

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TÜRKİYE ORMAN YANGIN TEHLİKE ORANLARI KARAR DESTEK SİSTEMİ
(TOYTOS)

DOKTORA TEZİ

Orm. Yük. Müh. Kadir Alperen COŞKUNER

OCAK 2019
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TÜRKİYE ORMAN YANGIN TEHLİKE ORANLARI KARAR DESTEK SİSTEMİ
(TOYTOS)

Orm. Yük. Müh. Kadir Alperen COŞKUNER

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DOKTOR (ORMAN MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 / 12 / 2018
Tezin Savunma Tarihi : 22 / 01 / 2019

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ

Trabzon 2019

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Orman Mühendisliği Anabilim Dalında
Kadir Alperen COŞKUNER Tarafından Hazırlanan**

**TÜRKİYE ORMAN YANGIN TEHLİKE ORANLARI KARAR DESTEK SİSTEMİ
(TOYTOS)**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 18 /12/2018 gün ve 1783 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

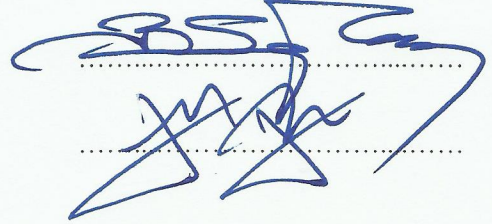
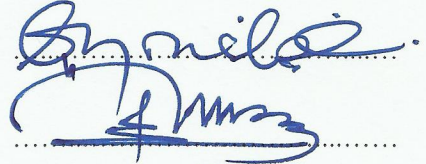
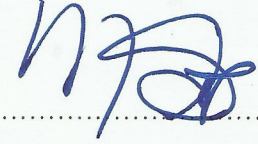
Başkan : Prof. Dr. Mahmut EROĞLU

Üye : Prof. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ

Üye : Prof. Dr. Ömer KÜÇÜK

Üye : Prof. Dr. Bülent SAĞLAM

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Tolga BERBER



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Türkiye Orman Yangın Tehlike Oranları Karar Destek Sistemi (TOYTOS)” isimli bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Ülkemiz orman yangın yönetimi için yeni bir dönemin başlamasına katkı sağlayacak bu güncel ve özgün tez konusunun seçilmesi, çalışmanın planlanması ve bitimine kadar her aşamasında destek ve katkılarıyla çalışmamı yönlendiren, bilgilerinden sürekli istifade ettiğim, insani ve ahlaki değerleri ile örnek edindiğim danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ’ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Değerli fikirlerinden her zaman yararlandığım ve bana her konuda destek olan hocalarım Sayın Prof. Dr. Mahmut EROĞLU’na, Prof. Dr. Ömer KÜÇÜK’e, Prof. Dr. Bülent SAĞLAM’a, Dr. Öğr. Üyesi Tolga BERBER’e ve Dr. Öğr. Üyesi Uğur ŞEVİK’e, teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca, bana destek veren, arazi çalışmaları ve veri temininde yardımcı olan başta Orman Genel Müdürlüğü Orman Yangınları ile Mücadele Dairesi Başkanı Orm. Müh. Mihtat ATEŞ olmak üzere, Meteoroloji ve Simulasyon Şube Müdürü Orm. Yük. Müh. Uğur BALTACI’ya, Orman Yangınlarını Önleme Şube Müdürü Orm. Müh. Özkan ÖZBEDEL’e ve Orman Yangınlarıyla Mücadele Şube Müdürü Orm. Müh. Kamil Tolgay DURSUN’a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, TOYTOS sürüm 1.0 Karar Destek Sistemi model yazılımının hazırlanmasında yardım eden, Datakent Yazılımdan Murat TURAN’a ve Arş. Gör. Yetkin USTA’ya teşekkür ederim.

