

# Mekânsal Planlama ve Karar Problemlerinde CBS ve Bayes Ağlarının Entegrasyonu: Orman Yangın Tehlikesi Örneği

İpek Yılmaz<sup>1\*</sup>, Derya Öztürk<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 55139, Atakum-Samsun.

## Özet

Can ve mal kayıplarına neden olan ve dolayısıyla yıkıcı sosyal ve ekonomik etkilere sahip olabilen afetlerin tehlike değerlendirmesi, mekânsal planlama ve karar problemlerinin önemli bir bileşenidir. Klasik tehlike değerlendirme yöntemleri statiktir. Bu nedenle, yeni bilgi ve koşullar, önceden tanımlanmış tehlike değerlendirmelerine kolayca dâhil edilemez. Bununla birlikte, tehlikeli alanlar ve/veya tehlike dereceleri değişen çevresel koşullar altında zamanla değişiklik gösterir. Afet tehlikesinin dinamik yapısına rağmen, tehlike haritaları yıllarca güncellenmeden kullanılmaktadır. Bu nedenle, bu haritalar yanıtıcı bilgiler içerip hatalı uygulamalara neden olabilmektedir. Bayes Ağları, güncel verileri modele istenen periyotlarda dâhil edebiliyor olması nedeniyle tehlike değerlendirmede etkili bir şekilde kullanılabilir. Bu çalışmada, orman yangın tehlike değerlendirmesi için değişen ve yenilenen verilerin modele dâhil edilebildiği, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Bayes Ağlarının entegrasyonuna dayalı bir model oluşturulmuştur. Çalışmanın kapsamı, genel bir yapı sağlamaktadır ve diğer mekânsal planlama ve karar problemleri için benzer modeller geliştirilebilir.

## Anahtar Sözcükler

Bayes Ağları, CBS, Orman Yangın Tehlikesi, Mekânsal Planlama, Karar Problemi

## Integration of GIS and Bayesian Networks in Spatial Planning and Decision Problems: Forest Fire Hazard Assessment

### Abstract

Hazard assessment of disasters, which can lead to loss of life and property and thus have destructive social and economic impacts, is an important component of spatial planning and decision problems. Classical hazard assessment approaches are static. For this reason, new information and conditions cannot easily be included in the pre-defined hazard assessments. However, hazardous areas and/or degrees of hazard vary with time under changing environmental conditions. Despite the dynamic nature of disaster hazard, hazard maps have been used for years without updating, and these maps give misleading information and cause inaccurate applications. Bayesian Networks can be used effectively in hazard assessment as it can incorporate current data into the model at desired time intervals. In this study, a model based on the integration of Geographical Information Systems (GIS) and Bayesian Networks is presented, in which changing and renewed data can be included in the model for forest fire hazard assessment. The study provides a general structure and similar models can be developed for other spatial planning and decision problems.

### Keywords

Bayesian Networks, GIS, Forest Fire Hazard, Spatial Planning, Decision Problem

## 1.Giriş

Mekânsal planlama, arazinin şu andaki ve gelecekteki durumunu belirleme, arazinin sürdürülebilir kalkınması için uygun ortamı yaratma ve aynı zamanda mekânsal karar problemlerinin çözülmesinde kullanılan karar verme işlemlerinin tamamıdır (Sliuzas vd. 2015). Birçok mekânsal problemin çözümü, karar verme ve planlama süreci, son yıllarda bilişim teknolojilerinin hızlı gelişimine paralel olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojilerinin de gelişmesiyle birlikte daha hızlı, ekonomik ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir (Öztürk vd. 2010). Can ve mal kayıplarının önlenmesinde/azaltılmasında temel bir rol oynayan ve risk analizlerinin ilk adımı olan afet tehlikesinin tanımlanması da mekânsal planlama ve karar problemlerinin önemli bir parçasıdır (Anderson-Berry ve King 2005; Pine 2008; Jonkman vd. 2012; Villa vd. 2015; Xin vd. 2017).

Tehlike haritalarının doğruluğu çok kritik bir konudur. Çünkü afetler ile ilgili açıklanan tüm bilgiler doğrudan ve dolaylı birçok etkiye sahiptir (Annoni vd. 2010). Erken uyarı/tahmin sistemleri daha yüksek donanım, daha yüksek çözünürlüklü veri ve gelişmiş modellere tekniklerini gerektirmesi nedeniyle, yüksek maliyete sahiptir. Bu nedenle, erken uyarı sistemleri her bölgede değil, tehlikeli ve riskli bölgelerde uygulanmaktadır (Pulwarty ve Sivakumar 2014). Bu bağlamda, değişen koşullar altında ortaya çıkan yeni tehlikeli alanlar tanımlanmalıdır. Diğer bir ifadeyle tehlike tanımlama erken uyarı/tahmin sistemlerinin ilk ve en önemli adımı olmasından dolayı (Cameron vd. 2017) yüksek maliyetle kurulan erken uyarı/tahmin sistemlerinin etkin çalışabilmesi için güncel ve doğru tehlike haritalarının oluşturulması bir ön şarttır.

