksidanlar, bitki büyüme düzenleyicileri ve toprak katkı maddeleri üzerine odaklanmıştır [8,9]. Odun sirkesinin toprak kalitesini iyileştirdiği, bitki zararlıları ve hastalıkların etkisini azalttığı [10] ayrıca bitki büyüme düzenleyicisi veya yabancı ot inhibitörü olarak bitki büyümesine katkı sağladığı bildirilmiştir [11]. İçerdiği yüksek

miktardaki azot, fosfor ve potasyum nedeniyle tarım bilimcilerinin de ilgisini çekmiştir [12,13]. Odun sirkesi uygulamasının topraktaki besin elementi miktarını artırarak [14] bitkilerin büyümesini destekleyebileceği bildirilmiştir [15,16]. Buna ilaveten, odun sirkesi uygulamalarının çeltik ekili alanlardan kaynaklanan metan (CH₄) ve nitroz oksit (N₂O) emisyonlarının azaltılması açısından olumlu bir etkiye sahip olduğu da rapor edilmiştir [17].

II. ODUN SİRKESİ ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİ

A. Odun Sirkesinin Üretimi

Odun sirkesi, lignoselülozik biyokütleden odun kömürü üretiminde ortaya çıkan dumanın uygun bir ortamda soğutulmasıyla üretilir. Soğutma, karbonizasyonda ortaya çıkan 80 ile 180°C arasında sıcaklıkta olan dumanın piroligneöz sıvısına yoğunlaşmasına neden olur. Bu sıcaklığa ekzotermik ayrışmanın karbonizasyon aşamasında ulaşılır ve sarımsı, buruk duman görünümünü alır [5] (Şekil 2).



Şekil 2. Lignoselüloz bazlı biyokütleden piroligneöz asit üretimi [18]

Günümüzde 128'i Çin'den olmak üzere 189 odun sirkesi ürünü ticari olarak pazarlanmaktadır. Odun sirkesi bazı pestisit, Japonya'da ve Tayland, Kamboçya ve Çin gibi diğer birçok Asya ülkesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) "sirke", minimum riskli pestisit olarak listelenmiştir ancak bu sirke çalışmamıza konu olan "odun sirkesi" değildir. Çam katranı yağı, katran olarak yalnızca Avustralya, Hindistan, Yeni Zelanda ve Birleşik Krallık; ABD, Avustralya, Yeni Zelanda, Macaristan ve Kanada'da ise pestisit kullanımı için tescil edilmiştir. Ardıç katranı yalnızca Yeni Zelanda'da kullanım için listelenmiştir. Avrupa'da ise henüz çok yeni olan odun sirkesi ülkemizde de olduğu gibi Asya pazarıyla kıyaslanamayacak kadar az kullanılmaktadır [19].

B. Odun Sirkesinin Bileşimi ve Özellikleri

Odun sirkesi, bitki biyokütlesinin selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi bileşenlerinin termokimyasal parçalanmasından kaynaklanan karmaşık bir sulu sıvı fraksiyondur. Odun sirkesinin bileşimi, başlangıç odunsu malzemeye ve üretim sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [2, 18,20]. Araştırmacılar, odun sirkesi içerisinde 200'den fazla bileşen olduğunu rapor etmişlerdir [21]. Odun sirkesinin bileşimi biyokömür üretiminde kullanılan biyokütlenin çeşidi ve piroliz koşullarına bağlı olarak önemli oranda değişmektedir. Bununla birlikte, sıvı haldeki odun sirkesinde su oranı %80 ile %90 arasında değişmektedir. Sudan sonra en baskın bileşen asetik asit (30.45-70.60 mg mL⁻¹) olup bunu diğer asitler, alkoller, fenoller, esterler, karbonil, furanlar ve diğer organik bileşenler takip etmektedir. Bileşiminden de kolayca anlaşılacağı gibi OS'nin pH'sı 2 ile 4 arasında, özgül ağırlığı 1.005 ile 1.016 g mL⁻¹ arasında ve çözünmüş katran içeriği ise %0.23 ile %0.89 arasında değiştiği bildirilmiştir [22].

Özgül ağırlığı 1.005-1.050 g mL⁻¹ arası olup rengi soluk sarıdan parlak kahverengiye ve kırmızımsı kahverengiye benzediği rapor edilmiştir [5]. Çoğunlukla, aldehit, keton, alkol (metanol, butanol, amilalkol), asit (asetik, formik, propionik, valerik), formaldehit, aseton, furfural, valerolakton gibi nötr maddeler, fenoller (syringol, kresol, fenol), hidrokarbonlar ve azot bileşikler olan amonyak, metil amin ve piridin gibi temel maddelerden oluşur [23]. Odun sirkesinin karakteristik duman kokusu barındırdığı fenolik gruplardan kaynaklanmaktadır. Ana bileşen olan asetik asit, odun sirkesinin düşük pH'ye sahip olmasındaki en büyük pay (%50) sahibidir [24]. Asitlerin yüksek konsantrasyonu (ağırlıkça %25'e kadar), odun sirkesinin pH'sının düşük (<3) olmasını sağlar. Bu nedenle, odun sirkesi uygun miktar ve zamanda uygulanırsa olumlu etkiler elde edilmesi mümkün olabilir [25]. Grewal ve ark. [2] tarafından odun sirkesinin pH'sı 2.8, yoğunluğu 1.037 g mL⁻¹, toplam organik C içeriği 33.8 g L⁻¹, toplam N içeriği 0.43 g L⁻¹, organik asit içeriği %3.23, fenolik bileşik 13.0 g L⁻¹ ve metanol miktarı 13.4 g L⁻¹ olarak rapor edilmiştir. Ayrıca araştırmacılar, odun sirkesinin nem içeriğinin (wt %) %15-30, C içeriğinin %54-58, H içeriğinin %5.5-7.0, O içeriğinin %35-40 ve N içeriğinin %0.2-1 olduğunu bildirmişlerdir [2].

Yapılan araştırmalar, piroliz sıcaklığının 300 °C'den 500°C'ye yükseltilmesi ile odun sirkesindeki fenol, asit ve keton miktarlarının arttığını göstermiştir [19]. Acı badem kabuklarından üretilen odun sirkesinin en güçlü antibakteriyel aktivitelerini 90-170°C ve 370-510°C sıcaklık aralığı yerine 170-370°C sıcaklık aralığında sergiledikleri belirlenmiştir. Bu durum, fenol ve türevlerinin piroliz işlemleri sırasında oluşan baskın kimyasal bileşenler olduğunu göstermiştir [26].