Bu çalışmanın hazırlanmasında TOVAG 1080327 ile 1120809 kod numaralı projeler ile destek sağlayan TÜBİTAK ile yine “Türkiye’de Yüksek Koruma Değerine Sahip Akdeniz Ormanlarının Entegre Yönetimi (GEF V) Projesi” ile destek sağlayan Orman Genel Müdürlüğü’ne ve her türlü olanaklarından sürekli olarak faydalandığım Karadeniz Teknik Üniversitesi’ne teşekkür ederim.

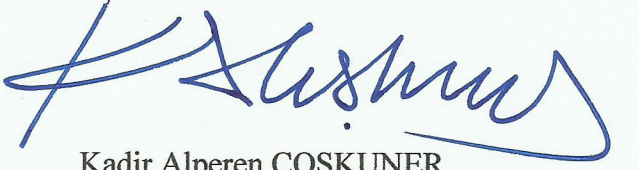
Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, meslektaşları ve aynı zamanda oğlu olmaktan gurur duyduğum babama, canım anneme ve biricik ablama müteşekkire olduğumu belirtir, bu çalışmanın ülkemize faydalı olmasını dilerim.

Kadir Alperen COŞKUNER

Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Türkiye Orman Yangın Tehlike Oranları Karar Destek Sistemi (TOYTOS)” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ'nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 22/01/2019



Kadir Alperen COŞKUNER

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ	XIII
KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Özeti.....	4
1.2.1. Orman Yangın Yönetiminde Karar Destek Sistemleri	4
1.2.1.1. Angström İndeksi.....	7
1.2.1.2. Nesterov Tutuşma İndeksi.....	8
1.2.1.3. Fransız Yangın Risk ve Tehlike İndeksi	9
1.2.1.4. Kanada Orman Yangın Tehlike Oranları Sistemi.....	10
1.2.1.5. ABD Ulusal Yangın Tehlike Oranları Sistemi	15
1.2.1.6. McArthur Orman ve Çayır Yangın Tehlike İndeksi	16
1.2.2. Dünya’da kullanılan YTO sistemlerinin karşılaştırılması.....	19
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	22
2.1. Kavramsal Çerçeve	22
2.1.2. Yangın Bilgi Sistemi (YBS).....	24
2.1.2.1. YBS Sistem Tasarımı.....	24
2.1.2.2. YBS Sistem Veri Yapısı.....	25
2.1.3. Yangın Çıkma İhtimalini Tahmin Sistemi (YÇİT).....	25
2.1.3.1. YÇİT Sistem Tasarımı	25
2.1.3.2. YÇİT Sistem Modelleme.....	26
2.1.3.2.1. Yangın Riskinin Modellenmesi	26
2.1.3.2.2. Yangın Tehlikesinin Modellenmesi	29
2.1.3.3. Yangın Gözetleme Kuleleri Görünürlük Analizinin Gerçekleştirilmesi.....	33

