



## Odunun Emprenye Edilebilirliğini Etkileyen Faktörlerin Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Değerlendirilmesi

Ayşenur GÜRGEN <sup>1\*</sup>, Sibel YILDIZ <sup>1</sup>, Ümit Cafer YILDIZ <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 61080, TRABZON

### Öz

Bu çalışmada, odunun emprenye edilebilirliğini etkileyen faktörler bulanık analitik hiyerarşi prosesi (BAHP) ile değerlendirilmiştir. Bu kapsamda sadece suda çözünen emprenye maddeleri ile basınçlı/vakumlu emprenye tekniği ele alınmıştır. Bunun için öncelikle analitik hiyerarşi prosesi oluşturulmuştur ve proseste belirtilen kriterlerin ikili karşılaştırmalarının olduğu bir anket hazırlanmıştır. Anket soruları alanında uzman kişiler tarafından cevaplandırılmıştır. Verilen cevaplar, bulanık sayılara çevrilmiş ve tutarlılık analizi yapılmıştır. Uzmanlardan alınan cevaplarla hazırlanan sonuç matrislerinin tutarlı olduğu belirlendikten sonra, tüm cevaplar Buckley yöntemine göre değerlendirilmiştir. Tüm ana ve alt kriterlerin bulanık ve normalize edilmiş ağırlıkları hesaplanmıştır. Ayrıca tüm alt kriterlerin göreceli reel değerleri ile dengelenmiş ve normalize edilmiş ağırlıkları hesaplanmıştır. Çalışma sonunda ana kriterler arasında yer alan “odunun anatomik özellikleri” ve “emprenye işlemi” şartlarının odunun emprenye edilebilirliğini etkileyen başlıca faktörler olduğu anlaşılmıştır. Bulunan önem derecelerinin genel olduğu, her emprenye işlemi için değişkenlik gösterebileceği; bununla birlikte BAHP metodunun orman endüstri mühendislik disiplinde birçok alana uygulanabileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Emprenye, bulanık analitik hiyerarşi prosesi, odun, suda çözünen emprenye maddeleri.

## Evaluation of Factors Affecting Impregnability of Wood by Fuzzy Analytical Hierarchy Process

### Abstract

In this study, the factors affecting the impregnability of wood were evaluated by fuzzy analytic hierarchy process (FAHP). In this context, only water-soluble impregnates and pressurized / vacuum impregnation technique were discussed. First of all, an analytic hierarchy process has been established and a questionnaire has been prepared with double comparisons of the criteria mentioned in the process. The questionnaire questions were answered by experts in the field. The answers were translated into fuzzy numbers and consistency analysis was performed. After the results were determined to be consistent with the results obtained from the experts, all responses were evaluated according to Buckley method. Fuzzy and normalized weights of all major and sub-criteria were calculated. In addition, all sub-criteria were balanced and their normalized weights were calculated with the relative real values. At the end of the study, the anatomical features of the wood and the conditions of impregnation were found to be factors affecting the impregnability of wood among the main criteria. The significance levels found are general and may vary for each impregnation process; however, it has been concluded that the BAHP method can be applied to many areas in the forest industrial engineering discipline.

**Keywords:** Impregnation, fuzzy analytical hierarchy process, wood, water-soluble impregnate.

### \*Sorumlu Yazar (Corresponding Author):

Ayşenur GÜRGEN (Arş. Gör.); Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi,  
Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon, Türkiye. Tel: +09 (462)  
3771516 Fax: +09 (462) 3257499, e-mail: [aysenur.vilmaz@ktu.edu.tr](mailto:aysenur.vilmaz@ktu.edu.tr), ORCID No:  
0000-0002-2263-7323

Geliş (Received) : 07.03.2019  
Kabul (Accepted) : 12.06.2019  
Basım (Published) : 15.08.2019

## 1. Giriş

Ahşap, doğal ve yenilenebilir bir kaynak olduğu için insanlığın var oluşu ile birlikte hayatın hemen her alanında birçok amaç için kullanım yeri bulmuştur. Çünkü ahşap, dokusu ve rengi sayesinde estetik bir malzemedir, ağırlığına oranla diğer materyallere göre daha dayanıklıdır, vida-çivi tutma özelliği sayesinde birçok farklı formda kullanılabilir (Çağatay ve ark., 2012). Ayrıca nefes alıp verebildiği ve ısı iletkenliği düşük olduğu için mükemmel bir yapı malzemesidir (Özdemir ve ark., 2013). Bütün bu avantajları ile birlikte ahşap malzemenin bazı dezavantajları vardır. Ahşap, biyotik ve abiyotik faktörlerden etkilenen ve bozunabilen bir malzemedir ve doğal haldeki odunun -doğal dayanımı çok yüksek olan odunlar hariç- kullanım yeri şartlarına göre değişimle birlikte hizmet ömrü sınırlıdır.

Dünya ekonomisinde özellikle inşaat ve mobilya alanında önemli bir rol oynayan ahşapı, depolama, taşıma, imalat ve hizmet sırasında daha iyi koruma beklentisi güncel kalmaya devam etmektedir (González-Laredo ve ark., 2005). Bunun için 'odun koruma' disiplini içerisinde birçok farklı metot uygulanmaktadır (Sogutlu ve Dongel, 2009). Bu metotlardan birisi emprenyedir. Emprenye, odunun hizmet süresini uzatmak için kullanım alanındaki tehlikelerin etkisini en aza indirmeye çalışan farklı karakterdeki koruyucu maddeleri oduna basınçlı/basınçsız metotlar kullanarak nüfuz ettirmeye çalışmak demektir. Bu anlamda daldırma, püskürtme şeklinde basit teknikler (Aslan ve Özkaya, 2009) kullanılabilir gibi basınç/vakum uygulayan daha gelişmiş teknikler de (Özgenç ve ark., 2013) kullanılabilir. Ayrıca kreozot gibi yağlı karakterdeki emprenye maddeleri (Berkel ve ark., 1977), suda çözünen (Tan ve Peker, 2015; Sivrikaya ve ark., 2017) ya da organik çözücülü emprenye maddeleri (Yalınkılıç ve ark., 1996) ile işlem yapılabilir. Bahsi geçen tüm metot ve emprenye maddelerinin avantajları ve dezavantajları vardır. Sanayide genellikle çözücüsünün çok ucuz (su) olması, kolay uygulanabilmesi ve istenilen etkili performansı sağlaması, taşınma ve depolamasının kolay olması vb. özelliklerinden dolayı suda çözünen emprenye (SÇE) maddeleri tercih edilmekte ve basınçlı sistemlerle uygulanmaktadır. Bu sebeplerden ötürü basınçlı metot kullanılarak SÇE maddelerinin uygulandığı emprenye işlemi bu çalışmanın kapsamını oluşturmaktadır.