III. ODUN SİRKESİNİN TARIMA KATKISI

A. Odun Sirkesinin Bitki Gelişimine Etkisi

Odun sirkesi bitki büyümesini etkilemede hala belirsizlikler göstermektedir. Çalışmalar, odun sirkesinin bitki gelişimini arttırdığı [16], azalttığı [27] veya bitki büyümesi üzerinde hiçbir etkisinin olmadığını [28] göstermiştir. Odun sirkesinin performansı, uygulama dozu [27,29] ve uygulama yöntemine [28] göre büyük ölçüde değişiklik göstermektedir.

Termokimyasal damıtma işlemi sonrasında elde edilen odun sirkesi, toprağı iyileştirici etkiye sahip olan organo-mineral gübre görevi, bitkilerle yabancı ot ve zararlılarla mücadelede ise biyopestisit görevi görmektedir. Odun sirkesi tarımda çoğunlukla bitki büyümesini hızlandırıcı bir madde olarak kullanılmaktadır. Bitkiler için uygun miktarda fenolik madde, bitki hormonlarının yaptığına benzer şekilde bitki büyümesini teşvik edici fizyolojik etkiler üretebilir. Odun sirkesi sadece azotlu bileşikler (bitki proteinleri ve serbest amino asitler gibi) önemli ölçüde artırmakla kalmaz, aynı zamanda bitkilerin topraktaki mikro elementleri almasına da yardımcı olur ve bitkilerin beslenme metabolizmasını geliştirir [2]. Odun sirkesinde bulunan organik asitler, bitkilerin hücreler arası asitlenmesine neden olarak, hücre duvarı lignoselülozu arasındaki hidrojen bağının kopmasına neden olabilir, hücre duvarı bağlantısını gevşetebilir ve böylece hücre bölünmesini, uzamasını kolaylaştırabilir ve kök büyümesini teşvik edebilir [30]. Araştırmacılar, odun sirkesi uygulamalarının rizosfer bölgesinde büyümeyi arttırdığını bildirmişlerdir [31,32]. Çin'de yapılan bir çalışmada, biyokütle atıklarından yapılan odun sirkesinin, kereviz verimini ve kalitesini iyileştiren bir yaprak gübresi olarak kullanılabileceğini göstermiştir [33]. Biyokömür ve odun sirkesi karışımının da toprak verimliliğini ve süs bitkilerinin büyümesini arttırdığı bildirilmiştir [27]. Bambu bitkisinden elde edilen odun sirkesinin piroliz sıcaklığına bağlı olarak bitki büyümesi üzerine etkisinin değiştiği bildirilmiştir [34]. Bambu odun sirkesi ile yapılan çalışmalarda bazı sebze türlerinin büyümesinde bir artış gözlemlenmiştir [35]. Mahmud ve ark. [36] ananas bitkisinden elde ettikleri odun sirkesinin %2 dozunda ilave edilmesi ile yaprak ve meyve sayısının kontrole göre arttığını, en yüksek bitki boyu, yaprak çapı ve en ağır meyvenin ise odun sirkesinin %4 dozundan elde edildiğini rapor etmişlerdir. Yeterince seyreltildiğinde, bitki köklenmesini, sürgün büyümesini [33] ve mikrobiyal aktiviteyi [37] teşvik etmek için odun sirkesinin uygulanabileceği bildirilmiştir.

Birçok çalışmada, çeltik [38], şeker kamışı [39] ve tatlı patates [40] yetiştiriciliğinde, odun sirkesinin organik bir gübre ile birlikte uygulanmasının bitki gelişimi üzerine olumlu etkileri olduğu belirtilmiştir. Topraksız kültürde uygulanan %20 dozundaki odun sirkesinin kavun gelişimini ve verimini önemli ölçüde arttırdığı rapor edilmiştir [41]. Odun sirkesinin, çay (*Camellia sinensis*) yetiştiriciliği yapılan arazilerde fosforik asit seviyesini üç kat arttırdığı bildirilmiştir [2].

Toprak kalitesinin iyileştirilmesi, bitki zararlılarının etkisinin azaltılması ve bitki büyümesinin teşvik edilmesine yönelik etkileri nedeni ile odun sirkesi bitkisel üretimde kullanılmaktadır [42]. Araştırmacılar, tavuk gübresi ile birlikte 300 kat seyreltilerek odun sirkesinin kombine uygulamasının, diğer işlemlere kıyasla verim

bileşenlerini ve çeltik tane verimini, ortalama 5.13 t ha⁻¹ arttırdığını bildirmiştir [43]. Buğday tohumunun 600 kez seyreltilmiş odun sirkesi ile mumelesinin çimlenmesini ve büyümesini teşvik ettiği, kuru madde miktarını ve kuraklık stresine toleransı artırdığı tespit edilmiştir [44]. Ayrıca tütün bitkisine 300 kat seyreltilmiş odun sirkesi püskürtmek verimi önemli ölçüde artırmış, antioksidan enzim aktivitesini ve çözünür protein ve potasyum içeriğini zenginleştirmiştir [45].

Odun sirkесinin domates ve biber tohumlarının çimlenmesi ve gelişimleri üzerine etkilerini inceleyen Luo ve ark. [46] odun sirkесinin biber ve domates tohumlarının çimlenmesi üzerine çok az etki gösterdiğini, düşük konsantrasyonlarda (örn., %0.002 ve %0.02) odun sirkесinin kök ve sürgün uzunluklarını arttırdığını bildirmişlerdir. Ayrıca, odun sirkесi veya biyokömürün bireysel uygulamasının, kök gelişimi ve biyokütle üretimi dahil olmak üzere biber fidesinin büyümesini teşvik ettiği bildirilirken birlikte uygulamanın etkisinin çok zayıf olduğu belirtilmiştir. Odun sirkесinin biber üzerindeki olumlu etkileri, toprağın zayıf asitliğinin korunmasına ve odun sirkесindeki bol aktif bileşiklere (karboksilik asitler, fenoller ve laktonlar) atfedilmiştir. Odun sirkесi ve biyokömür birlikte uygulandığında, biyokömür tarafından sağlanan zengin inorganik besinler ve mikro elementler ve biyokömür tarafından odun sirkесindeki yavaş salınan aktif asit ve fenol bileşenlerinin adsorbe edilmesi nedeniyle domates büyümesi olumlu etkilenmiştir. Araştırmacılar, odun sirkесi ve biyokömürün birlikte uygulanmasının, toprak kalitesini iyileştirme ve böylece bitki gelişimini arttırmak için uygun bir strateji olabileceğini rapor etmişlerdir.