2.1.3.4.	Geçmiş Yangın Verilerine Bağlı Olarak Yangın Yoğunluk Analizinin Gerçekleştirilmesi	33
2.1.4.	Meteorolojik Yangın İndeksi Sistemi (MYİ)	34
2.1.4.1.	MYİ Sistem Tasarımı	34
2.1.4.2.	MYİ Sistem Modelleme	34
2.1.4.3.	Ölü Örtü Nem Tahmin Modelleri	35
2.1.4.4.	Yanıcı Madde Nem Kodları	38
2.1.4.4.1.	İnce Yanıcı Madde Nem Kodu (İYMNK)	39
2.1.4.4.2.	Humus Nem Kodu (HNK)	39
2.1.4.5.	Yangın Davranış İndeksleri	40
2.1.4.5.1.	Başlangıç Yayılma indeksi (BYİ)	40
2.1.4.5.2.	Birikmiş Yanıcı Madde İndeksi (BYMİ)	41
2.1.4.5.3.	Meteorolojik Yangın İndeksi (MYİ)	41
2.1.5.	Yangın Davranışı Tahmin Sistemi (YDT)	43
2.1.5.1.	YDT Sistem Tasarımı	43
2.1.5.2.	YDT Sistemi Yanıcı Madde Haritalarının Elde Edilmesi	44
2.1.5.3.	YDT Sistem Modelleme	46
2.1.5.3.1.	Yangın Büyüme ve Gelişim Modeli	49
2.1.6.	Karar Destek Sistemi Yazılımı	52
2.1.6.1.	YBS Sistem Yazılımı	52
2.1.6.2.	YÇİT ve YDT Sistem Yazılımı	52
2.1.6.3.	MYİ Sistem Yazılımı	53
2.2.	Karar Destek Sistemin Bir Yönetim Aracı Olarak Uygulanması	54
2.2.1.	Araştırma Alanı	54
2.2.1.1.	Köyceğiz Orman İşletme Müdürlüğü Tanıtımı	54
2.2.1.2.	Gazipaşa Orman İşletme Müdürlüğü Tanıtımı	56
2.2.1.3.	Pilot OİM'lere İlişkin Sayısal Veri Temini	57
2.2.1.4.	Pilot OİM Alanlara Özgü Yangın Risk Faktörlerinin Belirlenmesi	58
3.	BULGULAR	60
3.1.	TOYTOS Sistem Arayüzü	60
3.1.1.	TOYTOS Yangın Bilgi Sistemi (YBS) Alt Sistemi	61
3.1.2.	TOYTOS Yangın Çıkma İhtimali Tahmin Sistemi (YÇİT) Alt Sistemi	64
3.1.3.	TOYTOS Meteorolojik Yangın İndeksi Sistemi (MYİ) Alt Sistemi	65

3.1.4.	TOYTOS Yangın Davranışı Tahmin Sistemi (YDT) Alt sistemi	66
3.2.	TOYTOS'un Köyceğiz ve Gazipaşa OİM'nde Uygulanması	68
3.2.1.	Köyceğiz ve Gazipaşa OİM Yangın Bilgi Sistemi Sonuçları	68
3.2.2.	Köyceğiz ve Gazipaşa OİM Yangın Çıkma İhtimali Tahmin Sistemi Sonuçları.....	71
3.2.3.	Köyceğiz ve Gazipaşa OİM Meteorolojik Yangın İndeksi Sistemi Sonuçları.....	80
3.2.4.	Köyceğiz ve Gazipaşa OİM Yangın Davranışı Tahmin Sistemi Sonuçları.....	82
4.	TARTIŞMA VE SONUÇ.....	90
5.	ÖNERİLER	95
6.	KAYNAKLAR	99
ÖZGEÇMİŞ		

Doktora Tezi

ÖZET

TÜRKİYE ORMAN YANGIN TEHLİKE ORANLARI KARAR DESTEK SİSTEMİ (TOYTOS)

Kadir Alperen COŞKUNER

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ

2019, 110 Sayfa

Orman yangın organizasyonları, yangınlarla mücadelede başarılı olabilmek için doğru, güncel ve kolaylıkla elde edilebilir bilgilere ihtiyaç duyar. Bu bilgilerin temini, yangın risk ve tehlike potansiyeli ile yangın davranışı hakkında doğru ve hızlı bilgi verebilen kapsamlı bir sistemin varlığı ile mümkün olabilir.

Bu çalışmada, orman yangın organizasyonları ve mücadele çalışmalarında kullanılacak bir Karar Destek Sisteminin (KDS) kavramsal çerçevesi, hiyerarşisi, parametreleri, yöntemleri ile model yapıları oluşturulmuş ve bir model yazılımı geliştirilmiştir. Geliştirilen KDS, bir bütün halinde ve ayrı ayrı çalışabilen dört alt sistemden oluşmaktadır. Bunlar sırası ile Yangın Bilgi Sistemi (YBS), Yangın Çıkma İhtimali Tahmin Sistemi (YÇİT), Meteorolojik Yangın İndeksi Sistemi (MYİ) ve Yangın Davranışı Tahmin Sistemi (YDT)'dir. YBS, orman yangınları ile ilgili mekânsal, zamansal ve tanımlayıcı bilgilerin depolandığı ve veriler üzerinden akıllı sorgulama ve analizlerin gerçekleştirildiği alt sistemdir. YÇİT, sabit çevre faktörlerini dikkate alan ve belirli bir alan için yangın risk ve tehlike potansiyelini derecelendiren alt sistemdir. MYİ, yanıcı madde nemine bağlı olarak yanıcı maddelerin tutuşabilirliğini belirleyen ve yangının başlaması durumunda potansiyel yangın yayılma oranı ve yangın şiddeti hakkında bilgi veren alt sistemdir. YDT, yangın davranışını farklı hava halleri, topografya ve yanıcı madde özelliklerine bağlı olarak tahmin etmeye çalışan alt sistemdir.

