
SERİ **B**

CİLT **35**

SAYI **2**

1985

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

ORMAN FAKÜLTESİ
DERGİSİ



YANGIN DAVRANIŞLARINI BELİRLEYEN BAZI ETKENLER VE KANTİTATİF YAKLAŞIMLAR

Yrd. Doç. Dr. R. Tamer ÖYMEN¹

Kı s a Ö z e t

Orman yangını, canlı ve cansız pek çok çevresel etkenin etkisiyle oluşan ve gelişen kompleks bir olaydır. Yangın davranışları özellikle yanıcı madde karakteristikleri, rüzgar, eğim ve nem gibi etkenlere bağlı olarak değişim gösterir.

Gerçeğe yakın yangın davranış tahminleri gerek yangın savaş organizasyonu oluşturulması, gerekse yangınla savaş sırasında uygulayıcıya büyük ölçüde yardımcı olur. Bu nedenle son yıllarda yangın davranışlarını belirleyen etkenler ve bunların kantitatif olarak ifade edilmesine yönelik yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalarla, yangın davranışlarını tahminde kullanılmak üzere reaksiyon yoğunluğu, rüzgar ve eğim etkeni, yangın yayılma hızı ve Byram yangın hattı yoğunluğu gibi kantitatif olarak ifade edilebilen kavramlar geliştirilmiştir.

GİRİŞ

Orman yangınları genelde birbirlerine pek benzemezler. Çünkü yangın davranışı bağımsız bir olay değil, yer aldığı ortamın kompleks bir ürünüdür. Ortamın sahip olduğu yangın potansiyelini ise onu oluşturan ve etkisinde bulunduran canlı, cansız tüm öğelerin etkileşimleri belirlemektedir. Ayrıca yangın davranışları fiziksel kurallara da uygunluk sağlamak zorundadır.

Yangın davranışlarının araştırılması ile bu davranışları belirleyen etkenler ortaya konulmuş ve matematik eşitliklerle ifade edilmeye çalışılmıştır. Bu etkenlere dayanarak yapılacak yangın davranış tahminleri, yangın savaş organizasyonunun oluşturulmasında ve savaş sırasında çok büyük önem taşımaktadır. Yangın çıktıktan sonra nasıl gelişeceği ve yangınla savaşta görevli personelin nerelerden ne şekilde müdahale edeceği yangın davranışlarının doğru olarak veya en az hatalı olarak tahmin edilmesiyle mümkün olacaktır. Burada yangın davranışlarını belirleyen etkenlerden bazıları gerek nitelik ve gerekse çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen ve yangın davranışlarındaki etkilerini ortaya koyan formüllerle açıklanmaya çalışılmıştır.

¹ İ.Ü. Orman Fakültesi, Orman Entomolojisi ve Koruma Anabilim Dalı.

Reaksiyon yoğunluğu

Reaksiyon yoğunluğu, yanıcı maddelerin yer aldığı zeminin birim alanından birim zamanda açığa çıkan ısı enerjisi olarak ifade edilir. Alev ilerlerken, alev zonu önünde reaksiyon yoğunluğu sıfırdan maksimum bir değere kadar yükselir ve mevcut yanıcı madde tükenince tekrar sıfıra düşer. Genellikle maksimum değere yükselme süresi, tekrar sıfıra düşme süresinden çok daha kısadır.

Reaksiyon yoğunluğu ısı enerjisi/zaman/alan oranları esas alınarak örneğin Kcal/dakika/m² gibi birimle ifade edilir. Yangın davranışını belirlemede önemli bir komponent olan reaksiyon yoğunluğu aşağıdaki formülle (ROTHERMEL, 1972) hesaplanabilir :

$$I_r = -h(dw/dt) \quad (1)$$

burada

$$\frac{dw}{dt} = \text{Yangın hattında birim alandan birim zamanda yanıcı kütle kaybı} \\ (\text{kg/m}^2/\text{dakika})$$

$h =$ Yanıcı madde kalori miktarı (Kcal/kg)