Emprenye işlemini etkileyen birçok faktör vardır ve bu faktörler kısaca odunun özellikleri ve emprenye işleminin özellikleri olarak özetlenebilir. Bu faktörlerin detaylı bir şekilde bilinmesi ve ona göre emprenye işlemi uygulanması hem kullanıcı için hem odunun hizmet ömrünün istenilen düzeyde olması için hem de işlemi uygulayan sanayici ya da araştırmacı için çok önemlidir. SÇE maddeleri ile emprenye edilen odunların performansları ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur; fakat odunun emprenye edilebilirliğini etkileyen faktörleri önem seviyesine göre sıralayan bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı SÇE maddeleri ve basınçlı/vakumlu sistem kullanılarak yapılan emprenye işlemini etkileyen faktörlerin bulanık analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ile değerlendirilmesidir.

Odunun emprenye edilmesi, yukarıda bahsedildiği gibi birçok faktörden etkilendiği için esasında birçok kriterli karardır. Çünkü işlemi etkileyen ana ve alt kriterler göz önünde bulundurularak karar verilir. AHP, çok kriterli karar verme tekniklerinden biridir ve Saaty, (1977) tarafından geliştirilmiştir. Bu metotta ana ve alt kriterlerin karşılaştırılması nitel ve nicel veriler kullanılarak yapılır. Yöntem kriterlerin birbiri üzerindeki ağırlığını ortaya koyması, uygulamasının kolay ve pratik olması vb. özelliklerden dolayı birçok çalışma disipliniinde yer bulmuştur. Fakat değerlendirilme yaparken nitel cevapların nicel karşılıkları gerçek rakamlar kullanılarak yapılmaktadır. Gerçek rakamların kullanıldığı zaman ara değerlere ait değerlendirmeler tam anlamıyla yapılamamaktadır. Gerçek rakamların getirdiği belirsizlik dezavantajını ortadan kaldırmak için Zadeh, (1965) tarafından bulanık sayıların kullanımı önerilmiştir. Böylelikle anket katılımcılarının/uzmanların kendilerini daha iyi ifade edebildiği ve daha gerçekçi sonuçlar çıktığı bildirilmiştir.

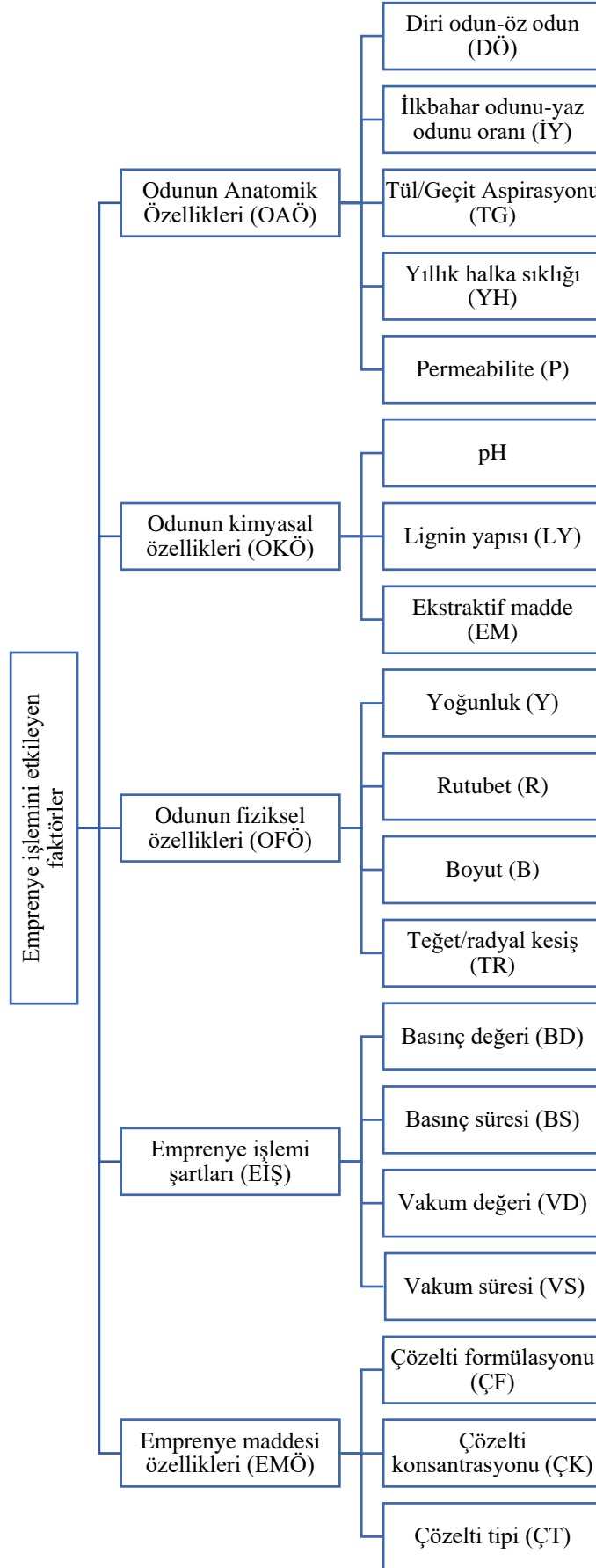
AHP metodu, Kastamonu orman ürünleri endüstrisinde kuruluş yeri seçimi (Üçüncü ve Bayram, 2016), mobilya endüstrisi için optimal yer seçimi (İmren ve ark., 2016), Akdeniz çamları kullanılarak yapılacak ağaçlandırma uygulamalarında yer seçimi (Özel ve ark., 2014) ve eğilme direnci için en uygun örnek seçimi (İmren ve ark., 2016) çalışmalarında kullanılmıştır. Bulanık AHP ise orman yangınlarını modellemesi (Kant-Sharma ve ark., 2012), mobilya fabrikasına stajyer seçimi değerlendirmesi (İlçe, 2018), mantar tüketim tercihlerinin belirlenmesi (Gürgen ve ark., 2018) araştırmalarında uygulanmıştır. Fakat odun koruma endüstrisinde bu tekniğin henüz kullanım alanı bulmadığı görülmüştür. Bu çalışmanın amacı bulanık AHP metodunu odun koruma uygulamalarından birisi olan odun emprenye tekniğine uygulamaktır. Birçok farklı emprenye tekniği olduğundan, kullanımda en fazla yer edinen SÇE maddeleri ile basınçlı/vakumlu emprenye tekniği baz alınarak kriterler belirlenmiştir ve uzman kişiler tarafından değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Bu çalışmanın materyalini analitik hiyerarşi prosesi oluşturmaktadır. Proses hazırlanırken odunun emprenye edilebilirliğini etkileyen faktörler ana kriterler ve alt kriterler olarak bölümlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan

ana ve alt kriterler Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Ana ve alt kriterler.