Operasyonel kullanıma hazır hale geldiğinde, bir karar destek sistemi olarak Türkiye Orman Yangın Tehlike Oranları Sistemi (TOYTOS), orman yangınları ile mücadelede yangın yöneticilerine yangın öncesi, yangınla mücadele ve yangın sonrası planlamalarında önemli katkılar sunacak potansiyeldedir.

Anahtar Kelimeler: Orman yangınları, Yangın riski, Yangın tehlikesi, Yangın davranışı

PhD. Thesis

SUMMARY

TURKISH NATIONAL FOREST FIRE DANGER RATING DECISION SUPPORT SYSTEM (TOYTOS)

Kadir Alperen COSKUNER

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Forest Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Ertugrul BILGILI
2019, 110 pages

Forest fire management organizations require accurate, timely and readily available information to be successful in forest fire suppression. To acquire and make this information available to fire management organization, a sound decision support system is necessary.

In this study, the framework, hierarchy, parameters and model forms of a decision support system (DSS) was designed and a prototype software was developed that have potential to be implemented operationally. DSS consists of four subsystems which can operate individually or collectively. These are namely, Fire Information System (FIS), Fire Occurrence Prediction System (FOP), Fire Weather Index System (FWI) and Fire Behavior Prediction System (FBP). The FIS was designed such that fire managers are able to input, store, update and manage data easily. FOP system was developed based on fire risk factors that are thought to have a role in fire ignition. Fire risk and danger maps as well as other information was developed in tabular forms. The FWI system calculates the ignition potential of fuels and provides information about potential rate of spread and fire intensity. FBP system predicts fire behavior under varying weather, fuel and topographic conditions.

When ready for operational use, the Turkish National Forest Fire Danger Rating Decision Support System (TOYTOS) will have the potential to provide fire managers with tools and support necessary for successful fire prevention/presuppression, suppression and post fire management planning.

Keywords: Forest fires, Fire risk, Fire danger, Fire behavior

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Kanada YTO sisteminin yapısı ve bileşenleri	11
Şekil 2. Kanada YTO sisteminin ana bileşeni olan MYİ sisteminin yapısı ve bileşenleri	11
Şekil 3. ABD Ulusal YTOS sisteminin yapısı ve bileşenleri (YMN=Yanıcı Madde Nemi).....	15
Şekil 4. McArthur Orman Yangın Tehlike İndeksi'nin yapısı ve girdileri (KBDI=Keetch-Byram Kuraklık İndeksi)	17
Şekil 5. McArthur Çayır Tehlike İndeksi'nin yapısı (Mark IV).....	18
Şekil 6. Türkiye Orman Yangın Tehlike Oranları Karar Destek Sisteminin kavramsal çerçevesi.....	23
Şekil 7. Yangın Bilgi Sistemi (YBS) sistem tasarımı	24
Şekil 8. Yangın Çıkma İhtimali Tahmin (YÇİT) Sistem Tasarımı	26
Şekil 9. MYİ sisteminin tasarımı	34
Şekil 10. MYİ arazi ve laboratuvar çalışmaları iş akışı	36
Şekil 11. TOVAG (2015)'te yapılan İnce Yanıcı Madde ve Humus nem tahmin modeli akış diyagramı (a) ile Usta (2018) tarafından revize edilen model akış diyagramı.....	37
Şekil 12. Yanıcı madde nemi ile kod değeri ilişkisi	38
Şekil 13. HNK ve BYİ ilişkisine bağlı belirlenmiş yangın şiddeti sınıfları ve uygulamadaki potansiyel karşılıkları	43
Şekil 14. YDT sisteminin genel yapısı.....	44
Şekil 15. Yanıcı Madde Haritalarının elde edilme süreci (Köyceğiz OİM).....	45
Şekil 16. Yangın yayılma oranı modelinin yapısı	47
Şekil 17. YDT sistemi Yanıcı Madde Tiplerine ilişkin Yayılma Oranı-Başlangıç Yayılma İndeksi grafiği.....	48
Şekil 18. Basit elips modeli ile hesaplamalarda kullanılan elips boyutları	49
Şekil 19. Yanıcı maddenin homojen olduğu durumda, yangının büyüme ve gelişimi	51
Şekil 20. Yanıcı maddenin homojen olduğu durumda, farklı rüzgâr yönlerindeki yangının büyüme ve gelişimi.....	51
Şekil 21. MYİ Sistem yazılım şeması	53
Şekil 22. Köyceğiz OİM'nin coğrafi konum ve OİŞ haritası	55
Şekil 23. Gazipaşa OİM'nin coğrafi konum ve OİŞ haritası	57