Gerçek dünyadaki birçok problemin karmaşıklığı ve bu problemlerin dinamik bir yapı sergiliyor olması, tehlike tanımlamada değişen koşulları sisteme entegre etme noktasında yetersiz kalan statik yöntemlerin sınırlarını aşma

\* Sorumlu Yazar: Tel: (0362) 3121919 (1015)

E-posta: ipek.yilmaz@omu.edu.tr (İpek Yılmaz), dozturk@omu.edu.tr (Derya Öztürk)

ihtiyacını ortaya çıkarmıştır (Pourret 2008; Villa vd. 2015). Günümüzde tehlike değerlendirmede sıklıkla kullanılan statik yaklaşımlar yalnızca geçmişteki ve/veya haritanın üretildiği andaki mevcut koşullar çerçevesinde tehlikeyi ortaya çıkartmaktadır (Kalanarnia vd. 2009; Xin vd. 2017). Günümüze kadar, dinamik sistemler erken uyarı/tahmin sistemlerinin bir parçası olarak dikkate alınmış ve parametrelerin zamanla değişmesi durumu tehlike ve risk değerlendirmelerinde önemli olmamıştır (Narasimhan 2003; Villa vd. 2015; Xin vd. 2017). Ancak koşulların değişmesiyle tehlike derecelerinde ve/veya tehlikeli alanlarda değişim meydana gelmektedir (Xin vd. 2017). Statik yaklaşımdaki harita revizyonunun zorluğu nedeniyle tehlike haritaları uzun yıllar güncellenememekte ve yanıltıcı değerlendirmelere sebep olabilmektedir (Xin vd. 2017). Değişen koşullara göre güncellenen bir tehlike tanımlama metodolojisi, tehlike haritalarına bağlı olarak gerçekleştirilmesi gereken risk değerlendirme, tehlike ve risk önlemleri planlama ve karar verme ve erken uyarı/tahmin sistemlerinin oluşturulmasında önemli bir faktördür ve ancak dinamik bir yapıyla ortaya konulabilmektedir (Khakzad vd. 2012; Paltrinieri vd. 2013). Çok sayıda faktörün neden olduğu mekânsal problemler de dinamik bir boyuta sahiptir. Bu çalışma kapsamında ele alınan orman yangın tehlikesi de topoğrafik, meteorolojik koşulların ve yanıcı-yakıcı madde koşullarının değişimine bağlı olarak dinamik bir yapı sergilemektedir (OGM, 2017).

Yeni bilgilerin entegrasyonu ile sonuçların güncellendiği dinamik süreç Bayes revizyonuna benzemektedir (McClung ve Schaerer 2006). Bu bağlamda; Bayes Ağları yeni bilgiler ekleyerek tehlike değerlendirme sürecine dinamikler eklemek için kullanılabilir (Straub ve Grêt-Regamey 2006; Eckert vd. 2010; Landuyt vd. 2015; Villa vd. 2015; Xin vd. 2017).

Bu çalışmada, orman yangın tehlikesini zamansal olarak haritalama yaklaşımı üzerinde durulmuştur. Bu bağlamda, mevcut koşulların modele dâhil edilebildiği ve istenilen periyotlarda haritaların güncellenebildiği, CBS ve Bayes Ağına dayalı bir model önerilmiştir.

## 2. Bayes Ağları

İngiliz matematikçi Thomas Bayes (1702-1761) tarafından geliştirilen ve süreç modellemede kullanılabilen Bayes Ağları, koşullu olasılık kavramının genişletilmiş şeklidir (Bajpai 2009). Bir Bayes Ağı, problemin kenar ve düğümleri ile modellenmesi ve bu modelin bir çizge şeklinde gösterilmesi ilkesine dayanan çizge teorisi ve çok sayıda değişken arasındaki olasılık ilişkisini temsil eden ve bu değişkenlerle olasılıksal çıkarım yapan Bayes teoremi (Denklem 1) üzerine kurulu yönlendirilmiş grafiksel modellerdir (Neapolitan 2004; Rebai 2010; Şeker 2015; Yılmaz ve Şahin 2016; Baran Kılıçalan 2018). Bu model, önsel bilgiler yardımıyla sonsal olasılıkların elde edilmesi temeline dayanmaktadır (Saçaklı Saçıldı 2011; Çakır Zeytinoglu 2015).

$$P(X_1 | X_2) = P(X_1) \times P(X_2 | X_1) / P(X_2) \quad (1)$$

$P(X_1 | X_2)$  :  $X_1$ 'in ilişkili olduğu bilinen  $X_2$ 'den sonraki olasılığı (Sonsal)

$P(X_1)$  :  $X_2$ 'den bağımsız olarak  $X_1$ 'in olasılığı (Önsel)

$P(X_2 | X_1)$  : Olabilirlik

$P(X_2)$  : Normalleştirme katsayısı olarak adlandırılır ve formülde ihmal edildiğinde sonsal bilginin, önsel bilgi ile örneklemeden elde edilen bilginin çarpımıyla orantılı olduğu sonucuna varılır.

Ağıdaki her birleşik olasılık değeri, koşullu olasılık cinsinde ifade edildiğinde zincir kuralı meydana gelmektedir. Ağıdaki tüm koşullu olasılık değerlerinin çarpılmasıyla elde edilen zincir kuralı (Denklem 2) Bir Bayes Ağındaki tüm ağa ait olasılık değerinin hesaplanmasında kullanılır (Jensen 1996; Yücebaş 2006).

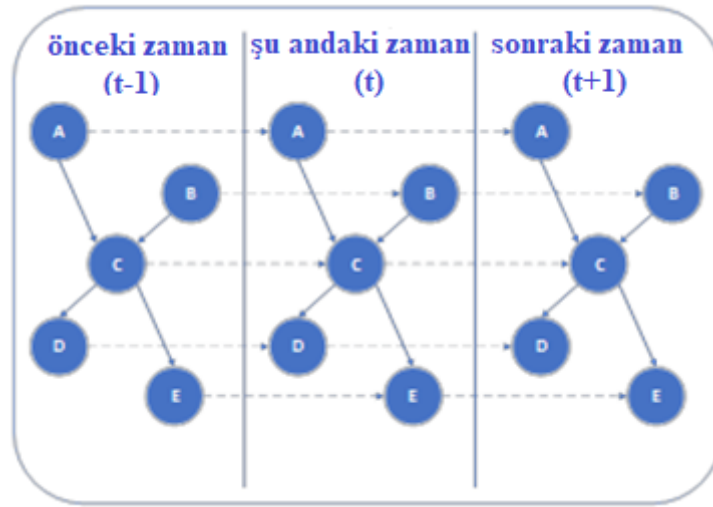
$$\begin{aligned} P(X_1, X_2, \dots, X_n) &= P(X_n | X_1, \dots, X_{n-1}) \times P(X_1, \dots, X_{n-1}) \\ &= P(X_n | X_1, \dots, X_{n-1}) \times P(X_{n-1} | X_1, \dots, X_{n-2}) \times P(X_1, \dots, X_{n-2}) \\ &= \prod_{i=1}^n P(X_i | X_1, \dots, X_{i-1}) \end{aligned} \quad (2)$$