Odun sirkесinin 400 kat seyreltilmesi, kolza bitkisinin boyunu, toplam yaprak sayısını, yeşil yaprak sayısını, yaprak alanını, etkili dal sayısını ve bitki başına bakla sayısını önemli ölçüde artırmıştır. Özellikle yaprak alan indeksini ve kolza tohumu kuru madde birikimini önemli ölçüde artırmıştır. Odun sirkесi uygulaması, kabuk aşamasındaki yaprakların dökülmesini ve yaşlanmasını geciktirmiş, daha sonraki büyüme aşamasında kuru madde birikimini ve meyve veren organlara taşınmasını kolaylaştırmaktadır. Böylece kolza tohumunun etkili bakla sayısını ve tohum verimini önemli ölçüde artırmıştır. Odun sirkесi uygulaması, kolza tohumunun düşük sıcaklıklara ve hastalıklara karşı direncini de artırabilir [45].

B. Odun Sirkесinin Bitki Sağlığına Etkisi

Asya ülkelerinde odun sirkесi uygulamasının uzun bir geçmişi olmasına rağmen [7], etkinliğine ilişkin bilimsel kanıt oldukça yetersizdir. Pestisit veya biyosit olarak odun sirkесine odaklanan sınırlı sayıda bilimsel araştırma raporu mevcuttur [19]. Çevre üzerindeki toksik etkileri hakkında da çok az şey bilinmektedir [19,47]. Bununla birlikte, dünyanın bazı bölgelerinde uzun zamandır yerel üreticiler odun sirkесini biyopestisit özelliğinden faydalanmak amacıyla kullanmaktadır. Son 10 yılda, çeşitli bitki materyallerinden elde edilen odun sirkесinin kullanımı hızla artmış ve birçok Asya ülkesinde çok sayıda botanik pestisit piyasaya çıkmıştır [19]. Odun sirkесinde tespit edilen çeşitli kimyasalların herbisit etkinliği olduğu bilinmektedir [23,48]. Doza bağlı olarak odun sirkесinin mikroorganizmalara [49,50], yabancı otlara ve zararlılara [51,52] karşı etkisi olduğu bildirilmektedir. Uçucu yağların da etkili herbisitler olduğu bilinmektedir [53]. Benzer şekilde, huş katranı yağının çok sayıda yabancı ot türü üzerinde biyopetisit etkisi gösterdiği tespit edilmiştir [54]. Bir çalışmada, huş ağacından yapılan odun sirkесinin geniş yapraklı yabancı otların kontrolü için kullanılabilceği gösterilmiştir [55].

Buğday bitkisini hastalık ve zararlılardan koruma amaçlı pestisitlerin ve odun sirkесinin, yabancı ot ve buğday hasat parametrelerine etkisini belirlemek amacıyla kurulan bir tarla denemesinde; 1.) pestisit (fungisit, herbisit), 2.) pestisite karşılık gelen %0.5, %1, %2, %3, %4 ve %5 ml OS ve 3.) sadece şebeke suyu verilen kontrol konuları yer almıştır. Araştırmacılar, kontrole kıyasla pestisit uygulamasının yabancı ot sayısı, çeşitliliği ve kuru ağırlığını önemli düzeyde azalttığını ($p=0.002$), buğdayın başakta tane sayısı, başakta tane verimi ve hasat indeksi gibi kalite özelliklerini önemli seviyede ($p\leq 0.05$) arttırdığını bildirmişlerdir. Ayrıca, odun sirkесi uygulamasının (%1), buğday hasat indeksinin artmasında önemli ($p\leq 0.05$) bir etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir [56]. Bir başka çalışmada Koç ve ark. [57] broyler tavuk yetiştiriciliği atığından gazlaştırma işlemi sonrası elde edilen OS'un, *in-vitro* şartlarında *Aspergillus niger* ve *Penicillium digitatum*'a karşı antifungal etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla, *in vitro* şartlarında farklı konsantrasyonlarında (%1, %3, %5, %7 ve %10 mL) odun sirkесi içeren PDA besiyerlerine, patojen kültürlerin 5 mm çapında miselyum diskleri ekilmiş ve 24 ± 1 °C'de 7 gün inkübasyona bırakılmıştır. Antimikrobiyal madde testlerinde OS'un, *A. niger* ve *P. digitatum*'un misel gelişimlerini engellediği tespit edilmiştir. Araştırmacılar, kullanılan OS'un, hastalık etmenlerine karşı denenmesinin faydalı olabileceğini bildirmişlerdir.

İngiltere'de yeşil şeftali yaprak biti (*Myzus persicae*) ve kırmızı örümcek akarına (*Tetranychus urticae*) karşı karışık odun biyokütlesinden elde edilen odun sirkесinin böcek öldürücü etkisi araştırılmış ve her iki zararlı için de %90'dan fazla ölüm oranına ulaşılmıştır [27]. Tayland'da odun sirkесi, tarımda insektisit olarak yaygın

olarak kullanılmaktadır. Örneğin, huş katranı yağı, sümüklü böceklere (*Arion lusitanicus*) ve salyangozlara (*Aranta arbustorum*) karşı iyi bir kovucu olarak bilinmektedir [2]. Odun sirkesi, %1 seyreltme ile püskürtüldüğünde patlıcan (*Solanum melongena*) üzerindeki yaprak biti popülasyonunun %95'inde ölüme neden olmuştur [2]. Bazı yayınlarda odun sirkesinin Japon termitine (*Reticulitermes Japonese*) [50], karasinek ve kenelere [2] karşı etkili olduğu ortaya konulmuştur. Yakın zamanda yayınlanan bir çalışmada, buğday samanı sirkesi 200 kat seyreltilmiş ve buğday deneme alanına (tarla) uygulanmıştır. Araştırma sonrasında buğday ve diğer küçük taneli tahıl ürünlerinin verimini ve kalitesini önemli ölçüde etkileyen fusarium baş yanıklığı bulaşma oranını ve deoksivalenol içeriğini sırasıyla %66 ve %69 oranında azalttığı rapor edilmiştir. 200 kat seyreltmede buğday samanı sirkesinin kontrol etkinliğinin, tipik kimyasal mantar ilacı uygulamalarına benzer olduğu görülmüştür. Araştırmacılar, buğday samanı sirkesi kullanımının, net fungusit maliyetlerini azaltarak çiftçilerin gelirlerini arttırabileceğini belirtmişlerdir. Bu nedenle buğday samanı sirkesinin, fusarium baş yanıklığının kontrolü için doğal bir mantar ilacı olarak yüksek potansiyele sahip olduğu ve sentetik mantar ilaçlarına bağımlılığı azaltabileceği öngörülmüştür [58].