Şekil 24. Köyceğiz OİM orman yangınları paydaş değerlendirme toplantısı (a, b)	58
Şekil 25. Gazipaşa OİM orman yangınları paydaş değerlendirme toplantısı (a, b)	59
Şekil 26. TOYTOS karar destek sistemi model yazılımının ana penceresi	60
Şekil 27. TOYTOS yazılım bilgilerinin bulunduğu web sitesi arayüzü	61
Şekil 28. YBS alt sistemi ve yangın form veri giriş arayüzü	62
Şekil 29. YBS alt sistemi, yangın kayıt sorgulama arayüzü	63
Şekil 30. YBS alt sistemi, analiz ve grafik döküm bölümü (örnek grafik, Köyceğiz OİM'nin çıkış nedenlerine göre yangın adet-alan grafiğidir)	63
Şekil 31. YÇİT alt sistemi arayüzü (örnek harita ve tablo, Köyceğiz OİM yangın risk potansiyeli analizi sonuçlarını göstermektedir)	64
Şekil 32. MYİ arayüzü	65
Şekil 33. YDT arayüzü ve Köyceğiz OİM için örnek yangın benzetimi	66
Şekil 34. Yanan alanın, yanıcı madde tiplerine göre zamansal dağılımı	67
Şekil 35. Köyceğiz OİM 2013-2018 yılları arasında gerçekleşen yangınların işletme şefliklerine dağılımı.....	68
Şekil 36. Köyceğiz OİM 2013-2018 yılları arasında gerçekleşen yangınların çıkış nedenlerine göre dağılımı	69
Şekil 37. Köyceğiz OİM 2013-2018 yılları arasında gerçekleşen yangınların yangın türüne göre dağılımı	69
Şekil 38. Gazipaşa OİM 2013-2018 yılları arasında gerçekleşen yangınların işletme şefliklerine dağılımı.....	70
Şekil 39. Gazipaşa OİM 2013-2018 yılları arasında gerçekleşen yangınların çıkış nedenlerine göre dağılımı	70
Şekil 40. Gazipaşa OİM 2013-2018 yılları arasında gerçekleşen yangınların yangın türüne göre dağılımı	71
Şekil 41. YÇİT Sistemi, Köyceğiz OİM 2013-2018 yılları arasında gerçekleşen yangınlara göre gerçekleştirilen Kernel yangın yoğunluk analizi haritası	72
Şekil 42. YÇİT sistemi, Köyceğiz OİM kulelere ilişkin görünürlük analizi haritası	73
Şekil 43. YÇİT sistemi, Köyceğiz OİM'ye ilişkin Yangın Risk Potansiyeli analiz haritası	74
Şekil 44. Köyceğiz OİM, yılda gerçekleşen yangınların, yangın risk sınıflarına dağılımı	74
Şekil 45. YÇİT sistemi, Köyceğiz OİM'ye ilişkin Yangın Tehlike Potansiyeli analiz haritası	75
Şekil 46. YÇİT Sistemi, Gazipaşa OİM 2013-2018 yılları arasında gerçekleşen yangınlara göre gerçekleştirilen Kernel yangın yoğunluk analizi haritası	76