Bayes Ağlarında ağ yapısı, nedensel ilişkiler dikkate alınarak ve veri setinden öğrenilerek oluşturulabilmektedir. Nedensel Bayes Ağlarının bu noktadaki avantajı ele alınan problemleri sadece olasılıksal olarak değil aynı zamanda nedensel ve açıklayıcı bir bakış açısına dayandırmasıdır (Çinicioglu vd. 2015). Bu çalışmada ağ yapısı oluşturulurken nedensel Bayes Ağı kullanılmıştır.

Bir Bayes Ağı rastgele değişkenlerin temsil edildiği düğümler, bu değişkenlerin birbirleriyle olan nedensellik ilişkilerinin temsil edildiği düğüm çiftleri arasındaki yönlendirilmiş kenarlar ve düğümlerin her birine eşlik eden koşullu olasılık tabloları olmak üzere üç temel bileşenden oluşmaktadır (Stassopoulou vd. 1998; Kim ve Jung 2003; Horný

2014; Qiu vd. 2015; Jebb 2017). Bayes Ağları, koşullu olasılık tablolarının varlığıyla süreçleri olasılıksal olarak modellerken aynı zamanda değişkenlerin temsil edildiği düğüm ve değişkenler arasındaki nedensellik ilişkilerinin temsil edildiği yönlendirilmiş kenarlar sayesinde bilgileri grafiksel olarak yapılandırmaktadır (Stassopoulou vd. 1998; Ames ve Anselmo 2008; Çinicioğlu vd. 2013). Değişkenler arasındaki nedensellik ilişkilerini sunmasından dolayı esnek bir yapıya sahip olan Bayes Ağ modelinin temel amacı, yeni kanıtları gözlemledikten sonra değişkenlerin sonsal olasılık dağılımlarının güncellenmesidir (Horný 2014; Stassopoulou vd. 1998). Bir Bayes Ağ yapısının oluşturulması, ele alınan problem çerçevesinde ilgili düğümlerin tanımlanması ve bu düğümler arasındaki nedensellik ilişkilerinin oluşturulmasıyla başlar (Horný 2014).

Dinamik Bayes Ağları, her zaman dilimini ayrı ayrı ifade eden statik bir Bayes Ağ yapısının bulunduğu ve bu ayrı zaman dilimlerindeki değişkenlerin birbiriyle ilişkili olduğu bir Bayes Ağı çeşididir. Dinamik Bayes Ağları, statik Bayes Ağlarının genişletilmiş bir halidir ve zamansal değişimi de dikkate aldığı için süreçleri daha gerçekçi modelleyebilmektedir (Bijsterveld 2013; Kanés vd. 2017). Dinamik bir Bayes Ağının genel yapısı (Hwang vd. 2011) Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1: Dinamik Bayes Ağ yapısı

### 3. Bayes Ağları ile Tehlike Haritalarının Üretilmesi: Orman Yangını Tehlikesi Örneği

Mekânsal planlama ve karar verme süreçlerinin başarısı ve etkinliği, tehlike haritalarının ele alındığı modelin gerçeği en iyi şekilde temsil ediyor olmasıyla ve haritaların yeterli doğrulukta ve güncel olmasıyla doğru orantılıdır. Afet tehlikelerinin dinamik bir yapı sergilemesi nedeniyle tehlike haritalarının üretilmesinde kullanılan klasik yöntemler yetersizdir. Etkili sonuçlar alabilmek için, bu haritalar mümkün olduğunca güncel ve gerçek zamanlı verilere dayanmalıdır (Annoni vd. 2010). Bu nedenle mekânsal problemler için anlık girdilerin modele entegre edilebildiği bu bağlamda da sürecin dinamik yapısını yansıtabildiği CBS ve Bayes Ağlarının entegrasyonuna dayalı bir metodoloji oluşturulması problemlerin çözümünde daha gerçekçi bir bakış açısı kazandıracaktır. Bayes Ağları, kapsamlı niteliksel ve niceliksel verileri tek bir olasılıksal modelde birleştirirken, CBS mekânsal boyutun karmaşıklığını analize dâhil etme kapasitesi ile farklı kaynaklardan elde edilen her türlü verinin entegrasyonu, toplanması, saklanması, analizi işlemlerini gerçekleştirmekte ve sonuç olarak harita çıktısı elde edilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada; ekonomik, ekolojik ve sosyal yönden oldukça olumsuz sonuçlar yaratabilen orman yangınları için tehlike değerlendirmesinin dinamik modellenmesine ve istenilen periyotlarda zamansal tehlike haritalarının yapılabilmesine olanak tanıyacak bir metodoloji ortaya konulmuştur. CBS ve Bayes Ağlarının entegrasyonuna dayalı modelin oluşturulması için değişkenler belirlenmiş, değişkenlerin tanımları/aralıkları oluşturulmuş ve değişkenler arasındaki nedensellik ilişkileri çerçevesinde bir Bayes Ağı kurulmuştur.