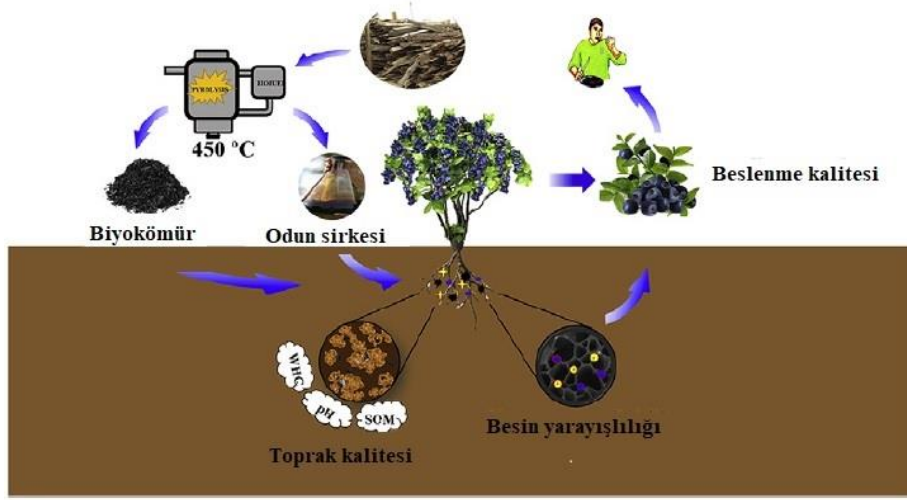
Farklı dozlarda (% 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0) odun sirkesinin şeker pancarı yaprak lekesi hastalığı etmeni *Cercospora beticola*'ya karşı etkinliği in-vitro çalışmasıyla ortaya koymaya çalışılmıştır. In-vitro koşullarda *Cercospora beticola* gelişimi odun sirkesi uygulamaları ile (%0.5 uygulaması hariç) önemli düzeyde azalmıştır. Bununla birlikte %0.5 odun sirkesi dozunda dahi virülensliği yüksek olan *C. beticola* izolatlarının gelişimi %77.4 - %91.1 arasında engellenmiştir. Araştırmacılar, odun sirkesinin etkinliğini göz önüne alarak biyolojik mücadelede kullanabileceğini bildirmiş ve bu konuda yapılan çalışmaların geliştirilmesinin gerekliliğini vurgulamışlardır [59].

Odun sirkesinin biyopestisit, biyogübre ve toprak düzenleyici olarak tarımsal üretimde kullanım potansiyeli konusunda yapılan çalışmaları araştıran Koç ve Namlı [60] *Brassica napus* L. tohumlarının çimlenmesi üzerine en iyi inhibisyon etkinin OS'un %1 (v/v) dozu olduğunu ve OS'nin antibakteriyel bir etki gösterdiğini [61], *Eucalyptus camaldulensis*, *Leucaena leucocephala*, *Azadirachta indica*, *Hevea brasiliensis* ve *Dendrocalamus asper* 'dan elde edilen OS'un, bazı funguslara (*Trametes versicolor* ve *Rigidoporus amylospora*, *Gloeophyllum trabeum* ve *Botryodiplodia theobromae*) karşı antifungal etki gösterdiğini [62] ifade etmişlerdir. Tavuk gübresi ve fındık kabuğundan elde edilen OS'nin vermikompost ortamında, kırmızı Kaliforniya solucanının (*Eisenia foetida*) etkisi belirlenen araştırmada; OS'un tarımsal üretimde biyo-pestisit potansiyeli olduğu [61] tarımsal faaliyetler için kullanılmamış mera toprağında OS'un serbest yaşayan nematodlara etkisi belirlenen araştırmada ise uygulama öncesi ve sonrası arasında fark olduğu tespit edilmiştir [64].

C. Odun Sirkesinin Toprak Kalitesine Etkisi

Odun sirkesinin toprak kalitesine etkisini araştıran yeterli çalışma bulunmamasına rağmen, odun sirkesinin toprak mikrobiyal aktivitesini arttırdığı bilinmektedir. Bunun da, odun sirkesinin toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmesi beklenmektedir. Odun sirkesi, çözünür tuzların yıkanması ve toprak pH'sının düşmesi ve dolayısıyla tuzlu topraklarda verimliliğinin arttırılması üzerine önemli etkiye sahiptir [65]. Genel olarak, odun sirkesi düşük moleküler ağırlıklı asitler (formik ve asetik), alkoller (metanol) ve aldehytler bakımından yüksektir ve toprakta oluşan prototrofik bakteriler için bir karbon ve enerji kaynağı olarak hizmet edebilir [66]. Bununla birlikte, yüksek asitlik, metanol ve fenol içeriği, yüksek konsantrasyonda güçlü bakteri yok edici etkiye sahiptir. Bu nedenle, doğru konsantrasyonda uygulandığında odun sirkesi toprağın biyolojik özelliklerini iyileştirebilir.

Rizorferde köklerden salınan organik asitler, ortamın pH'sının düşmesine yardımcı olarak bitkiler için yararlı durumda bulunan fosfor bileşiklerini çözerek, bitki tarafından alımını kolaylaştırırlar. Odun sirkesinin bileşiminde önemli oranda bulunan organik asitlerin de toprak pH'sının düşmesine neden olarak yararlılığı düşük olan besin elementlerinin yararlılığını arttırabilecekleri düşünülmektedir (Şekil 3). Bununla birlikte, bir kompost aktivatörü olarak, organik atığın kompost haline dönüşmesini hızlandırmaya yardımcı olduğu da bildirilmiştir [2].



Şekil 3. Biyokömür ve odun sirkesinin topraktaki rolü [67]

Odun sirkesi, toprak enzim aktivitelerini artırma [16], amonyak volatizasyonunu [68] ve ağır metal toksisitesini azaltma [69] gibi çoklu faydaları nedeniyle toprak iyileştirmede umut verici bir potansiyele sahiptir. Son 25 yılda dünyada azot kaynağı olarak kullanımı sürekli artan üre ile birlikte uygulanan odun sirkesinin, üreaz enzim aktivitesini azaltmasından dolayı azot kullanım etkinliğini artırdığı, aynı zamanda noktasal olmayan çevre kirliliğinin önlenmesinde de etkili olduğu bildirilmiştir [70].