Şekil 47. YÇİT sistemi, Gazipaşa OİM Kulelere ilişkin görünürlük analizi haritası	77
Şekil 48. YÇİT sistemi, Gazipaşa OİM'ye ilişkin Yangın Risk Potansiyeli analiz haritası	78
Şekil 49. Gazipaşa OİM, yılda gerçekleşen yangınların, yangın risk sınıflarına dağılımı	78
Şekil 50. YÇİT sistemi, Gazipaşa OİM'ye ilişkin Yangın Tehlike Potansiyeli analiz haritası	79
Şekil 51. Köyceğiz OİM için yangın sezonu boyunca MYİ değerlerinin değişimi ve çıkan yangınlara ilişkin MYİ değerleri.....	81
Şekil 52. Gazipaşa OİM için yangın sezonu boyunca MYİ değerlerinin değişimi ve çıkan yangınlara ilişkin MYİ değerleri.....	82
Şekil 53. YDT sistemi, Köyceğiz OİM içerisinde gerçekleştiren yangın senaryolarında yangın hattının zamana bağlı olarak değişimi	83
Şekil 54. YDT sistemi, Köyceğiz OİM içerisinde gerçekleştirilen yangın senaryolarına ilişkin yanan alanın yanıcı madde tiplerine dağılımı	84
Şekil 55. YDT sistemi, Köyceğiz OİM içerisinde gerçekleştiren yangın senaryolarına ilişkin toplam yanan alanın (ha) benzetim süresince senaryolara göre değişimi	85
Şekil 56. YDT sistemi, Gazipaşa OİM içerisinde gerçekleştiren yangın senaryolarına yangın hattının zamana bağlı olarak değişimi	86
Şekil 57. YDT sistemi, Gazipaşa OİM içerisinde gerçekleştirilen yangın senaryolarına ilişkin yanan alanın yanıcı madde tiplerine dağılımı.....	87
Şekil 58. YDT sistemi, Gazipaşa OİM içerisinde gerçekleştiren yangın senaryolarına ilişkin toplam yanan alanın (ha) benzetim süresince senaryolara göre değişimi.....	88
Şekil 59. YDT sistemi, Köyceğiz ve Gazipaşa OİM içerisinde gerçekleştirilen yangın senaryolarına ilişkin toplam yanan alanın (ha) benzetim süresince senaryolara göre değişimi	89

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Dünya’da orman yangınları ile mücadelede kullanılan karar destek sistemleri	5
Tablo 2. Geliştirilmiş Nesterov Tutuşma İndeksi yağış miktarına bağlı olarak K katsayısı değerleri.....	9
Tablo 3. Dünya genelinde orman yangınları ile mücadelede karar destek sistemi olarak en fazla kullanılan sistemlerin kullandıkları verilerin karşılaştırmaları	19
Tablo 4. Dünya genelinde orman yangınları ile mücadelede en fazla kullanılan karar destek sistemlerinin karşılaştırılması	20
Tablo 5. Yangın risk potansiyelinin değerlendirilmesinde kullanılan parametreler ve bu parametrelere ilişkin belirlenen sınıfların yangın risk potansiyeli üzerindeki nispi etkilerinin ağırlıklandırılması	28
Tablo 6. Yangın risk potansiyeli sınıfları.....	29
Tablo 7. Yangın tehlike potansiyelinin değerlendirilmesinde kullanılan parametreler ve bu parametrelere ilişkin belirlenen sınıfların yangın tehlike potansiyeli üzerindeki etkilerinin nispi ağırlıklandırılması	31
Tablo 8. Yangın tehlike potansiyeli sınıfları	32
Tablo 9. Meteorolojik yangın indeks sınıfları	42
Tablo 10. Yanıcı madde tiplerine göre yayılma oranı model katsayıları.....	48
Tablo 11. Köyceğiz OİM Orman İşletme Şeflikleri Tablosu	55
Tablo 12. Gazipaşa OİM Orman İşletme Şeflikleri Tablosu.....	56
Tablo 13. Köyceğiz OİM 2018 yılı yangın sezonuna ilişkin MYİ değerleri	80
Tablo 14. Gazipaşa OİM 2018 yılı yangın sezonuna ilişkin MYİ değerleri	81
Tablo 15. Köyceğiz OİM, yangın senaryolarına ilişkin hava halleri ve yanıcı madde nemi değerlerine ilişkin ortalama değerler	83
Tablo 16. Gazipaşa OİM, yangın senaryolarına ilişkin hava halleri ve yanıcı madde nemi değerlerine ilişkin ortalama değerler	86