## 2.2. Metot

### 2.2.1. Bulanık AHP

Bu çalışmada, Buckley, (1985) tarafından geliştirilen bulanık AHP metodu uygulanmıştır. Kullanılan bu yöntemin bazı adımları vardır. Öncelikle uzmanlar, daha önceden belirlenmiş olan analitik hiyerarşi prosesinde yer alan her bir ana ve alt kriteri ikili karşılaştırma yaparak değerlendirmiş ve her kriterin önemini dilsel olarak ifade etmiştir. Dilsel ifadeler ve bulanık önem ölçeği Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Dilsel ifadeler ve bulanık önem ölçeği.

Tanım	Bulanık önem ölçeği	Bulanık karşılıklı ölçeği
<b>Eşit önemli</b>	(1,1,1)	(1/1, 1/1, 1/1)
<b>Biraz önemli</b>	(1,3,5)	(1/5, 1/3, 1/1)
<b>Oldukça önemli</b>	(3,5,7)	(1/7, 1/5, 1/3)
<b>Çok önemli</b>	(5,7,9)	(1/9, 1/7, 1/5)
<b>Kesin önemli</b>	(7,9,9)	(1/9, 1/9, 1/7)

Bulanık karar matrisi, uzmanlardan toplanan veriler sonrası aşağıdaki şekilde elde edilmiştir;

$$\tilde{C}^k = [c_{ij}]_{n \times n} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{c}_{12} & \tilde{c}_{13} & \dots & \tilde{c}_{1n} \\ \tilde{c}_{21} & 1 & \tilde{c}_{23} & \dots & \tilde{c}_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \tilde{c}_{n1} & \tilde{c}_{n2} & \tilde{c}_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$k=1, 2, \dots, p$

$i, j=1, 2, \dots, n$

burada,  $\tilde{C}^k$  k'nıncı uzmanın verdiği bulanık karar matrisini, p uzman sayısını, n kriter sayısını,  $c_{ij}$  i'ninci kriterin j'ninci kritere karşılık gelen bulanık değerini ifade etmektedir. Birden fazla uzman olması durumunda tüm uzmanların cevapları toplanarak sonuç matrisi elde edilir. Bu çalışmada, uzmanların verdiği cevapların bir araya getirilmesinde geometrik ortalama metodu kullanılmıştır. Toplanmış sonuç matrisi aşağıda verilen şekildeki gibidir.

$$\tilde{C} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{c}_{12} & \tilde{c}_{13} & \dots & \tilde{c}_{1n} \\ \tilde{c}_{21} & 1 & \tilde{c}_{23} & \dots & \tilde{c}_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \tilde{c}_{n1} & \tilde{c}_{n2} & \tilde{c}_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

burada,  $\tilde{C}$  toplanmış bulanık sonuç matrisini ifade etmektedir. Bu matris elde edildikten sonra, kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Bulanık kriter ağırlıkları Buckley (1985) metoduna göre yapılmıştır.

$$\tilde{r}_i = (\tilde{c}_{i1} \otimes \tilde{c}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{c}_{in})^{1/n} \quad (3)$$

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2 + \dots + \tilde{r}_n)^{-1} \quad (4)$$

burada, n toplam kriter sayısını;  $\tilde{c}_{in}$ , i. kriterin n. kriterle bulanık karşılaştırma değerini;  $\tilde{r}_i$ , i. kriterin tüm kriterlerle bulanık karşılaştırma değerlerinin geometrik ortalamasını;  $\tilde{w}_i$ , i. kriterin bulanık ağırlığını ifade etmektedir.

Elde edilen bulanık ağırlıkların durulaştırma işlemi aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$w_i = \frac{w_l + w_m + w_u}{3} \quad (5)$$

$w_i^{k,ak}$ , ana kriterin ya da alt kriterin durulaştırılmış ağırlığını  $w_l$ ,  $w_m$  ve  $w_u$  ise sırasıyla üçgensel bulanık sayıları ifade etmektedir. Durulaştırma işleminden sonra veriler normalize edilmiştir. Normalize etme işlemi Eşitlik 6 ya göre yapılmıştır.

$$w_i^N = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (6)$$

$w_i^N$ , i. ana kriterin ya da alt kriterin normalize ağırlığını;  $N$  ise ilgili gruba ait kriter sayısını ifade etmektedir.

Alt kriterlerin kendi aralarında daha iyi bir şekilde irdelenebilmesi için bağıl mutlak ağırlıklar Eşitlik 7 kullanılarak yapılmıştır.

$$(w_i^R)^{ak} = (w_i^N)^k + (w_i^N)^{ak} \quad (7)$$

burada,  $(w_i^R)^{ak}$ , i. alt kriterin bağıl mutlak ağırlığını;  $(w_i^N)^k$  o alt kriteri içeren ana kriterin normalize mutlak ağırlığını;  $(w_i^N)^{ak}$ , i. alt kriterin normalize mutlak ağırlığını ifade etmektedir.

### 2.2.2. Tutarlılık Analizi

Bu çalışmada tutarlılık analizi Bulut et al., (2012) tarafından önerilen merkezi tutarlılık indeksi (Centric Consistency Index- CCI) kullanılarak yapılmıştır. Bu tutarlılık indeksi, geometrik tutarlılık indeksi (GCI) temel alınarak geliştirilmiştir (Crawford ve Williams, 1985; Aguarón ve Moreno-Jiménez, 2003). Klasik AHP yönteminde karar matrislerinin bireysel tutarlılığının ölçmesinde GCI kullanılabilirken bir araya getirilmiş karar matrislerinin tutarlılığın hesaplanmasında CCI önerilmiştir.