(1) eşitliği aşağıdaki gibi düzenlenebilir

$$I_r = -h \left(\frac{dw}{dx} \right) \left(\frac{dx}{dt} \right)$$

$$\frac{dx}{dt} = R \text{ yangının sabit yayılma hızı (m/dakika) olduğundan}$$

$$I_r dx = -Rh dw \text{ yazılabilir.}$$

x 'in reaksiyon zonu derinliğince (D) ve w 'nin (ağırlık) reaksiyon zonundaki limitlere göre integralini alırsak

$$I_r \int_0^D dx = -Rh \int_{w_n}^{w_r} dw \text{ olur. Buradan}$$

$$I_r D = Rh(w_n - w_r) \text{ bulunur.} \quad (2)$$

$D =$ Reaksiyon zonu derinliği (önden arkaya), m

$w_n =$ Başlangıçtaki net yanıcı madde miktarı, kg/m²

$w_r =$ Reaksiyon zonunun hemen gerisindeki artık miktarı, kg/m²

Reaksiyon zonunda alevin zon boyunca hareketi için geçen zaman reaksiyon süresi (τ_r) olarak tanımlanır ve

$$\tau_r = \frac{D}{R} \text{ şeklinde ifade edilebilir.}$$

Reaksiyon süresini (2) eşitliğinde yerine koyarsak

$$I_R = \frac{h(w_n - w_r)}{R} \quad (3)$$

olur.

Maksimum reaksiyon yoğunluğu (I_{Rmax}), reaksiyon zonundan geriye hiç artık madde kalmaması ve reaksiyon zamanının sabit olması halindeki reaksiyon yoğunluğu olarak belirlenir ve

$$I_{Rmax} = \frac{hw_n}{\tau_R} \quad \text{şeklinde ifade edilir.}$$

Böylece reaksiyon zonu etkinliği (η_δ)

$$\eta_\delta = \frac{I_R}{I_{Rmax}} = \frac{(w_n - w_r)}{w_n} \quad \text{olarak belirlenir.}$$

$(w_n - w_r)$ ifadesinin yukarıdaki eşitlikten bulunan $(w_n - w_r) = wn$ değerini (3) nolu eşitlikte yerine koyarsak reaksiyon yoğunluğunu (I_R) ölçülebilir yanıcı madde ve yangın parametreleri ile ifade edebiliriz.

$$I_R = \frac{w_n h \eta_\delta}{\tau_R} \quad (4)$$

Yukarıdaki eşitlikte yer alan net yanıcı madde miktarı (w_n) aşağıdaki şekilde bulunur :

$$w_n = \frac{w_0}{1 + S_T} \quad \text{bu formülde}$$

w_0 = Fırın kurusu yanıcı madde miktarı, kg/m^2

w_n = Fırın kurusu yanıcı madde miktarı, kg/m^2

S_T = Yanıcı madde mineral miktarı, $\frac{kg, \text{mineraller}}{kg, \text{kuru yanıcı madde}}$

Reaksiyon hızı. Yanıcı madde tüketiminin hızını belirleyen reaksiyon hızı, reaksiyon zonu etkinliğinin (η_δ) reaksiyon süresine (τ_R) oranı ile ifade edilir.

$$\Gamma = \frac{\eta_\delta}{\tau_R} \quad \text{reaksiyon hızı, dakika}^{-1} \quad (5)$$

Yanıcı maddenin nem, mineral madde miktarı, parça boyutları ve yanıcı madde yatağının sıkışıklığı olarak sınıflandırılan dört etken reaksiyon hızı üzerinde etkilidir.

Yanıcı madde nemi ve mineral madde içeriği potansiyel reaksiyon hızını azaltan iki etkendir. Bu durumda reaksiyon hızı

$$\Gamma = \Gamma' n_N n_S \quad \text{olarak gösterilebilir.} \quad (6)$$

Γ' = Potansiyel reaksiyon hızı, $dakika^{-1}$

n_N = Nem katsayısı, değeri 1 - 0 arasındadır

n_S = Mineral madde katsayısı, değeri 1 - 0 arasındadır.