#### 3.1. Değişkenlerin Belirlenmesi ve Tanımlanması

Bu çalışmada orman yangınına etkileyen değişkenlerin belirlenmesi amacıyla kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır (Tablo 1). Teorik araştırmalar ışığında Tablo 1'e ilave olarak yeni değişkenler modele eklenmiştir.

Bu çalışmalara bağlı olarak, zamansal orman yangını tehlikesi değerlendirmesi için "sıcaklık", "bağıl nem", "rüzgâr hızı", "radyasyon", "güneşlenme süresi", "yağışsız gün sayısı", "yüksekti", "eğim", "bakı", "arazi örtüsü", "meşcere

kapalılığı”, “gelişme çağı”, “yollara olan mesafe”, “yerleşim yerlerine olan mesafe” ve “enerji nakil hatlarına olan mesafe” değişkenlerine karar verilmiştir.

Değişkenlerin tanımlanmasının ardından, değişkenlerin tanımları/aralıkları Bayes Ağı için koşullu olasılıkları hesaplamak için belirlenmiştir. Değişkenlerin tanımları/aralıkları Tablo 2’de verilmiştir. Koşullu olasılıklar için gerekli olan değişkenlerin tanımları/aralıkları literatür araştırmasına dayanarak belirlenmiştir.

Tablo 1: Orman yangınında etkili olan değişkenler

	Sıcaklık	Bağıl Nem	Rüzgar Hızı	Radyasyon	Yağış	Yükselti	Eğim	Bakı	Arazi Örtüsü	Bitki Örtüsü Yoğunluğu/ Meşcere Kapalılığı	Yollara Olan Mesafe	Yerleşim Yerlerine Olan Mesafe
Chuvieco ve Congalton, 1989						x	x	x	x	x	x	
Erten vd, 2002							x	x	x		x	x
Jaiswal vd, 2002							x		x		x	x
Fiorucci vd, 2004	x	x	x		x	x	x	x	x			
Setiawan vd, 2004						x	x	x	x		x	
Yin vd, 2004						x	x	x	x			x
Sowmya ve Somashekar, 2010							x		x		x	x
Gai vd, 2011	x	x	x			x	x	x	x			x
Kant Sharma vd, 2012						x	x	x	x		x	x
Malik vd, 2013						x	x	x	x	x	x	x
Teodoro ve Duarte, 2013						x			x			
Atesoglu, 2014						x	x	x	x		x	x
Mohammadi vd, 2014	x				x	x	x					x
Pourghasemi, 2015	x		x		x	x	x	x	x	x	x	x
Pourghasemi vd, 2016	x		x			x	x	x	x	x		
Esen ve Avcı, 2018	x		x		x	x	x	x	x	x	x	x
Ahmad ve Goparaju, 2019	x	x	x	x	x							
Gheshlaghi, 2019	x		x		x	x	x	x	x	x	x	x
Ljubomir vd, 2019	x		x		x	x	x	x		x	x	x
Zhu vd, 2019	x	x	x		x							

Tablo 2: Değişkenler ve koşullu olasılıkların hesaplanması için değişkenlerin durumu

Değişken	Durum Sayısı	Durumlar	Referans
<b>Sıcaklık</b> (maksimum günlük sıcaklığın uzun yıllar ortalaması)	5	<20°C	EİGM, 2018; Esen ve Avcı, 2018
		20-25°C	
		25-30°C	
		30-35°C	
		>40°C	
<b>Bağıl Nem</b> (minimum günlük bağıl nemin uzun yıllar ortalaması)	4	<20%	Gai vd, 2011
		20-45%	
		45-70%	
		>70%	
<b>Rüzgâr Hızı</b> (maksimum günlük rüzgar hızının uzun yıllar ortalaması)	5	<10 km/saat	Esen ve Avcı, 2018
		10-20 km/saat	
		20-30 km/saat	
		30-40 km/saat	
		>40 km/saat	

Tablo 2: Değişkenler ve koşullu olasılıkların hesaplanması için değişkenlerin durumu (devam)

<b>Radyasyon</b> (maksimum günlük radyasyonun uzun yıllar ortalaması)	6	<1 kWh/m <sup>2</sup> -gün	EİGM, 2018
		1-2 kWh/m <sup>2</sup> -gün	
		2-3 kWh/m <sup>2</sup> -gün	
		3-4 kWh/m <sup>2</sup> -gün	
		4-5 kWh/m <sup>2</sup> -gün	
		>5 kWh/m <sup>2</sup> -gün	
<b>Güneşlenme Süresi</b> (maksimum günlük güneşlenme süresinin uzun yıllar ortalaması)	9	<1 saat	MGM, 2017; Kincay, 2017
		1-2 saat	
		2-3 saat	
		3-4 saat	
		4-5 saat	
		5-6 saat	
		6-7 saat	
		7-8 saat	
		>8 saat	
<b>Yağışsız Gün Sayısı</b> (peş peşe maksimum yağışsız gün sayısının uzun yıllar ortalaması)	6	<3 gün	Chen vd, 2014
		3-5 gün	
		5-7 gün	
		7-10 gün	
		10-15 gün	
		>15 gün	
<b>Yükselti</b>	6	<500 m	Esen ve Avcı, 2018
		500-1000 m	
		1000-1500 m	
		1500-2000 m	
		2000-2500 m	
		>2500 m	
<b>Eğim</b>	6	<5°	Yin vd, 2004; Dlamini, 2010; Gheshlaghi, 2019
		5-15°	
		15-25°	
		25-35°	
		35-45°	
		>45°	
<b>Baki</b>	9	K	Pradhan vd, 2007
		G	
		D	
		B	
		KD	
		KB	
		GD	
		GB	
		Düz	
<b>Arazi Örtüsü</b>	6	Orman (İbrelî)	CBS Genel Müdürlüğü, 2012
		Orman (Yapraklı)	
		Orman (Karışık)	
		Çalı ve/veya otsu bitki alanları	
		Bitki örtüsü olmayan veya çok az bitki örtülü	
		Diğer alanlar	