$A = (a_{Lij} + a_{Mij} + a_{Uij})_{n \times n}$ , bulanık karar matrisi; ve

$w = [(w_{L1} + w_{M1} + w_{U1}), (w_{L2} + w_{M2} + w_{U2}), \dots, (w_{Ln} + w_{Mn} + w_{Un})]^T$ , A matrisinden türetilen öncelik vektörü olmak üzere geometrik tutarlılık indeksi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$CCI(A) = \frac{2}{(n-1)(n-2)} \sum_{i < j} \left( \log\left(\frac{a_{Lij} + a_{Mij} + a_{Uij}}{3}\right) - \left( \log\left(\frac{w_{Li} + w_{Mi} + w_{Ui}}{3}\right) + \log\left(\frac{w_{Lj} + w_{Mj} + w_{Uj}}{3}\right) \right) \right)^2$$

CCI(A) değeri sifıra eşit olması matrisin tamamen tutarlı olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca Aguarón ve ark., (2003) kriter sayısına göre  $\overline{GCI}$  değerlerini aşağıdaki gibi tanımlamıştır;

$$\overline{GCI} = 0.31, n = 3$$

$$\overline{GCI} = 0.35, n = 4$$

$$\overline{GCI} = 0.37, n > 4$$

Bulunan CCI (A) değerlerinin tanımlanan GCI değerlerinden düşük olması matrisin yeterince tutarlı olduğunu göstermektedir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmadaki katılımcılar Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliğinde ‘odun koruma’ alanında çalışan uzman akademisyenlerdir. Uzmanların ikili karşılaştırmalara verdiği dilsel ifadeler, bulanık sayılara dönüştürülmüştür ve geometrik ortalama metodu ile bir araya getirilmiş ve tek bir matris elde edilmiştir. Uzmanların ana ve alt kriterlere verdiği cevapların bulanık sonuç matrisleri Tablo 2-7 arasında verilmiştir.

Tablo 2. Ana kriterlerin karşılaştırıldığı bulanık sonuç matrisi

	Odunun Anatomik Özellikleri (OAÖ)	Odunun kimyasal özellikleri (OKÖ)	Odunun fiziksel özellikleri (OFÖ)	Emprenye işlemi şartları (EİŞ)	Emprenye maddesi özellikleri (EMÖ)
OAÖ	(1.00,1.00,1.00)	(6.26,8.28,9.00)	(3.27,3.98,4.33)	(0.60,0.72,0.88)	(1.44,2.05,2.50)
OKÖ	(0.11,0.12,0.16)	(1.00,1.00,1.00)	(0.58,0.63,0.72)	(0.14,0.19,0.35)	(0.22,0.30,0.60)
OFÖ	(0.23,0.25,0.30)	(1.38,1.59,1.73)	(1.00,1.00,1.00)	(0.27,0.36,0.61)	(0.46,0.65,0.84)
EİŞ	(1.13,1.38,1.66)	(2.84,5.20,7.10)	(1.64,2.75,3.70)	(1.00,1.00,1.00)	(1.71,1.91,2.08)
EMÖ	(0.40,0.49,0.69)	(1.66,3.27,4.46)	(1.18,1.52,2.16)	(0.48,0.52,0.58)	(1.00,1.00,1.00)

Tablo 3. 'Oduunun Anatomik Özellikleri' alt kriteri için sonuç bulanık matrisi

	Diri odun-öz odun (DÖ)	İlkbahar odunu-yaz odunu oram (İY)	Tül/Geçit Aspirasyonu (TG)	Yıllık halka sıklığı (YH)	Permeabilite (P)
<b>DÖ</b>	(1.00,1.00,1.00)	(5.75,7.83,8.63)	(0.72,0.84,1.00)	(5.43,7.50,8.63)	(0.69,0.69,0.72)
<b>İY</b>	(0.11,0.13,0.17)	(1.00,1.00,1.00)	(0.12,0.14,0.20)	(1.20,1.73,2.17)	(0.11,0.13,0.18)
<b>TG</b>	(1.00,1.18,1.38)	(4.99,7.10,8.28)	(1.00,1.00,1.00)	(5.28,7.40,8.28)	(1.20,1.31,1.38)
<b>Y</b>	(0.11,0.13,0.18)	(0.46,0.58,0.83)	(0.12,0.13,0.19)	(1.00,1.00,1.00)	(0.12,0.14,0.20)
<b>P</b>	(1.38,1.44,1.44)	(5.43,7.50,8.63)	(0.72,0.76,0.83)	(4.99,7.10,8.28)	(1.00,1.00,1.00)

Tablo 4. 'Oduunun kimyasal özellikleri' alt kriteri için sonuç bulanık matrisi

	pH	Lignin yapısı (LY)	Ekstraktif madde (EM)
<b>pH</b>	(1.00,1.00,1.00)	(1.20,1.61,2.02)	(0.24,0.32,0.35)
<b>LY</b>	(0.59,0.81,1.15)	(1.00,1.00,1.00)	(0.14,0.19,0.35)
<b>EM</b>	(2.84,3.10,4.15)	(2.84,5.20,7.10)	(1.00,1.00,1.00)

Tablo 5. 'Oduunun fiziksel özellikleri' alt kriteri için sonuç bulanık matrisi

	Yoğunluk (Y)	Rutubet (R)	Boyut (B)	Teğet/radyal kesiş (TR)
<b>Y</b>	(1.00,1.00,1.00)	(0.19,0.24,0.38)	(0.35,0.40,0.49)	(0.60,0.72,0.88)
<b>R</b>	(2.61,4.10,5.20)	(1.00,1.00,1.00)	(1.42,1.80,2.20)	(1.61,2.02,2.49)
<b>B</b>	(2.05,2.50,2.88)	(0.45,0.55,0.70)	(1.00,1.00,1.00)	(0.59,0.76,1.01)
<b>TR</b>	(1.13,1.38,1.66)	(0.40,0.49,0.62)	(0.98,1.30,1.68)	(1.00,1.00,1.00)

Tablo 6. 'Emprenye işlemi şartları' alt kriteri için sonuç bulanık matrisi

	Basınç değeri (BD)	Basınç süresi (BS)	Vakum değeri (VD)	Vakum süresi (VS)
<b>BD</b>	(1.00,1.00,1.00)	(1.81,3.46,4.65)	(2.50,3.46,3.92)	(2.50,3.46,3.92)
<b>BS</b>	(0.28,0.34,0.55)	(1.00,1.00,1.00)	(1.66,2.60,3.76)	(2.30,3.27,3.76)
<b>VD</b>	(0.25,0.29,0.40)	(0.26,0.38,0.60)	(1.00,1.00,1.00)	(0.94,1.27,1.57)
<b>VS</b>	(0.25,0.29,0.40)	(0.26,0.30,0.43)	(0.64,0.78,1.06)	(1.00,1.00,1.00)