KISALTMALAR DİZİNİ

KDS	: Karar Destek Sistemi
YTOS	: Orman Yangın Tehlike Oranları Sistemi
YBS	: Yangın Bilgi Sistemi
YÇİT	: Yangın Çıkma İhtimali Tahmin Sistemi
MYİ	: Meteorolojik Yangın İndeksi Sistemi
İYMNK	: İnce Yanıcı Madde Nem Kodu
YMN	: Yanıcı Madde Nemi
HNK	: Humus Nem Kodu
BYİ	: Başlangıç Yayılma İndeksi
BYMİ	: Birikmiş Yanıcı Madde İndeksi
YDT	: Yangın Davranışı Tahmin Sistemi
YO	: Yayılma Oranı
KBDİ	: Keetch - Byram Kuraklık İndeksi
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
OİM	: Orman İşletme Müdürlüğü
OİŞ	: Orman İşletme Şefliği

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Orman yangınları, yangına bağımlı ekosistemlerde ekolojik dengenin sağlanması ve birçok ekosistemin varlığını sürdürebilmesinde önemli bir faktördür (Bilgili vd., 2001; Moreira vd., 2011; San-Miguel-Ayanz vd., 2013). Ancak gerçekleşen yangınlar, her yıl dünya genelinde binlerce hektar orman alanının zarar görmesine ve ormana dayalı birçok ürün ve hizmetlerden yeterince yararlanılamamasına da sebep olmaktadır (Trigo vd., 2006; Xanthopoulos, 2007; Bilgili ve Kucuk, 2009; Moreira vd., 2011; Salis vd., 2014). Bu sebeple, yapılacak planlama ve düzenlemeler ile orman yangınlarının olumsuz etkilerinin azaltılması (Stocks vd., 1989) ve yangınların, yangına bağımlı ekosistemlerde bir yönetim aracı olarak kullanılabilmesi önem arz etmektedir (Martell, 2001). Orman yangın yönetim planlama ve uygulamaları, yangın organizasyonları tarafından gerçekleştirilmektedir (Taylor ve Alexander, 2003).

Orman yangınlarının yoğun olarak görüldüğü birçok ülke, orman yangın organizasyonlarını oluşturmuşlardır (Bilgili, 1999). Bu organizasyonların görevi, yangın öncesi, yangınla mücadele ve yangın sonrası planlamalar yapmaktır (Deeming vd., 1978; Van Wagner, 1987a; Burgan, 1988). Yangın yönetim planlamaları, genellikle yangın önleyici ve yangına hazırlıklı olmaya yönelik tedbirleri, çıkan yangınlarda uygulanacak ilk müdahale taktik ve stratejileri ile yangın sonrası faaliyetleri içeren geniş ölçekli planlamalardır (Martell, 2001). Bu planlamalar, yangınların olası zararlarını en aza indirmek için yanıcı madde yönetim çalışmaları, yaban hayatı yönetimi ve diğer arazi yönetimi faaliyetlerinde kontrollü yakma çalışmalarının planlanmasını da içermektedir (Pyne, 1984; Boer vd., 2009; Fernandes vd., 2013). Yangın yönetim planlamaları oluşturulurken, birtakım yardımcı karar destek sistemlerden de yararlanılmaktadır (Van Wilgen ve Burgan, 1984; Taylor ve Alexander, 2003).