Odun sirkesinde bulunan düşük konsantrasyonlardaki alkol, asit ve aldehitler, toprak mikroorganizmaları için karbon ve enerji substratları olarak hizmet etmektedir [71]. Yararlı mikroorganizmaların popülasyonunu artırmaya yardımcı olmak ve bitki kök büyümesini teşvik etmek için toprak yüzeyine odun sirkesi uygulanabileceği belirtilmiştir [72]. Yapılan bir çalışmada en yüksek mikrobiyal biyokütle içeriği değeri, en düşük odun sirkesi dozu (%1) uygulanan toprakta bulunmuş, ancak artan dozlarda mikrobiyal biyokütle karbon değerinin azaldığı rapor edilmiştir. Daha yüksek uygulama dozlarında (%2 ve %5), çoğu enzimatik aktivitede bir azalma ve toprak kalitesinde bir kayıp olmuştur. Odun sirkesi %1'e varan dozlarda uygulandığında, sonuçlar toprak biyolojisi üzerinde olumsuz bir etki olmadığını ve hatta önemsizde olsa bir gelişme olduğunu göstermiştir [73]. Sera koşullarında, yaprak ve toprak uygulamalarında odun sirkesinin buğdayın gelişimi ile bazı toprak kalitesi indikatörleri üzerine etkisini inceleyen araştırmacılar, toprağın pH, EC, OM, kireç, P ve K içeriklerinin odun sirkesi uygulamalarında kontrole kıyasla istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte farklı olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar, sadece toprağın yararlı fosfor içeriğinin kontrol uygulamasına kıyasla önemli derecede ($p < 0.05$) arttığını rapor etmişlerdir [59]. Buğday bitkisinde pestisitler ve odun sirkesinin toprağın pH ve EC değerlerine etkisini belirlemek amacıyla yürütülen bir çalışmada araştırmacılar; pH ve EC'nin kullanılan pestisit ve OS çeşidi ile dozunun fark etmeksizin sadece zamanın (uygulama öncesi, uygulama sonrası ve hasat sonrası) etkili olduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak; kullanılan pestisitlerin (önerilen dozda) ve farklı doz odun sirkesinin toprakta belirlenen parametreler üzerinde istatistiksel olarak olumsuz ya da olumlu etki göstermediği, ancak örnekleme zamanının etkili olduğu tespit edilmiştir [74].

Ağır metaller ile kirlenmiş topraklarda metal iyonların adsorpsiyonu ve kompleks oluşturma kapasitesini geliştirmek için hümitik asidin aktive edilmesinde odun sirkesi kullanılabileceği bildirilmiştir [2]. Odun sirkesi içerisinde yer alan hidroksil, fenolik ve karboksil gibi organik grupların fonksiyonel grupları ağır metallerin hareketsizleştirilmesi sürecinde yer alır ve metal ile kolayca etkileşime girebilir. Hümitik asitteki, adsorpsiyon bölgelerini arttırmak odun sirkesi ile birlikte uygulanması tavsiye edilmektedir. Son zamanlarda odun sirkesi bakır, kadmiyum ve nikel gibi kirlenmeleri uzaklaştırmak için kullanılabileceğine dair raporlar yayınlanmıştır [69]. Odun sirkesinde bulunan organik maddeler doğal olarak şelatlama için çok sayıda adsorpsiyon bölgesine sahip olduğundan metalleri topraktan alınıp daha az yararlı hale gelmelerine katkı verirler [75].

D. Odun Sirkesinin Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi

Biyokütlenin karbonizasyonu sonucunda üretilen ve büyük miktarlarda organik asitler veya bileşenler içeren odun sirkesi; böcek kovucu, koku giderici ve toprak katkı maddesi olarak kullanımının yanı sıra son zamanlarda sera gazı emisyonlarını azaltma etkisi üzerine çalışmalar artmaktadır [76,77]. Hatta biyokömür, zeolit

ve odun sirkesinin birleştirilmesinin CO₂, CH₄ ve N₂O emisyonlarını sırasıyla %34-47, %50-61 ve %79-81 oranında azaltılabileceğini belirtilmiştir. Bu durum, katkı maddelerinin adsorpsiyon kabiliyeti ve odun sirkesi ile birlikte biyofiltre etkisi ile açıklanmaktadır [78]

Yapılan araştırmalar, çeltik tarlalarına uygulanan azotlu gübrenin yaklaşık %13.2 ile %47.0'sinin NH₃ volatize yoluyla kaybolduğunu göstermektedir. NH₃ volatizasyonu sadece azot kullanım etkinliğini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda hidrografik ve atmosferik kirliliğe de neden olur. Bu nedenle, sürdürülebilir tarım uygulamalarını içeren uygulamalar ile çeltik tarlalarından NH₃ volatizasyonunun azaltılması büyük önem taşımaktadır [79]. Odun sirkesi ve biyokömürün birlikte uygulamasının, çeltik yetiştirilen topraktan N₂O ve CH₄ emisyonlarını daha etkili bir şekilde azalttığı ve aynı zamanda çeltik verimini artırdığı rapor edilmiştir [80]. Mısır silajının depolanması esnasında ortaya çıkan CO₂ gazı emisyonuna odun sirkesinin etkisini araştıran Guo ve ark. [81] odun sirkesinin, laktik asit içeriğini artırırken, pH'yı, amonyak-N içeriğini, butirik asit içeriğini ve koliform bakteri sayılarını azalttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, odun sirkesi uygulaması *Lactobacillus*'un nispi zenginliğini arttırmış ve *Enterobacter* ve *Lachnoclostridium* gibi zararlı bakterilerin nispi zenginliğini de azaltmıştır. Odun sirkesinin ilavesi, özellikle CO₂ olmak üzere gaz üretimini azaltmıştır. Aynı zamanda CO₂ üreten bakteriler türlerinin ve CO₂ fiksasyonu potansiyeli olan cinslerin nispi bolluğunu da arttırmıştır. Dünya çapındaki silaj üretimi göz önüne alındığında, odun sirkesi uygulamasının silaj depolamada ortaya çıkan büyük miktardaki CO₂ emisyonlarını azaltarak küresel ısınmayı azaltmada etkili bir yöntem olarak uygulanabileceği belirtilmiştir.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Biyokütlenin karbonizasyonu esnasında ortaya çıkan, pirolignöz asit olarak da tanımlanan odun sirkesinin üretimi, tarımda kullanım olanakları ve çevreye olan etkileri üzerine olan ilgi artmaya devam etmektedir. Odun sirkesi, toprak veya yaprak gübresi ve bitki büyüme düzenleyicileri için biyolojik kaynak ve farklı katma değerli ürün ve kimyasalların üretiminde potansiyel sürdürülebilir öncü madde olarak da her geçen gün daha fazla ilgi çekmektedir. Odun sirkesinin toprak özelliklerini iyileştirmek adına organik bir girdi olması ve zararlılar ile mücadelede pestisitlere oranla çabuk parçalanmasının gelecekte odun sirkesine olan ilgiyi arttırması beklenmektedir. Piroliz işlemi sırasında, yan ürün olarak elde edilen odun sirkesinin, tarımsal faaliyetlerde özellikle biyopestisit ile kovucu etkisinin, biyogübre ve toprak iyileştirici etkilerinin yapılacak tarla ve sera denemelerinde test edilmesi önemlidir.