Tablo 7. 'Emprenye maddesi özellikleri' alt kriteri için sonuç bulanık matrisi

	Çözelti formülasyonu (ÇF)	Çözelti konsantrasyonu (ÇK)	Çözelti tipi (ÇT)
<b>ÇF</b>	(1.00,1.00,1.00)	(0.60,0.80,1.19)	(0.46,0.66,1.19)
<b>ÇK</b>	(0.83,1.25,1.66)	(1.00,1.00,1.00)	(0.87,1.20,1.50)
<b>ÇT</b>	(0.83,1.50,2.17)	(0.66,0.83,1.15)	(1.00,1.00,1.00)

Bulanık sonuç matrisleri elde edildikten sonra uzmanların verdiği cevapların tutarlı olup olmadığını test etmek için tutarlılık analizi yapılmıştır ve tüm kriterler için uzman cevaplarının tutarlı olduğu görülmüştür. Tutarlılık analizi sonuçları ve kriter sayısına göre baz alınan eşik değerleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Tutarlılık analizi

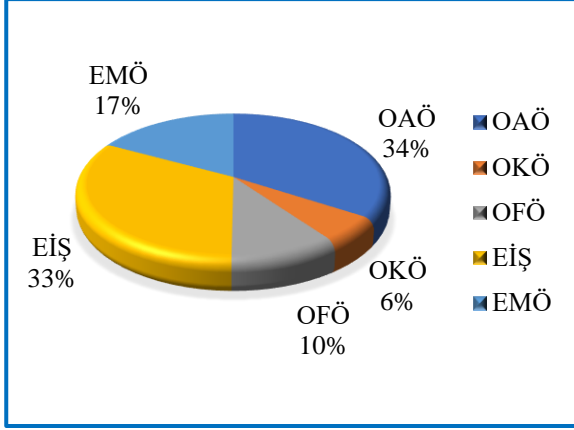
Toplanmış Karar Matrisi	CCI	Eşik değer
<b>Ana Kriterler</b>	0.0122	0.37
<b>OAÖ</b>	0.0108	0.37
<b>OKÖ</b>	0.0039	0.31
<b>OFÖ</b>	0.0145	0.35
<b>EİŞ</b>	0.0371	0.35
<b>EMÖ</b>	0.0066	0.31

İkili karşılaştırmalara verilen cevapların tutarlı olduğu görüldükten sonra bulanık ağırlıklar, normalize edilmiş, göreceli reel değerleri elde edilmiş ve alt kriterlerin dengelenmiş ve normalize ağırlıkları elde edilmiştir. Tüm ana ve alt kriterlerin önem dereceleri Tablo 9’da verilmiştir

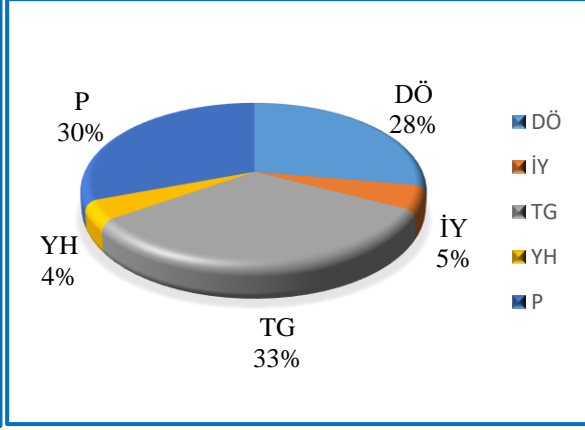
Tablo 9. Tüm ana ve alt kriterlerin önem dereceleri

Ana ve alt kriterler	Bulanık ağırlıklar	Normalize edilmiş ağırlıklar	Göreceli reel değerler	Dengelenmiş ve normalize edilmiş ağırlıklar
<b>Oduunun Anatomik Özellikleri (OAÖ)</b>	<b>(0.23,0.34,0.49)</b>	<b>0.340</b>		
Diri odun-öz odun (DÖ)	(0.21,0.27,0.35)	0.277	0.094	0.115
İlkbahar odunu-yaz odunu oranı (İY)	(0.03,0.04,0.06)	0.049	0.016	0.020
Tül/Geçit Aspirasyonu (TG)	(0.24,0.33,0.42)	0.327	0.111	0.136
Yıllık halka sıklığı (YH)	(0.02,0.03,0.05)	0.040	0.014	0.017
Permaabilite (P)	(0.23,0.30,0.39)	0.307	0.104	0.127
<b>Oduunun kimyasal özellikleri (OKÖ)</b>	<b>(0.03,0.05,0.09)</b>	<b>0.059</b>		
pH	(0.13,0.20,0.28)	0.200	0.012	0.009
Lignin yapısı (LY)	(0.09,0.13,0.23)	0.147	0.009	0.007
Ekstraktif madde (EM)	(0.42,0.65,0.99)	0.653	0.039	0.029
<b>Oduunun fiziksel özellikleri (OFÖ)</b>	<b>(0.07,0.09,0.15)</b>	<b>0.102</b>		
Yoğunluk (Y)	(0.08,0.11,0.17)	0.119	0.012	0.012
Rutubet (R)	(0.29,0.44,0.62)	0.435	0.044	0.043
Boyut (B)	(0.16,0.22,0.32)	0.228	0.023	0.022
Teğet/radyal kesiş (TR)	(0.15,0.21,0.31)	0.218	0.022	0.021
<b>Emprenye işlemi şartları (EİŞ)</b>	<b>(0.20,0.33,0.49)</b>	<b>0.326</b>		
Basınç değeri (BD)	(0.30,0.51,0.76)	0.492	0.160	0.156
Basınç süresi (BS)	(0.16,0.26,0.43)	0.271	0.088	0.086
Vakum değeri (VD)	(0.083,0.12,0.20)	0.128	0.042	0.041
Vakum süresi (VS)	(0.07,0.10,0.17)	0.109	0.036	0.035
<b>Emprenye maddesi özellikleri (EMÖ)</b>	<b>(0.11,0.16,0.26)</b>	<b>0.171</b>		
Çözelti formülasyonu (ÇF)	(0.16,0.26,0.47)	0.282	0.048	0.035
Çözelti konsantrasyonu (ÇK)	(0.23,0.37,0.57)	0.366	0.063	0.046
Çözelti tipi (ÇT)	(0.21,0.35,0.57)	0.353	0.060	0.044

Ana kriterlerin önem dereceleri Şekil 2’de, alt kriterlerin önem dereceleri ise Şekil 3-7’de verilmiştir.