Tablo 2: Değişkenler ve koşullu olasılıkların hesaplanması için değişkenlerin durumu (devam)

<b>Meşcere Kapallığı</b>	4	B (<%10)	OGM, 2017
		1 (%11-%40)	
		2 (%40-%70)	
		3 (>%70)	
<b>Gelişme Çağı</b>	9	a (0-8 cm)	OGM, 2017
		ab (0-8 cm ve 8-20 cm)	
		b (8-20 cm)	
		bc (8-20 cm ve 20-36 cm)	
		c (20-36 cm)	
		cd (20-36 cm ve 36-52 cm)	
		d (36-52 cm)	
		de (36-52 cm ve >52 cm)	
e (>52 cm)			
<b>Yollara Olan Mesafe</b>	5	<100 m	Özşahin, 2014; Pourghasemi, 2015
		100-250 m	
		250-500 m	
		500-750 m	
		>750 m	
<b>Yerleşim Yerlerine Olan Mesafe</b>	5	<500 m	Atesoglu, 2014; Esen ve Avci, 2018
		500-1000 m	
		1000-1500 m	
		1500-2000 m	
		>2000 m	
<b>Enerji Nakil Hatlarına Olan Mesafe</b>	11	<30 m	Li ve Lin, 2019
		30-60 m	
		60-90 m	
		90-120 m	
		120-150 m	
		150-180 m	
		180-210 m	
		210-240 m	
		240-270 m	
		270-300 m	
		>300 m	

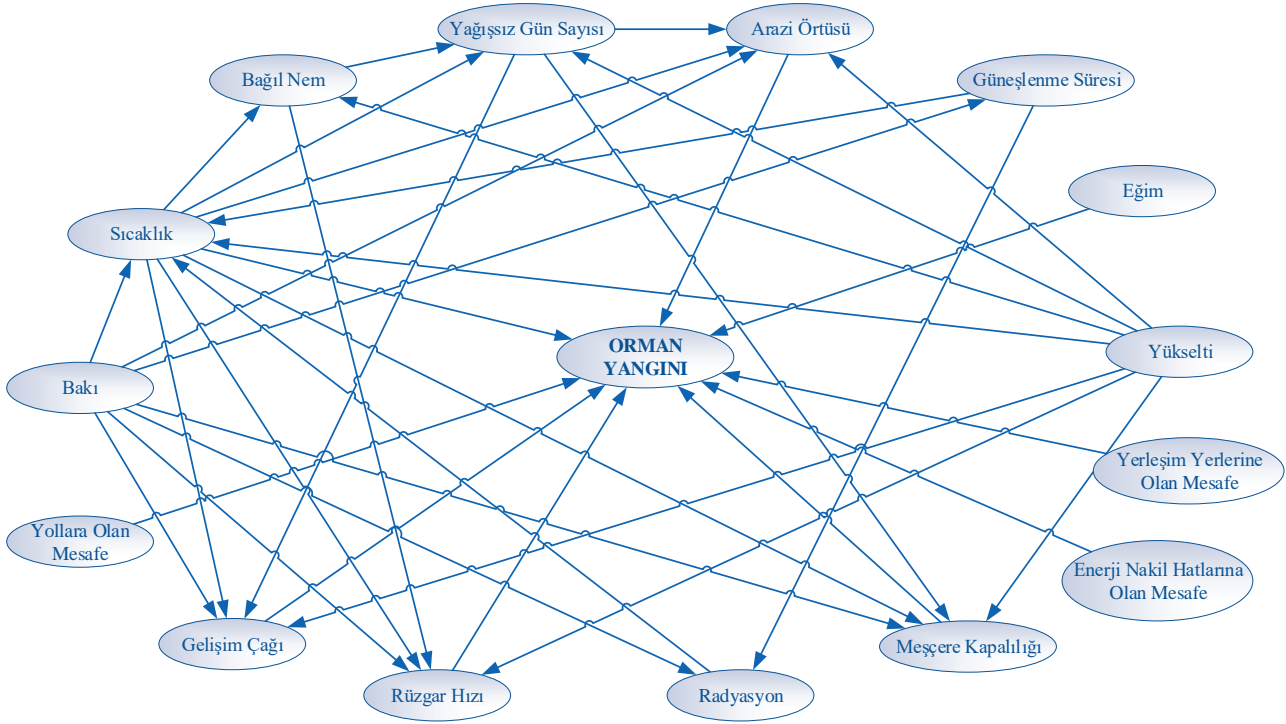
### 3.2. Bayes Ağı Modelinin Oluşturulması

Değişkenlerin belirlenmesi ve tanımlanmasının ardından değişkenler arasındaki nedensellik ilişkileri dikkate alınarak Bayes Ağı modeli oluşturulmuştur. Şekil 2, orman yangın tehlike değerlendirmesi için oluşturulan Bayes Ağı modelini göstermektedir. Oluşturulan Bayes Ağı, orman yangın tehlikesini etkileyen faktörlerden oluşan düğümleri ve bu faktörler arasındaki nedensellik ilişkilerini ifade eden yönlendirilmiş kenarları göstermektedir.