Odun sirkesi uygulamaları sonucu yayınlanan raporların önemli bir kısmında, odun sirkesinin tarımsal üretimde verimliliği arttırabilecek ve aynı zamanda entegre zararlı mücadelesinde kullanılacak değerli bir ürün olduğu ortaya koyulmuştur. Özellikle toprağın sahip olduğu çeşitli fonksiyonlar üzerine etkisi konusunda araştırmalar yeterli olmamasına rağmen tarımda odun sirkesinin kullanımının, toprak kalitesini ve ekosistem hizmetlerini iyileştirme potansiyeli olduğu düşünülmektedir. Odun sirkesi ile ilgili devam eden çalışmalara ait raporlar, odun sirkesinin tarım ve çevre yönetiminde üretimi ve daha geniş kullanımı için dikkate değer bir potansiyeli olduğuna işaret etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Demirbaş, A. (2002). Partly chemical analysis of liquid fraction of flash pyrolysis products from biomass in the presence of sodium carbonate, *Energy Convers. Manage.* 43: 1801–1809.
- [2] Grewal, A., Abbey, L., & Gunupuru, L. R. (2018). Production, prospects and potential application of pyrolygneous acid in agriculture. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 135, 152-159.
- [3] Crepier, J., Le Masle, A., Charon, N., Albrieux, F., Duchene, P., & Heinisch, S. (2018). Ultra-high performance supercritical fluid chromatography hyphenated to atmospheric pressure chemical ionization high resolution mass spectrometry for the characterization of fast pyrolysis bio-oils. *Journal of Chromatography B*, 1086, 38-46.
- [4] Akkurt, B., Günel, H., Erdem, H., & Günel, E. (2020). Piroliz sıcaklığının biyoçarların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 8(1), 1-13.
- [5] Burnette, R. (2010). An introduction to wood vinegar. ECHO Asia Regional Office, http://majidorganic.ir/wp-content/uploads/2015/11/Wood_Vinegar.pdf Erişim tarihi 11 Eylül 2021.
- [6] Mopoung, S., & Udeye, V. (2015). Wood charcoal and wood vinegar production from mango tree wood by using 3 m 3 carbonization dome kiln. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 10(5), 1911-1922.

- [7] Ogawa, M., & Okimori, Y. (2010). Pioneering works in biochar research, Japan. *Soil Research*, 48(7), 489-500.
- [8] Li, Z., Wu, L., Sun, S., Gao, J., Zhang, H., Zhang, Z., & Wang, Z. (2019). Disinfection and removal performance for *Escherichia coli*, toxic heavy metals and arsenic by wood vinegar-modified zeolite. *Ecotoxicology and environmental safety*, 174, 129-136.
- [9] Zhang, F., Shao, J., Yang, H., Guo, D., Chen, Z., Zhang, S., & Chen, H. (2019). Effects of biomass pyrolysis derived wood vinegar on microbial activity and communities of activated sludge. *Bioresource technology*, 279, 252-261.
- [10] Pangnakorn, U., Kanlaya, S., & Kuntha, C. (2011). Efficiency of wood vinegar and extracts from some medicinal plants on insect control. *Advances in Environmental Biology*, 5(2), 477-482.
- [11] Apai, W., & Thongdeethae, S. (2001). Wood vinegar: new organic for Thai Agriculture. In *The 4 th Toxicity Division Conference, Department of Agriculture*, 166-169.
- [12] Fagernäs, L., Kuoppala, E., & Arpiainen, V. (2015). Composition, utilization and economic assessment of torrefaction condensates. *Energy & Fuels*, 29(5), 3134-3142.
- [13] Zheng, H., Sun, C., Hou, X., Wu, M., Yao, Y., & Li, F. (2018). Pyrolysis of *Arundo donax* L. to produce pyrolytic vinegar and its effect on the growth of dinoflagellate *Karenia brevis*. *Bioresource technology*, 247, 273-281.
- [14] Simma, B., Polthanee, A., Goggi, A. S., Siri, B., Promkhambut, A., & Caragea, P. C. (2017). Wood vinegar seed priming improves yield and suppresses weeds in dryland direct-seeding rice under rainfed production. *Agronomy for sustainable development*, 37(6), 1-9.
- [15] Lashari, M. S., Liu, Y., Li, L., Pan, W., Fu, J., Pan, G., ... & Yu, X. (2013). Effects of amendment of biochar-manure compost in conjunction with pyroligneous solution on soil quality and wheat yield of a salt-stressed cropland from Central China Great Plain. *Field Crops Research*, 144, 113-118.
- [16] Polthanee, A., Kumla, N., & Simma, B. (2015). Effect of *Pistia stratiotes*, cattle manure and wood vinegar (pyroligneous acid) application on growth and yield of organic rainfed rice. *Paddy and water environment*, 13(4), 337-342. *Pyrolysis*, 135, 152-159.
- [17] Sun, H., Feng, Y., Ji, Y., Shi, W., Yang, L., & Xing, B. (2018). N₂O and CH₄ emissions from N-fertilized rice paddy soil can be mitigated by wood vinegar application at an appropriate rate. *Atmospheric Environment*, 185, 153-158.
- [18] Mathew, S., & Zakaria, Z. A. (2015). Pyroligneous acid—the smoky acidic liquid from plant biomass. *Applied microbiology and biotechnology*, 99(2), 611-622.
- [19] Tiilikkala, K., Fagernäs, L., & Tiilikkala, J. (2010). History and use of wood pyrolysis liquids as biocide and plant protection product.
- [20] Bahcivanji, L., Gasco, G., Paz-Ferreiro, J., & Mendez, A. (2020). The effect of post-pyrolysis treatment on waste biomass derived hydrochar. *Waste Management*, 106, 55-61.
- [21] Mun, S. P., & Ku, C. S. (2010). Pyrolysis GC-MS analysis of tars formed during the aging of wood and bamboo crude vinegars. *Journal of wood science*, 56(1), 47-52.
- [22] Theapparatt, Y., Chandumpai, A., & Faroongsarng, D. (2018). Physicochemistry and utilization of wood vinegar from carbonization of tropical biomass waste. *Tropical Forests*, 163-183.
- [23] Souza, J. B. G., Ré-Poppi, N., & Raposo Jr, J. L. (2012). Characterization of pyroligneous acid used in agriculture by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 23(4), 610-617.
- [24] Cardelli, R., Becagli, M., Marchini, F., & Saviozzi, A. (2020). Soil biochemical activities after the application of pyroligneous acid to soil. *Soil Research*, 58(5), 461-467.
- [25] Bridgwater, A. V., Meier, D., & Radlein, D. (1999). An overview of fast pyrolysis of biomass. *Organic geochemistry*, 30(12), 1479-1493.