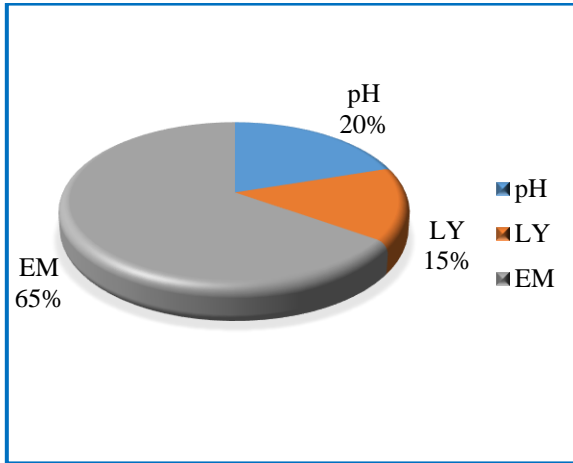
Şekil 2. Ana kriterinin önem dereceleri



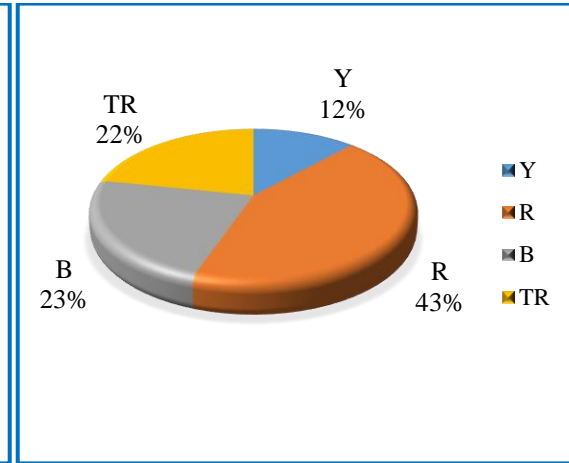
Şekil 3. Odunun anatomik özellikleri alt kriterinin önem dereceleri

Uzmanların verdiği cevaplara göre, odunun empenye edilebilirliğini etkileyen faktörlerin önem dereceleri çoktan aza doğru odunun anatomik özellikleri, empenye işlemi şartları, empenye maddesi özellikleri, odunun fiziksel özellikleri ve odunun kimyasal özellikleri olarak sıralanabilir. Odunun trahe/traheid düzeni, çapının ve mm<sup>2</sup>deki sayılarının odunun empenye edilebilmesi üzerine büyük etkisi olduğu bildirilmiştir (Bozkurt ve Erdin, 1990). Dolayısıyla, empenye edilecek odunun yapısının bilinmesi empenye edilmesi açısından çok önemli bir unsurdur.

Odunun anatomik özellikleri alt kriterlerinin önem dereceleri tül/geçit aspirasyonu, permaabilite, diri odun öz odun, yıllık halka genişliği ve ilkbahar odunu-yaz odunu oranı olarak sıralanabilir (Şekil 3). Empenye işleminde sıvıların odun içerisindeki hareketi büyük oranda geçit zarlarından geçerek oluşmaktadır. Dolayısıyla, geçit zarlarının odunun empenye edilebilirliğine etkisi çok fazladır. Öyle ki, odun içerisindeki sıvıların akış hızının, geçit açıklığının yarıçapının 4. kuvveti ile doğru orantılı olduğu bildirilmiştir (Yıldız, 2003). Belli bir sıvının, bir atmosferik basınç altındaki belli bir hacim içerisinde geçişinin cm<sup>3</sup>/sn olarak ifadesine permaabilite denilmektedir. Dolayısıyla odunun empenye edilebilirliği permaabilite özelliği ile doğru orantılıdır. Ağaç türleri permaabilitelerine göre kolay, orta derece, güç ve çok güç olmak üzere dört grupta incelenir. Öz altında aspirasyon oluşumu ve ekstraktif maddelerin geçit zarı yüzeylerinde birikebilme durumlarından dolayı, diri odundan daha zor empenye edildiği bildirilmiştir (Arsenault, 1973).



Şekil 4. Odunun kimyasal özellikleri alt kriterinin önem dereceleri

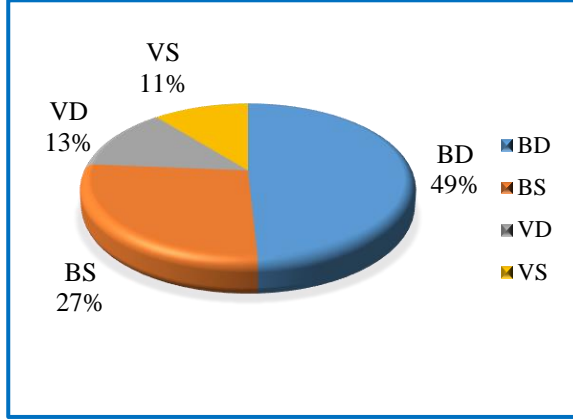


Şekil 5. Odunun fiziksel özellikleri alt kriterinin önem dereceleri

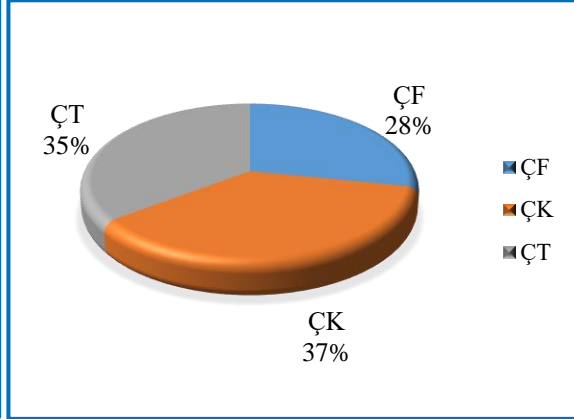
Şekil 4'te görüldüğü üzere, odunun kimyasal özellikleri alt kriterlerinde en önemli ekstraktif madde olarak çıkarken, ph ve lignin yapısı bu sırayı takip etmiştir. Ekstraktif maddelerin geçitleri tıkayarak empenye işlemini güçleştirdikleri raporlanmıştır (Arsenault, 1973). Ağaç malzemenin empenye edilmesinde odunun ph özelliğinin de etkili olduğu; empenye maddesinin daha asidik odunlarda daha hızlı bir şekilde oduna bağlandığı bildirilmiştir (Balaban ve ark., 1999).