Orman yangın tehlikesi için oluşturulan Bayes Ağı, zincir kuralına göre formülize edildiğinde Denklem 3 elde edilmektedir. Formülde kullanılan OY, orman yangını; S, sıcaklığı; BN, bağıl nemi; RH, rüzgâr hızını; R, radyasyonu; GS, güneşlenme süresini; YGS, yağışsız gün sayısını; Y, yükseltiyi; E, eğimi; B, bakıyı; AÖ, arazi örtüsünü; GÇ, gelişim çağını; MK, meşcere kapallığını; YoM, yollara olan mesafeyi; YeM, yerleşim yerlerine olan mesafeyi; EM, enerji nakil hatlarına olan mesafeyi temsil etmektedir.

$$\begin{aligned}
 &P(OY, BN, YGS, AÖ, GS, E, Yü, YeM, EM, MK, R, RH, GÇ, YoM, B, S) = \\
 &P(S|B, R, Yü, GS) \times P(BN|S, Yü) \times P(RH|B, S, BN, Yü) \times P(R|B, GS) \times P(GS|B) \times P(YGS|BN, S, Yü) \times \\
 &P(Yü) \times P(E) \times P(B) \times P(AÖ|YGS, S, B, Yü) \times P(MK|B, S, YGS, Yü) \times P(GÇ|B, S, YGS, Yü) \times P(YoM) \times P(YeM) \times \\
 &P(EM) \times P(OY|S, AÖ, E, YeM, EM, MK, RH, GÇ, YoM)
 \end{aligned}$$

(3)



Şekil 2: Orman yangın tehlikesi için oluşturulan Bayes Ağı

## Sonuçlar

Bu çalışmada, çok sayıda değişkenin etkisiyle gerçekleşen, ekonomik, ekolojik ve sosyal açıdan olumsuz sonuçlara neden olabilen orman yangınları için tehlike değerlendirmesi örneğinde CBS ve Bayes Ağlarının entegrasyonuna dayalı bir metodoloji ortaya konulmuştur. Önerilen metodolojide, CBS ve Bayes Ağlarının entegrasyonu ile mekânsal problemlerin olasılıksal analizinin gerçekleşmesi sağlanmakta ve modelin dinamik yapısı sayesinde güncellemeler ve anlık koşullar modele dâhil edilerek istenilen periyotlarda tehlike haritası üretilebilmektedir. Çalışmanın kapsamı orman yangın tehlikesi ile sınırlandırılmakla birlikte farklı mekânsal planlama ve karar problemleri için de benzer bir Bayes Ağ yapısı modeli uyarlanabilir.

## Kaynaklar

- Ahmad F., Goparaju L., (2019). *Analysis of forest fire and climate variability using Geospatial Technology for the State of Telangana, India*. Environmental & Socio-economic Studies, doi: 10.2478/environ-2019-0003.
- Ames D. P., Anselmo A., (2008), *Bayesian Network Integration with GIS*, Encyclopedia of GIS'in İçinde, (Shekar S., Xiong H., Eds.) Springer US, ss. 39-45.
- Anderson-Berry L., King D., (2005), *Mitigation of the impact of tropical cyclones in Northern Australia through community capacity enhancement*, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 10(3), 367-392.
- Annoni A., Craglia M., de Roo A., San-Miguel J., (2010), *Earth observations and dynamic mapping: Key assets for risk management*, Geographic Information and Cartography for Risk and Crisis Management, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography'nin İçinde, (Konecny M., Zlatanova S., Bandrova T.L., Eds.), Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, ss.3-22.
- Atesoglu A. (2014). *Forest fire hazard identifying. Mapping using satellite imagery-geographic information system and analytic hierarchy process: Bartın, Turkey*. Journal of Environmental Protection and Ecology, 15, 715-725.
- Bajpai N., (2009), *Business Statistics*, Pearson Education, United Kingdom, ss. 794.
- Baran Kılıçalan M., (2018), *Hanehalkı işgücü araştırma verileri ile veri madenciliği yöntemlerinin uygulanması ve modellerin karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Bijsterveld A. S., (2013), *The application of Bayesian networks in the Domain of Theft Alarm Analysis*. Yüksek Lisans Tezi, Radboud University, Netherlands.
- Cameron I., Mannan S., Németh E., Park S., Paman H., Rogers W., Seligmann B., (2017), *Process hazard analysis, hazard identification and scenario definition: Are the conventional tools sufficient, or should and can we do much better?.* Process Safety and Environmental Protection. doi: 10.1016/j.psep.2017.01.025
- CBS Genel Müdürlüğü. (2012), *Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Standartlarının Belirlenmesi Projesi: TUCBS.AO Arazi Örtüsü Veri Teması*, TUCBS Temel Veri Temaları Gerekçesi Analizi, Ankara, 342ss.
- Chen F., Fan Z., Niu S., Zheng J. (2014). *The influence of precipitation and consecutive dry days on burned areas in Yunnan Province, Southwestern China*. Advances in Meteorology, doi: 10.1155/2014/748923.