- [26] Kacem, I., Koubaa, M., Maktouf, S., Chaari, F., Najar, T., Chaabouni, M., ... & Chaabouni, S. E. (2016). Multistage process for the production of bioethanol from almond shell. *Bioresource technology*, 211, 154-163.
- [27] Mmojieje, J., & Hornung, A. (2015). The potential application of pyroligneous acid in the UK agricultural industry. *Journal of Crop Improvement*, 29(2), 228-246.
- [28] Mungkunkamchao, T., Kesmla, T., Pimratch, S., Toomsan, B., & Jothityangkoon, D. (2013). Wood vinegar and fermented bioextracts: Natural products to enhance growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia Horticulturae*, 154, 66-72.
- [29] Kadota, M., & Niimi, Y. (2004). Effects of charcoal with pyroligneous acid and barnyard manure on bedding plants. *Scientia Horticulturae*, 101(3), 327-332.
- [30] Mangano, S., Pacheco, J. M., Marino-Buslje, C., & Estevez, J. M. (2018). How does pH fit in with oscillating polar growth?. *Trends in plant science*, 23(6), 479-489.
- [31] Tsuzuki, E., Wakiyama, Y., Eto, H., & Handa, H. (1989). Effect of pyroligneous acid and mixture of charcoal with pyroligneous acid on the growth and yield of rice [*Oryza sativa*] plant. *Japanese Journal of Crop Science (Japan)*.
- [32] Kadota, M., Hirano, T., Imizu, K., & Niimi, Y. (2002). Pyroligneous acid improves in vitro rooting of Japanese pear cultivars. *HortScience*, 37(1), 194-195.
- [33] Wei, Q., Liu, G., Wei, X., Ma, X., Xu, D., & Dong, R. (2009). Influence of wood vinegar as leaves fertilizer on yield and quality of celery. *Journal of China Agricultural University*, 14(1), 89-92.
- [34] Mu, J., Uehara, T., & Furuno, T. (2004). Effect of bamboo vinegar on regulation of germination and radicle growth of seed plants II: composition of moso bamboo vinegar at different collection temperature and its effects. *Journal of Wood Science*, 50(5), 470-476.
- [35] Mu, J., Yu, Z. M., Wu, W. Q., & Wu, Q. L. (2006). Preliminary study of application effect of bamboo vinegar on vegetable growth. *Forestry Studies in China*, 8(3), 43-47.
- [36] Mahmud, K. N., Yahayu, M., Sarip, S. H. M., Rizan, N. H., Min, C. B., Mustafa, N. F., ... & Zakaria, Z. A. (2016). Evaluation on efficiency of pyroligneous acid from palm kernel shell as antifungal and solid pineapple biomass as antibacterial and plant growth promoter. *Sains Malaysiana*, 45(10), 1423-1434.
- [37] Steiner, C., de Arruda, M. R., Teixeira, W. G., & Zech, W. (2007). Soil respiration curves as soil fertility indicators in perennial central Amazonian plantations treated with charcoal, and mineral or organic fertilisers. *Tropical Science*, 47(4), 218-230.
- [38] Tsuzuki, E., Morimitsu, T., & Matsui, T. (2000). Effect of chemical compounds in pyroligneous acid on root growth in rice plant. *Report of the Kyushu Branch of the Crop Science Society of Japan*, (66), 15-16.
- [39] Uddin, S., M. M., Murayama, S., Ishimine, Y., Tsuzuki, E. H., & Harada, J. (1995). J. Effect of the Mixture of Charcoal with Pyroligneous Acid on dry matter production and root growth of summer planted sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Japan Journal Crop Science, Bankyo-ku, Tokyo*, 64(4), 747-753.
- [40] Shibayama, H., Mashima, K., Mitsutomi, M., & Arima, S. (1998). Effects of application of pyroligneous acid solution produced in Karatsu city on growth and free sugar contents of storage roots of sweet potato. *Marine and Highland Bioscience Center Report-Saga University (Japan)*.
- [41] Zulkarami, B., Ashrafuzzaman, M., Husni, M. O., & Ismail, M. R. (2011). Effect of pyroligneous acid on growth, yield and quality improvement of rockmelon in soilless culture. *Australian Journal of Crop Science*, 5(12), 1508.
- [42] FFTC (Food & Fertilizer Technology Center). (2005). Wood Vinegar. Accessed on December 2, 2008. Available at: <http://www.fftc.agnet.org/library/pt/2005025/>.
- [43] Tipparak, S., Jothityangkoon, D., & Polthanee, A. (2007). Effect of wood vinegar and farm yard manure on growth and yield of KDML 105 rice. *Kaen Kaset*.

- [44] Wang, Y., Qiu, L., Song, Q., Wang, S., Wang, Y., & Ge, Y. (2019). Root proteomics reveals the effects of wood vinegar on wheat growth and subsequent tolerance to drought stress. *International journal of molecular sciences*, 20(4), 943.
- [45] Zhu, K., Gu, S., Liu, J., Luo, T., Khan, Z., Zhang, K., & Hu, L. (2021). Wood Vinegar as a Complex Growth Regulator Promotes the Growth, Yield, and Quality of Rapeseed. *Agronomy*, 11(3), 510.
- [46] Luo, X., Wang, Z., Meki, K., Wang, X., Liu, B., Zheng, H., ... & Li, F. (2019). Effect of co-application of wood vinegar and biochar on seed germination and seedling growth. *Journal of Soils and Sediments*, 19(12), 3934-3944.
- [47] Orihashi, K., Kojima, Y., & Terazawa, M. (2001). Deterrent effect of rosin and wood tar against barking by the gray-sided vole (*Clethrionomys rufocanus bedfordiae*). *Journal of Forest Research*, 6(3), 191.
- [48] Kim, S. K., Kim, K. S., Lee, Y. H., & Kim, Y. H. (2001). Compostion of constituents of commercial wood vinegar liquor in Korea. *Applied Biological Chemistry*, 44(4), 262-268.
- [49] Baimark, Y., & Niamsa, N. (2009). Study on wood vinegars for use as coagulating and antifungal agents on the production of natural rubber sheets. *Biomass and Bioenergy*, 33(6-7), 994-998.
- [50] Velmurugan, N., Chun, S. S., Han, S. S., & Lee, Y. S. (2009). Characterization of chikusaku-eki and mokusaku-eki and its inhibitory effect on sapstaining fungal growth in laboratory scale. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 6(1), 13-22.
- [51] Wititsiri, S. (2011). Production of wood vinegars from coconut shells and additional materials for control of termite workers, *Odontotermes* sp. and striped mealy bugs, *Ferrisia virgata*. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 33(3).
- [52] Yatagai, M., Nishimoto, M., Hori, K., Ohira, T., & Shibata, A. (2002). Termiticidal activity of wood vinegar, its components and their homologues. *Journal of Wood Science*, 48(4), 338-342.
- [53] Tworokski, T. (2002). Herbicide effects of essential oils. *Weed science*, 50(4), 425-431.
- [54] Salonen, J., Tiilikkala, K., Ruuttunen, P., Lindqvist, I., & Lindqvist, B. (2008). Birch Tar Oil: A Potential Herbicide from the Forests of Finland. In *Abstracts of the 5th International Weed Science Congress. Weeds local problems/global challenge. Vancouver, British Columbia, Canada, June 23-27, 2008. IWSS*.
- [55] Ruuttunen, P. (2007). Evaluation of birch oil distillate for weed control in potato. *Trial Report*.
- [56] Koç, İ., Yıldız, Ş., & Yardım, E. N. (2020). A Research On The Effects Of Pesticides And Wood Vinegar On Weeds And Cultivated Plants In Wheat Agro-Ecosystem. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(2), 94-106.
- [57] Koç, İ., Yardım, E. N., & Yıldız, Ş. (2017). In Vitro Şartlarında Küf Etmenlerine Karşı Tavuk Gübresinden Elde Edilmiş Odun Sirkesinin Antifungal Etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(4), 516-520.
- [58] Gao, T., Bian, R., Joseph, S., Taherymoosavi, S., Mitchell, D. R., Munroe, P., ... & Shi, J. (2020). Wheat straw vinegar: A more cost-effective solution than chemical fungicides for sustainable wheat plant protection. *Science of The Total Environment*, 725, 138359.
- [59] Namlı, A., Akça, M. O., Turgay, E. B., & Soba, M. R. (2014). Odun sirkesinin tarımsal kullanım potansiyelinin araştırılması. *Toprak Su Dergisi*, 3(1), 44-52.
- [60] Koç, I & Namlı, A., (2020). Odun Sirkesinin Önemi ve Geleceği, Geleceğin Dünyasında Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar 2020 Doğa Bilimleri Ve Ziraat/I., 72-84.
- [61] Shan, X., Liu, X., & Zhang, Q. (2018, March). Impacts of adding different components of wood vinegar on rape (*Brassica napus* L.) seed germination. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 128, No. 1, p. 012183). IOP Publishing.
- [62] Theapparath, Y., Chandumpai, A., Leelasuphakul, W., & Laemsak, N. (2015). Pyroligneous acids from carbonisation of wood and bamboo: their components and antifungal activity. *Journal of Tropical Forest Science*, 517-526.