Ana kriterler içinde odunun fiziksel özelliğinin önem derecesi düşük gibi görünse de odunun fiziksel özellikleri de odunun emprenyesinde çok önemli etkiye sahiptirler. Özellikle alt kriterler içinde %43 ile en yüksek payı alan odunun rutubet miktarı, emprenye edilebilirliği doğrudan etkilemektedir (Şekil 5). Çünkü odun içerisindeki rutubet miktarı arttıkça boşluk hacmine alınabilecek madde miktarı da azalacaktır. Dolayısıyla odunun lif yoğunluk noktası (LDN) altındaki rutubet derecelerine kadar kurutulup emprenye yapılması önerilmektedir. Ayrıca odunlardaki kesiş yüksekliği ve gövde yönünün bile odunun fiziksel özelliklerinden yoğunluk ve permeabilite üzerinde etkili birer faktör olduğu; odunun yoğunluğu ile emprenye maddesinin retensiyon miktarı arasında zıt yönlü bir ilişki olduğu rapor edilmiştir (Yalçın ve ark., 2018).



Şekil 6. Emprenye işlemi şartları alt kriterinin önem dereceleri



Şekil 7. Emprenye maddesi özellikleri alt kriterinin önem dereceleri

Basınç/vakum uygulayan emprenye sistemlerinde en yaygın olarak boş ve dolu hücre olmak üzere 2 metot kullanılmaktadır. Dolu hücre metodunun amacı tüm hücreyi emprenye maddesi ile doldurmak iken, boş hücre metodunun amacı hücre çeperlerini emprenye maddesi ile doldurmak ve koruma sağlamaktır. Dolayısıyla odunun içerisinde sıkışmış havanın çıkarılması için gerekli olan vakum ve/veya emprenye maddesinin odun hücrelerine nüfuz etmesi için gerekli olan basınç, odunun emprenye edilebilirliğini önemli derecede etkilemektedir. Uzmanların verdiği cevaplara göre emprenye işlemi şartları alt kriterleri basınç değeri, basınç süresi, vakum değeri ve vakum süresi olarak sıralanmıştır (Şekil 6).

Emprenye maddesi özellikleri alt kriterlerinin önem dereceleri birbirlerine çok yakın bulunmuştur (Şekil 7). Çözelti konsantrasyonu arttıkça korumanın da arttığı birçok çalışma ile raporlanmıştır. Ticari olarak kullanılan emprenye maddelerinin formülasyonu birbirinden farklılık göstermektedir. Bir emprenye maddesi için kullanım yerine göre oduna emdirilmesi gereken madde miktarına retensiyon miktarı ( $\text{kg/m}^3$ ) denilmektedir ve retensiyon miktarı aynı odun türü ve aynı emprenye maddesi için kullanım yerine göre değişmektedir (Kartal ve Kantay, 2006). Emprenye çözeltilerinin tipi ile ifade edilmek istenen şey %100 suda çözünabilir formda olması ya da süspansiyon halinde maddeler içermesidir. Süspansiyon haldeki maddelerin geçit zarlarını tıkararak emprenyeyi güçleştirdiği bildirilmiştir (Yıldız, 2003).

Bu çalışmada AHP'de yer alan tüm alt kriterlerin dengelenmiş ağırlıkları ve sıralamaları Tablo 10'da verilmiştir. Ana kriterlerin önem dereceleriyle uyumlu olarak en etkili alt kriterler de odunun anatomik özellikleri ve emprenye işlemi şartları arasından çıkmıştır. Basınç değeri, tül/geçit aspirasyonu, permeabilite, diri-öz odun ve basınç süresi ilk 5 kriter arasında yer almıştır.

Yapılan çalışmanın sonuçları değerlendirilirken, bu hiyerarşik yapının sadece temsili olduğu, her zaman geçerli olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır. Her emprenye işlemi, emprenye metodu, emprenye maddesinin özellikleri, istenilen koruma süresi, kullanım yeri koşulları vb. parametrelere bağlı olarak farklılıklar gösterebilir. Hiçbir ağaç türünün özelliği diğerine benzemediği gibi aynı tür ağaçların özellikleri de farklılıklar gösterebilir. Hatta aynı tür ağacın değişik bölümlerinden alınan parçalarda bile farklı özellikler görülebilir. Bu farklılık ağacın bulunduğu bölge, yetiştirme ortamı ve kalıtsal yapı gibi etkenlerden kaynaklanır. Bu nedenden dolayı ağaç malzemenin yapısını oluşturan çeşitli hücrelerin meydana getirdiği dokuların emprenye olma özellikleri de farklıdır. Bu çalışma bulanık analitik hiyerarşi prosesinin mühendisliğin hemen her alanına uygulanabileceğini göstermek için yapılmıştır. Proseste belirtilen ana ve/veya ara kriterler azaltılabilir, çoğaltılabilir, her türlü değişiklik yapılarak güncellenebilir.

Tablo 10. Tüm alt kriterlerin dengelenmiş ağırlıkları ve sıralamaları

Ana kriterler	Alt Kriterler	Yüzde Ağırlık	Sıralama
OAÖ	DÖ	11.479	4
	İY	1.954	15
	TG	13.555	2
	YH	1.710	16
	P	12.700	3
OKÖ	PH	0.879	18
	LY	0.659	19
	EM	2.857	12
OFÖ	Y	1.172	17
	R	4.298	8
	B	2.247	13
	TR	2.149	14
EİŞ	BD	15.631	1
	BS	8.597	5
	VD	4.103	9
	VS	3.517	11
EMÖ	ÇF	3.517	10
	ÇK	4.616	6
	ÇT	4.396	7

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, odunun empenye edilebilirliğini etkileyen faktörler bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile değerlendirilmiştir. Bunun için öncelikle hiyerarşi prosesi oluşturulmuş ve ikili karşılaştırmaların yer aldığı anketler ahşap koruma alanında uzmanlaşmış öğretim elemanları tarafından cevaplandırılmıştır. Her uzmanın verdiği cevap geometrik ortalama metoduyla bir araya getirilmiştir. Tüm sonuç matrislerinin tutarlı olduğu görüldükten sonra ana ve alt kriterler için önem dereceleri bulunmuştur. Çalışmada uzmanların verdiği cevaplara göre odunun anatomik özellikleri ile empenye işlemi şartları odunun empenye edilebilirliğini etkileyen başlıca faktörler olarak bulunmuştur. Bu kriterlerin önem derecelerinin yüksek çıkması, odunun diğer kimyasal ve fiziksel özellikleri ile empenye maddesi özelliklerinin önemsiz olarak nitelendirilmesini gerektirmez. Her empenye işlemi için bu faktörlerin önem seviyelerinin değişebileceği unutulmamalıdır. Çalışma sonunda ayrıca BAHF uygulamalarının mühendislik disiplininin birçok alanına uygulanabileceği kanaatine varılmıştır.