- Chuvieco E., Congalton R. G. (1989). *Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping*. Remote sensing of Environment, doi: 10.1016/0034-4257(89)90023-0
- Çakır Zeytinoğlu F., (2015), *Bayesyen İstatistik*. Yalın Yayıncılık, İstanbul, 212ss.
- Çinicioğlu E. N., Atalay M., Yorulmaz H., (2013), *Trafik kazaları analizi için Bayes Ağları modeli*. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 6:2, 41-52ss.
- Çinicioğlu E.N., Ekici Ş.E., Ülengin F., (2015), *Bayes ağ yapısının oluşturulmasında farklı yaklaşımlar: Nedensel Bayes ağları ve veriden ağ öğrenme*, Sn. Prof. Dr. Halil Sarıaslan'a Armağan Kitabı'nın İçinde, Siyasal Kitabevi, Ankara, ss.267-284.
- Dlamini W. M. (2010), *A Bayesian belief network analysis of factors influencing wildfire occurrence in Swaziland*. Environmental Modelling & Software, doi: 10.1016/j.envsoft.2009.08.002.
- Eckert N., Naaim M., Parent E., (2010), *Long-term avalanche hazard assessment with a Bayesian depth-averaged propagation model*, Journal of Glaciology, doi:10.3189/002214310793146331.
- EİGM, (2018), Güneş Enerji Potansiyel Atlası, <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/> [Erişim 10 Ekim 2019]
- Erten E., Kurgun, V., Musaoglu N., (2002). *Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS: a case study*. XXth Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing'in İçinde, İstanbul, Türkiye, ss. 222-230.
- Esen F., Avcı V. (2018), *Forest fire susceptibility analysis of Kahramanmaraş Province*, Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, doi: 10.29029/busbed.437858
- Fiorucci P., Gaetani F., Minciardi R. (2004). *An integrated system for the forest fire dynamics hazard assessment over a wide area*, 2nd International Congress On Environmental Modelling And Software'in İçinde, Osnabrück, Germany.
- Gai C., Weng W., Yuan H. (2011), *GIS-based forest fire risk assessment and mapping*. 2011 Fourth International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, doi: 10.1109/CSO.2011.140
- Gheshlaghi H. A. (2019). *Using GIS to develop a model for forest fire risk mapping*. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, doi: 10.1007%2Fs12524-019-00981-z.
- Horný M., (2014), *Bayesian networks*. Boston University School of Public Health, Boston, ss. 15.
- Hwang J.W., Lee Y.S., Cho S.B., (2011), *Structure evolution of dynamic Bayesian network for traffic accident detection*. Evolutionary Computation (CEC), 2011 IEEE Congress, doi: 10.1109/CEC.2011.5949815.
- Jaiswal R. K., Mukherjee S., Raju K. D., Saxena R., (2002). *Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, doi: 10.1016/S0303-2434(02)00006-5
- Jebb A. T., (2017), *Bayesian statistics*. The SAGE Encyclopedia of Industrial and Organizational Psychology'nin İçinde, (Rogelberg S.G., Ed.), SAGE Publications, Inc.
- Jensen F. V., (1996), *Bayesian Networks Basics*. AISB quarterly, 94, 9-22.
- Jonkman N.S., Gerritsen H., Marchand M., (2012), *Coastal storm*, Handbook of Hazards and Disaster Risk Reduction and Management'in İçinde, (Wisner B., Gaillard J.C., Kelman I., Eds.), Taylor & Francis, New York, ss. 220-231.
- Kalantarnia M., Khan F., Hawboldt K., (2009), *Dynamic risk assessment using failure assessment and bayesian theory*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, doi: doi.org/10.1016/j.jlp.2009.04.006.
- Kanes R., Marengo, M. C. R., Abdel-Moati H., Cranefield J., Véchet L., (2017), *Developing a framework for dynamic risk assessment using Bayesian networks and reliability data*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, doi: 10.1016/j.jlp.2017.09.011.
- 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, doi: 10.1108/09653561211219964.
- Khakzad N., Khan F., Amyotte P., (2012), *Dynamic risk analysis using bow-tie approach*. Reliability Engineering & System Safety, doi: 10.1016/j.ress.2012.04.003.
- Kıncay O., (2017), Güneş Enerjisi, <http://www.solar-academy.com/menus/Gunes-Enerjisi.021720.pdf> [Erişim 11 Ekim 2019]
- Kim I. C., Jung Y. G., (2003), *Using Bayesian networks to analyze medical data*. International Workshop on Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Landuyt D., Van der Biest K., Broekx S., Staes J., Meire P., Goethals P.L.M.A., (2015), *GIS plug-in for Bayesian belief networks: Towards a transparent software framework to assess and visualise uncertainties in ecosystem service mapping*, Environmental Modelling and Software, doi:10.1016/J.ENVSOFT.2015.05.002.
- Li X., Lin Y. (2019). *Do High-Voltage Power Transmission Lines Affect Forest Landscape and Vegetation Growth: Evidence from a Case for Southeastern of China*. Forests, doi: 10.3390/f10020162.
- Ljubomir G., Pamučar D., Drobnjak S., Pourghasemi, H. R. (2019). *Modeling the spatial variability of forest fire susceptibility using geographical information systems and the analytical hierarchy process*. Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences'in İçinde, (Pourghasemi H. R., Gokceoglu C. Eds.), Elsevier, ss. 337-369.
- Malik T., Rabbani G., Farooq M. (2013), *Forest fire risk zonation using remote sensing and GIS technology in Kansrao Forest Range of Rajaji National Park, Uttarakhand, India*. International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS, 2(1), 86-95.
- McClung D., Schaerer P.A., (2006), *The Avalanche Handbook*, Mountaineers Books, Seattle, Wash, ss. 342.
- MGM, (2017), <https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/Turkiye-Gunluk-Guneslenme-Suresi.pdf> [Erişim 15 Ekim 2019]
- Mohammadi F., Bavaghar M. P., Shabani N. (2014), *Forest fire risk zone modeling using logistic regression and GIS: An Iranian Case Study*. Small-scale Forestry, doi: 10.1007/s11842-013-9244-4.
- Narasimhan B.V.A., (2003), *Early and dynamic warning: An integrated approach to drought management*, Early Warning Systems for Natural Disaster Reduction'in İçinde, (Zschau J., Küppers A., Eds.), Springer, Berlin-Heidelberg, Berlin, ss.357-365.
- Neapolitan R. E., (2004), *Learning Bayesian Networks*. Vol. 38. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- OGM, (2017), Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planlarının Düzenlenmesine Ait Usul ve Esaslar, <https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/Tebliğler/Ekosistem%20Tabanlı%20Fonksiyonel%20Orman%20Amenajman%20Planları%20C4%B1n%20Düzenlenmesine%20Ait%20Usul%20ve%20Esaslar.pdf> [Erişim 17 Ekim 2019]
- Özşahin E. (2014). *Forest fire susceptibility analysis using GIS and AHP: The Case of Antakya Forestry Operation Directorate*. Route Educational and Social Science Journal, doi: 10.33904/ejfe.579075.