- [63] Koç, İ. (2019). Study of some biological parameters of the red Californian earthworm *Eisenia Foetida* (Savigny, 1826) in vermicompost following the application of wood vinegar. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 4527-4538.
- [64] Koç, İ. (2019). Investigation of the effect of wood vinegar produced from chicken manure and nutshells on soil nematodes in the pasture area of Bitlis province. IESS 2019, International Engineering and Science Symposium'19, 20-22 June, 2019. 1243-1250, Siirt.
- [65] Lashari, M. S., Ye, Y., Ji, H., Li, L., Kibue, G. W., Lu, H., ... & Pan, G. (2015). Biochar–manure compost in conjunction with pyroligneous solution alleviated salt stress and improved leaf bioactivity of maize in a saline soil from central China: a 2- year field experiment. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(6), 1321-1327.
- [66] Benzon, H. R. L., Rubenecia, M. R. U., Ultra Jr, V. U., & Lee, S. C. (2015). Chemical and biological properties of paddy soil treated with herbicides and pyroligneous acid. *Journal of agricultural science*, 7(4), 20.
- [67] Zhang, Y., Wang, X., Liu, B., Liu, Q., Zheng, H., You, X., ... & Li, F. (2020). Comparative study of individual and Co-Application of biochar and wood vinegar on blueberry fruit yield and nutritional quality. *Chemosphere*, 246, 125699.
- [68] Win, K. T., Toyota, K., Motobayashi, T., & Hosomi, M. (2009). Suppression of ammonia volatilization from a paddy soil fertilized with anaerobically digested cattle slurry by wood vinegar application and floodwater management. *Soil science and plant nutrition*, 55(1), 190-202.
- [69] Liu, L., Guo, X., Wang, S., Li, L., Zeng, Y., & Liu, G. (2018). Effects of wood vinegar on properties and mechanism of heavy metal competitive adsorption on secondary fermentation based composts. *Ecotoxicology and environmental safety*, 150, 270-279.
- [70] Lee, J., Park, H. J., Cha, S. J., Kwon, S. J., & Park, J. H. (2021). Effect of pyroligneous acid on soil urease, amidase, and nitrogen use efficiency by Chinese cabbage (*Brassica campestris* var. *Pekinensis*). *Environmental Pollution*, 118132.
- [71] Steiner, C., Das, K. C., Garcia, M., Förster, B., & Zech, W. (2008). Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic Ferralsol. *Pedobiologia*, 51(5-6), 359-366.
- [72] Masum, S. M., Malek, M., Mandal, M. S. H., Haque, M. N., & Akther, Z. (2013). Influence of plant extracted pyroligneous acid on transplanted aman rice. *World J. Exp. Biosci*, 4, 31-34.
- [73] Cardelli, R., Becagli, M., Marchini, F., & Saviozzi, A. (2020). Soil biochemical activities after the application of pyroligneous acid to soil. *Soil Research*, 58(5), 461-467.
- [74] Koç, İ., & Yardım, E. N. (2019). Pestisitlerin ve Odun Sirkesinin Bazı Mikrobiyal ve Fiziko-Kimyasal Toprak Parametrelerine Etkilerinin Araştırılması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22(6), 896-904.
- [75] Benzon, H.R.L., & Lee, S.C. (2017) Pyroligneous acids enhance phytoremediation of heavy metal-contaminated soils using mustard. *Commun Soil Sci Plan* 48(5):1–13
- [76] Chen, Y. X., Huang, X. D., Han, Z. Y., Huang, X., Hu, B., Shi, D. Z., & Wu, W. X. (2010). Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar on nitrogen conservation and heavy metals immobility during pig manure composting. *Chemosphere*, 78(9), 1177-1181.
- [77] Zhang, L., & Sun, X. (2015). Effects of earthworm casts and zeolite on the two-stage composting of green waste. *Waste management*, 39, 119-129.
- [78] Wang, Q., Awasthi, M. K., Ren, X., Zhao, J., Li, R., Wang, Z., & Zhang, Z. (2018). Combining biochar, zeolite and wood vinegar for composting of pig manure: the effect on greenhouse gas emission and nitrogen conservation. *Waste management*, 74, 221-230.
- [79] Pan, B., Lam, S. K., Mosier, A., Luo, Y., & Chen, D. (2016). Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: a global synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 232, 283-289.

- [80] Feng, Y., Li, D., Sun, H., Xue, L., Zhou, B., Yang, L., & Xing, B. (2020). Wood vinegar and biochar co-application mitigates nitrous oxide and methane emissions from rice paddy soil: A two-year experiment. *Environmental Pollution*, 267, 115403.
- [81] Guo, X., Zheng, P., Zou, X., Chen, X., & Zhang, Q. (2021). Influence of Pyroligneous Acid on Fermentation Parameters, CO₂ Production and Bacterial Communities of Rice Straw and Stylo Silage. *Frontiers in Microbiology*, 12, 1862.