Yukarıdaki (5) ve (6) eşitliklerini (4) eşitliğindeki ifadelerin yerine koyarsak reaksiyon yoğunluğu

$$I_R = w_n h \Gamma' n_M n_S \quad \text{olur.}$$

Reaksiyon hızının maksimum değeri (Γ'_{max}) ve optimum istiflenme oranı (β_{op}), ROTHERMEL (1972) tarafından, yanıcı madde parçaları yüzey hacim oranının bir fonksiyonu olarak aşağıdaki eşitliklerle ifade edilmiştir.

$$\Gamma'_{max} = (0.0591 + 2.926 \theta^{-1.5})^{-1} \quad (\text{Maksimum reaksiyon hızı, dak.}^{-1})$$

$$\beta_{op} = 0.2040 \theta^{-0.8189} \quad (\text{Optimum istiflenme oranı})$$

Bu iki eşitlik A değişkeni ile birleştirilir ve potansiyel reaksiyon hızı belirlenirse,

$$\Gamma' = \Gamma'_{max} (\beta/\beta_{op})^A \exp[A(1-\beta/\beta_{op})] \quad \text{olur.}$$

$$A = (6.723 \theta^{0.1} - 7.27)$$

Böylece yanıcı madde parça boyutlarına (θ) ve herhangi bir istiflenme oranına (β) göre potansiyel reaksiyon hızı tahmin edilebilmektedir.

Nem katsayısı. ROTHERMEL (1972) tarafından nem katsayısı aşağıdaki eşitlikle ifade edilmiştir.

$$n_M = \sum_0^n b_n \left(\frac{M_f}{M_x} \right)^n$$

n_M = Nem katsayısı

M_f = Yanıcı madde nem içeriği, gr nem/gr fırın kurusu yanıcı madde

M_x = Yanıcı maddenin yanmaya olanak vermeyen nem içeriği

M_x denemelerle belirlenir. ANDERSON (1969)'un bulgularına göre *Pinus ponderosa* ibreleri için $M_x \approx 0.30$, diğer ölü yanıcı maddeler için 0.10 - 0.40 arasında değişmektedir. Genellikle lif doygunluğu noktası olarak pek çok ölü yanıcı madde için $M_x = 0.30$, zemin üstündeki yanıcı maddeler ($\beta < 0.02$) için düşük rüzgâr hızında (< 5 mil/saat) $M_x \approx 0.15$ değerleri kullanılmaktadır.

Nem katsayısının belirlenmesine yönelik çalışmalar sonucu değişik M_f/M_x oranlarına ait n_M değerleri saptanmış ve bu değerlere göre çizilen eğri için aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir.

$$n_M = 1 - 2.59 \left(\frac{M_f}{M_x} \right) + 5.11 \left(\frac{M_f}{M_x} \right)^2 - 3.52 \left(\frac{M_f}{M_x} \right)^3$$

Yukarıdaki eşitlikte görüldüğü gibi $M_f = 0$ olması halinde $n_M = 1$ olmaktadır. M_f değeri 0 - 1 arasında değişir.

Mineral katsayısı. Bu katsayı PHILPOT (1968) tarafından doğal yanıcı maddelerin termogravimetrik analizi ile (TGA) belirlenmiştir. Silis ayrışma hızını etkilemediğinden, silis hariç kül miktarı bağımsız değişken olarak değerlendirilmiş-

tir. Maksimum ayrışma hızının 0.0001 mineral madde içeriği durumunda ortaya çıktığı varsayılarak, bu değer doğal yanıcı maddelerin en düşük mineral içerik miktarı olarak kabul edilmiş, mineral katsayısı $n_s=1.0$ alınmıştır. Buna göre değişik etkili mineral içeriği (S_c) değerlerine dayanılarak bulunan n_s değerlerinin belirlediği eğrinin eşitliği

$$n_s = 0.174 S_c^{-0.19} \quad \text{olarak bulunmuştur.}$$

$$n_s = \text{Mineral Katsayısı}$$

$$S_c = \text{Silis hariç etkili mineral miktarı, } \frac{\text{gr silis hariç mineraller}}{\text{gr fırın kuru yanıcı madde}}$$