- Öztürk D., Şişman A., Maraş E. E., Şişman Y., (2010), *Samsun-Atakum'da arazi kullanımı/arazi örtüsündeki değişimlerin uzaktan algılama ve CBS ile belirlenmesi*. VI. Ulusal Coğrafya Sempozyumu'nun İçinde, Ankara, Türkiye, ss. 21-29.
- Paltrinieri N., Tugnoli A., Buston J., Wardman M., Cozzani V., (2013). *Dynamic procedure for atypical scenarios identification (DyPASI): a new systematic HAZID tool*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, doi: 10.1016/j.jlp.2013.01.006
- Pine J.C., (2008), *Natural hazard analysis: Reducing the impact of disasters*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, ss.304.
- Pourghasemi H. R., (2015). *GIS-based forest fire susceptibility mapping in Iran: a comparison between evidential belief function and binary logistic regression models*. Scandinavian journal of forest research, doi: 10.1080/02827581.2015.1052750
- Pourghasemi H. R., Beheshtirad, M., Pradhan, B., (2016). *A comparative assessment of prediction capabilities of modified analytical hierarchy process (M-AHP) and Mamdani fuzzy logic models using Netcad-GIS for forest fire susceptibility mapping*. Geomatics, Natural Hazards and Risk, doi: 10.1080/19475705.2014.984247
- Pourret O., (2008), *Bayesian networks: A practical guide to applications*.1-13. John Wiley & Sons.
- Pradhan B., Dini Hairi Bin Suliman M., Arshad Bin Awang, M., (2007). *Forest fire susceptibility and risk mapping using remote sensing and geographical information systems (GIS)*. Disaster Prevention and Management: An International Journal, doi: 10.1108/09653560710758297
- Pulwarty R.S., Sivakumar MV.K., (2014), *Information systems in a changing climate: Early warnings and drought risk management, Weather and Climate Extremes*, doi: 10.1016/j.wace.2014.03.005.
- Qiu G. Q., Huang S., Zhu L. L., Su X. H., Chen Y., (2015), *Risk assessment of multi-state Bayesian Network in an oil gathering and transferring system*, Procedia Engineering, doi: 10.1016/j.proeng.2015.12.320.
- Rebai A., (2010), *Bayesian Network*. Croatia, Rijeka: Sciyo.
- Saçaklı Saçıldı İ., (2011), *Gelişmiş ve gelişmekte olan piyasalarda hisse senedi getiri volatilitelerinin bayes yaklaşımı ile analizi*. Doktora Tezi. Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Setiawan I., Mahmud A. R., Mansor S., Mohamed Shariff A. R., Nuruddin A. A., (2004). *GIS-Grid-Based And Multi-Criteria Analysis For Identifying and Mapping Peat Swamp Forest Fire Hazard in Pahang, Malaysia*. Disaster Prevention and Management: An International Journal, doi: 10.1108/09653560410568507.
- Sluzas R., Brussel M., Alam M., (2015), *Spatial Planning and Hazard Data Requirements*, <http://www.charim.net/methodology/71> [Erişim 20 Ekim 2019]
- Sowmya S. V., Somashekar R. K. (2010). *Application of Remote Sensing And Geographical Information System in Mapping Forest Fire Risk Zone At Bhadra Wildlife Sanctuary, India*. Journal of Environmental Biology, 31(6), 969.
- Stassopoulou A., Petrou M., Kittler J., (1998), *Application of a Bayesian network in a GIS based decision making system*. International Journal of Geographical Information Science, doi: 10.1080/136588198241996.
- Straub D., Grêt-Regamey A. (2006), *A Bayesian probabilistic framework for avalanche modelling based on observations*. Cold Regions Science and Technology, doi:10.1016/j.coldregions.2006.08.024.
- Şeker S. E., (2015). *Çizge teorisi (graph theory)*. YBS Ansiklopedi, 17-29. [http://ybsansiklopedi.com/wp-content/uploads/2015/05/cizge\\_teorisi.pdf](http://ybsansiklopedi.com/wp-content/uploads/2015/05/cizge_teorisi.pdf) [Erişim 11 Ekim 2019]
- Teodoro A. C., Duarte L. (2013). *Forest fire risk maps: a GIS open source application—a case study in Norwest of Portugal*. International Journal of Geographical Information Science, doi: 10.1080/13658816.2012.721554.
- Villa V., Paltrinieri N., Cozzani V., (2015), *Overview on dynamic approaches to risk management in process facilities*, Chemical Engineering Transactions, doi:10.3303/CET154341.
- Xin P., Khan F., Ahmed S., (2017), *Dynamic hazard identification and scenario mapping using Bayesian network*, Process Safety and Environmental Protection, doi:10.1016/j.psep.2016.11.003.
- Yılmaz M. O., Şahin A., (2016), *Yapısal güvenilirlik değerlendirmesi ve Bayesyen Ağlar ile güncellenmesi*. Uluslararası Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS'16), Karabük, Türkiye, ss. 181-190.
- Yin H. W., Kong F. H., Li X. Z. (2004). *RS and GIS-based forest fire risk zone mapping in Da Hinggan Mountains*. Chinese geographical science, 14(3), ss. 251-257.
- Yücebaş S. C., (2006), *Hipokrat-I: Bayes ağı tabanlı tıbbi teşhis destek sistemi*. Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Ankara.
- Zhu H., Gao D., Zhang S. (2019). *A Perceptron Algorithm for Forest Fire Prediction Based on Wireless Sensor Networks*, Journal on Internet of Things, doi: 10.32604/jiot.2019.05897