#### Kaynaklar

1. **Aguarón J, Moreno-Jiménez JM, (2003).** The geometric consistency index: Approximated thresholds. *European Journal of Operational Research*. 147, 137–145. doi: 10.1016/S0377-2217(02)00255-2.
2. **Arsenault R, (1973).** Factors influencing the effectiveness of preservative systems, Preservatives and preservative systems, wood deterioration and its prevention by treatments. Syracuse University Press, 2, pp. 121–178. Available at: <https://ci.nii.ac.jp/naid/10029036067/> (Accessed: 4 March 2019).
3. **Aslan S, Özkaya K, (2009).** Farklı kimyasal maddelerle empenye edilmiş ahşap esaslı levhaların yanma mukavemetinin araştırılması. *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 2,122–140..
4. **Balaban M, Uçar G, Uğur E, (1999).** Önemli Meşe ve Kayın Türlerinin Asiditeleri, *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 23(5),1149–1154.
5. **Berkel A, Bozkurt Y, Göker Y, (1977).** Çeşitli metodlar ve empenye maddeleri ile empenye edilmiş ve tabii haldeki çit direklerinde on yıllık kontrol sonuçları, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 27(1), 1–23.
6. **Bozkurt A, Erdin N, (1990).** Ticarete kullanılan ağaçlarda önemli anatomik özellikler, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 40(2), 19–36.
7. **Buckley JJ, (1985).** Fuzzy hierarchical analysis, *Fuzzy Sets and Systems*. 17(3), 233–247.
8. **Bulut, Duru O, Keçeci T, Yoshida S, (2012).** Use of consistency index, expert prioritization and direct

- numerical inputs for generic fuzzy-AHP modeling: A process model for shipping asset management. Expert Systems with Applications, 39(2), 1911-1923.
9. **Çağatay K, Efe H, Burdurlu E, Kesik Hİ, (2012).** Bazı ağaç malzemelerin vida tutma mukavemetlerinin belirlenmesi', Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 12(2), 321–328.
  10. **Crawford G, Williams C, (1985).** A note on the analysis of subjective judgment matrices, Journal of Mathematical Psychology. 29(4), 387–405.
  11. **González-Laredo FR, Rosales-Castro M, Rocha-Guzmán, NE, Gallegos-Infante, JA, Moreno-Jiménez, MR, Karchesy, JJ, (2005).** Wood preservation using natural products. Madera y Bosques. 21, 63–76.
  12. **Gürgen A, Yıldız S, Yıldız ÜC, (2018).** Determination of Mushroom Consumption Preferences by Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process'. Eurasian Journal of Forest Science, 6(3), 25–34.
  13. **İlçe AC, (2018).** Trainee evaluations and recruitment based on fuzzy AHP: an application in furniture sector, Artvin Coruh University Journal of Forestry Faculty, 19(2), 129–137.
  14. **İmren E, Karayılmazlar S, Kurt R, (2016).** Selection of optimal establishment place using AHP (analytical hierarchy process): an application of furniture industry, Journal of Bartın Faculty of Forestry, 18(2), 48–54.
  15. **İmren E, Can A, Kurt R, Kurban H. (2016).** The Selection of Samples with AHP Method in the Experimental Study: Bending Strength Test Sample. International Forestry Symposium IFS 2016, Kastamonu University, 7-10 December.
  16. **Kartal NS, Kantay R, (2006).** Emprenye maddelerinin piknik masaları ve çocuk oyun alanı elemanlarında kullanımı', İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 56(2), 43–51.
  17. **Özdemir F, Tutuş A, Bal B, (2013).** Yüksek yoğunluklu lif levhanın ısı iletkenliği ve limit oksijen indeksi üzerine yanmayı geciktiricilerin etkisi, Türkiye Ormancılık Dergisi, 14(2), 121–126.
  18. **Özel HB, Karayılmazlar S, Demirci A, (2014).** Bartın Havzasında Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemiyle akdeniz çam türleri (*Pinus brutia* Ten. ve *Pinus pinea* L.) kullanılarak yapılacak ağaçlandırma çalışmaları için yer seçimi', Isparta: II. Ulusal Akdeniz Orman Ve Çevre Sempozyumu, 22–24.
  19. **Özgenç Ö, Yıldız ÜC, Yıldız S, (2013).** Odun yüzeylerinin bazı yeni nesil emprenye maddeleri ve üst yüzey işlemleri ile açık hava etkilerine karşı korunması. Artvin Coruh University Journal of Forestry Faculty. 14(2), 203-215.
  20. **Saaty TL, (1977).** A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of Mathematical Psychology, 15(3), 234–281.
  21. **Kant-Sharma L, Kanga S, Singh Nathawat M, Sinha S, Chandra Pandey P, (2012).** Fuzzy AHP for forest fire risk modeling. Disaster Prevention and Management: An International Journal, 21(2), 160-171.
  22. **Sivrikaya H, Can A, Tümen I, Aydemir D, (2017).** Weathering performance of wood treated with copper azole and water repellents. Wood research, 62(3), 437-450.
  23. **Sogutlu C, Dongel N, (2009).** Emprenye işleminin ağaç malzeme yüzey pürüzlülüğü ve renk değişimine etkisi, Politeknik Dergisi. 12(3), 179–184.
  24. **Tan H, Peker H, (2015).** Barit (BaSO<sub>4</sub>) maddesinin ahşapta emprenye edilebilme özelliği ve yoğunluk üzerine etkisi. Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 27(1), 29–33.
  25. **Üçüncü T, Bayram, ÇB (2016).** Kastamonu orman ürünleri endüstrisinde kuruluş yeri seçimini etkileyen faktörlerin AHP metodu ile incelenmesi. Kastamonu Üni., Orman Fakültesi Dergisi, 16(2), 599–606.
  26. **Yalçın M, Özbayram AK, Akçay Ç, Çiçek E, (2018).** Aralama şiddetinin dar yapraklı dişbudak odununun emprenye edilebilirliğine (retensiyon) ve yoğunluğuna etkisi, Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 19(2), 167–174.
  27. **Yalınkılıç MK, Baysal E, Demirci Z, Peker H, (1996).** Sarıçam, kayın, ladin ve kızılğaç odunlarının çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilebilme özellikleri. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2(2), 147-156.
  28. **Yıldız ÜC, (2003).** Odun Koruma, Basılmamış ders notları, Trabzon.
  29. **Zadeh LA, (1965).** Fuzzy sets. Information and Control. 8(3), 338–353.