Fiziksel yanıcı madde değişkenleri. Yanıcı madde sıkışıklığı ve parça büyüklüğü, reaksiyon yoğunluğunu belirlemede dikkate alınması gereken diğer iki değişkendir. Yangın yoğunluğu ve yayılma hızı, sıkışıklığın gevşek ve çok yoğun olarak tanımlanan iki ekstrem durumunda düşük değerlere sahiptir. Yanıcı madde yatağının çok sıkışık olarak istiflenmesi halinde hava/yanıcı madde oranının düşük olması ve yüzeyden tabana ısı geçirgenliğinin az oluşu, gevşek istiflenme halinde ise parçacıklar arasında ısı transferi kayıpları ve yanıcı madde azlığı düşük yoğunluk ve yayılma hızına neden olmaktadır. Bu nedenle maksimum yangın yoğunluğu ve reaksiyon hızı, iyi bir havalanma, yanıcı madde ve ısı transferi dengesinin kurulduğu optimum düzenleme halinde ortaya çıkar. Bu optimum düzenleme farklı yanıcı madde parçaları için değişiktir.

Yanıcı madde yatağının sıkışıklığı, istiflenme oranı ile ifade edilir. İstiflenme oranı (β), birim yanıcı madde yatağı yoğunluğunun (ρ_b , Kg/m³) birim yanıcı madde parça yoğunluğuna (ρ_p , kg/m³) oranı ile bulunur.

$$\beta = \frac{\rho_b}{\rho_p}$$

Yanıcı madde parça büyüklüğünü belirlemek için yüzey alanının hacime oranı (θ , cm⁻¹) kullanılır.

Rüzgâr ve eğimin yangına etkileri

Rüzgâr ve eğim, yanıcı maddeyi etkileyen alevin konvektif ve radyant ısınısını değiştirmeleri nedeniyle yangın ilerleme hızını etkilerler. Bu etkiler :

$$\text{Rüzgâr için } \phi_w = \frac{R_w}{R_0} - 1$$

R_w = Rüzgârın varlığında yangın ilerleme hızı

$$\text{Eğim için } \phi_s = \frac{R_s}{R_0} - 1$$

R_s = Eğim yönünde yangın ilerleme hızı

formüllerile ifade edilebilir.

ROTHERMEL (1972)'in denemelerine göre rüzgâr, alevlerin konvektif ve radyant ısılarını süratle arttırarak etkili istiflenme yoğunluğunu (ρ/β_{op}) değiştirmekte ve rüzgâr yönünde yanmayı hızlandırmaktadır. Yanma hızında ayrıca yanıcı madde parçalarının yüzey/hacim oranı (θ) da etkili olmaktadır. Bunları dikkate alan ROTHERMEL rüzgârın etkisini rüzgâr hızı ile ve β/β_{op} gibi yanıcı madde özelliklerine bağlı olarak ifade etmek için aşağıdaki eşitliği geliştirmiştir.

$$\phi = C(0.305 U)^B (\beta/\beta_{op})^{-B}$$

ϕ_w = Rüzgâr faktörü

U = Alev yarı yüksekliğinde rüzgâr hızı, m/dakika

$$C = 7.47 \exp(-0.8711 \theta^{0.55})$$

$$B = 0.1599 \theta^{0.54}$$

$$E = 0.715 \exp(-0.01094 \theta)$$

Eğimin etkisi de istiflenme oranı ve eğim dikkate alınarak yapılan laboratuvar denemeleri ile ROTHERMEL tarafından aşağıdaki eşitlikle ifade edilmiştir.

$$\phi_s = 5.275 \beta^{-0.3} (\tan \phi)^2$$

ϕ_s = Eğim faktörü

$\tan \phi$ = Eğim (düşey yükseklik/yatay mesafe)

Yangın yayılma hızı

Isı kaynakları ve ısı kaybına neden olan etkenlerin rüzgârsız koşullarda yangın yayılma hızına etkileri

$$R_0 = \frac{I_R \xi}{\rho_b \epsilon Q_{ig}} \quad \text{eşitliği ile belirlenebilir.}$$

R_0 = Rüzgâr hızı=0 durumunda yangın yayılma hızı

$$\xi = (192 + 7.9095 \theta)^{-1} \exp[(0.792 + 3.760 \theta^{0.5})(\beta + 0.1)]$$

(Rüzgârsız koşullarda yangının ilerlemesini sağlayan reaksiyon yoğunluğu oranı)

$$\epsilon = \exp(-4.528/\theta)$$

$$Q_{ig} = 581 + 2594 M_f \quad (\text{Tutuşma ısısı, kJ/kg})$$

Rüzgâr ve eğim faktörlerinin etkileri ile yangın yayılma hızı

$$R = \frac{I_R \xi (1 + \phi_w + \phi_s)}{\rho_b \epsilon Q_{ig}}$$

şeklinde ifade edilir.

Byram yangın hattı yoğunluğu

Yangın davranışlarına ait varsayımlarda bulunmak için Byram yangın hattı yoğunluğu kullanılmaktadır. BYRAM (1959) tarafından ortaya konan bu yoğunluk kavramı, yanan alanı kuşatan alev zonunun birim uzunluğundan birim zamanda açığa çıkan ısı olarak tanımlanır ve ısı enerjisi/uzunluk/zaman, örneğin Kcal/m/sn şeklinde ifade edilir. Byram yangın hattı yoğunluğu kısaca Byram yoğunluğu olarak adlandırılır.

Byram yoğunluğu (I) daha önce açıklanan reaksiyon yoğunluğundan (I_R) yararlanılarak bulunabilir. Reaksiyon yoğunluğu birim alandan birim zamanda açığa çıkan ısı enerjisi olduğuna göre bunun yangın hattı (alev zonu) derinliği (D) ile çarpımı Byram yangın hattı yoğunluğunu verecektir.

$$I = I_R D$$

I = Byram yangın hattı yoğunluğu, Kcal/m/sn.

I_R = Reaksiyon yoğunluğu Kcal/m²/sn

D = Yangın hattı derinlemesine uzunluğu, m

Byram, alev boyunu yangın hattı yoğunluğu ile ilişkiye getirmiştir. Bu ilişki-den Byram yoğunluğu

$$I = 258 F_L^{2,17} \text{ KW/m}$$

F_L = Alev boyu, m

eşitliği ile alev boyuna dayanarak kolayca bulunabilir.

Genel bir indeks olarak Byram yoğunluğu yangın durumu hakkında kabaca da olsa bir fikir vermektedir. Örneğin, Avustralya'lı araştırmacılar (HUDGSON, 1968) kontrollü yakmada insiyatifi yitirmemek için yangın hattından açığa çıkan enerjinin 80 Kcal/m/sn'yi geçmemesi gerektiğini deneylerle ortaya koymuşlardır. HUDGSON ayrıca Byram yoğunluğunun 500 Kcal/m/sn olması halinde nokta yangınlarının ciddi hale geldiğini ve yangınların kontrol edilmesinin mümkün olamayacağını kaydetmektedir.

K A Y N A K L A R

- ALBINI, FRANK A., 1976. *Estimating wildfire behavior and effects*. USDA Forest Serv., General Technical Report INT - 30, 92p. Intermt. For. and Range Exp. Stn., Ogden, Utah.
- ANDERSON, HAL E., 1969. *Heat transfer and fire spread*. USDA Forest Serv., Res. Pap. INT - 69, 20p. Intermt. For. and Range Exp. Stn., Ogden, Utah.
- BYRAM, GEORGE M., 1959. *Combustion of forest fuels*. In *forest fire control and use*. Kenneth P. Davis, ed. McGraw-Hill Book Co., New York, 82p.
- ÇANAĞÇIOĞLU, H., 1985. *Orman Koruma*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi yayımları. İ.Ü. Yayın No. 3315, O.F. Yayın No. 376, XIX+486pp.
- HUDGSON, ATHOL, 1968. *Control burning in eucalypt forests in Victoria, Australia*. J. For. 66(8): 601 - 605.
- PHILPOT, CHARLES W., 1968. *Mineral content and pyrolysis of selected plant materials*. USDA Forest Serv. Res. Note INT - 84, 4p. Intermt. For. and Range Exp. Stn., Ogden, Utah.
- RALPH, A. WILSON, Jr., 1982. *A reexamination of fire spread in free-burning porous fuel beds*. USDA Forest Serv. Res. Pap. INT - 289, 28p. Intermt. For. and Range Exp. Stn., Ogden, Utah.
- ROTHERMEL, RICHARD C., 1972. *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels*. USDA Forest Serv. Res. Pap. INT - 115, 40p. Intermt. For. and Range Exp. Stn., Ogden, Utah.