Yangın yönetim planlamalarında sıklıkla kullanılan bu yardımcı sistemler genellikle "Orman Yangın Tehlike Oranları Sistemi (YTOS)" olarak anılmaktadır (Deeming vd., 1972; Deeming vd., 1978; Burgan, 1988; Stocks vd., 1989; Willis vd., 2001). Genel olarak yangın tehlikesi; yangın çıkabilecek alanlardaki topoğrafya gibi sabit, hava halleri ve yanıcı madde

özellikleri gibi değişken çevre faktörlerinin durumları ile açıklanır (Merrill ve Alexander, 1987; Wybo vd., 1995). Yangın tehlikesini etkileyen faktörlere bağlı olarak, mevcut şartlar altında oluşabilecek muhtemel bir yangının potansiyelinin belirlenmesi “Yangın Tehlike Oranı” olarak tanımlanır (Countryman, 1966). Sabit ve değişken çevre faktörlerinden biri veya duruma göre birçoğu yangın tehlikesi üzerinde etkili olurlar (Merrill ve Alexander, 1987). Yangın tehlikesi üzerinde etkisi olan bu faktörler, oluşturulan karar destek sistemlerinde sayısal olarak yangın tehlike indeksleri olarak belirtilerek, yangın yönetim planlamalarında rehber olarak kullanılır (Bilgili, 1999; Küçük vd., 2007).

Orman Yangın Tehlike Oranları Sistemleri (YTOS), model yapıları ve hiyerarşilerinde birtakım farklılıklar olmasında rağmen, genellikle üç ana bölümden oluşmaktadır (Sağlam, 2002). Bu bölümler; orman yangını çıkmasına sebep olan faktörleri kullanarak yangın risk ve tehlike potansiyelini tahmin etmeye çalışan Yangın Çıkma İhtimali Tahmin Sistemi, meteorolojik faktörlere bağlı olarak yangın risk ve tehlike potansiyelini derecelendiren Meteorolojik Yangın İndeksi Sistemi ve hava halleri, topoğrafya ve yanıcı madde özelliklerine bağlı olarak yangın davranışını tahmin etmeye çalışan Yangın Davranışı Tahmin Sistemi’dir. Söz konusu sistemler, orman yangınlarının önemli bir problem oluşturduğu ülkelerde uzun yıllardır kullanılmaktadır (Bilgili, 1999; Bilgili vd., 2001). Bu konuda öncülüğü, Amerika (Deeming vd., 1972; Rothermel, 1972; Deeming vd., 1978), Kanada (Van Wagner, 1974; Lawson vd., 1985; Hirsch, 1996; Tymstra, 2010) ve Avustralya (McArthur, 1958, 1960) yapmış olup, birçok ülkede de bu konuda yoğun çalışmalar yürütölmektedir (Willis vd., 2001; de Groot, Goldammer, vd., 2006; Kalabokidis vd., 2016).

Dünya genelinde orman yangınlarının yönetiminde kullanılan karar destek sistemleri, buldukları bölgenin iklim, topoğrafya ve yanıcı madde özellikleri ile yangın organizasyon yapısına bağlı olarak geliştirilmiş olup, sistem yapısı, kullanım kolaylığı ve farklı coğrafyalara uygulanabilirlik bakımından birbirlerine göre üstünlük ve eksiklikleri bulunmaktadır (Willis vd., 2001). Sistemlerin eksiklikleri genellikle, ölçölmesi veya elde edilmesi güç bazı girdilere ihtiyaç duyulması, sistem yapısının karmaşık yapıda olması ve sistem modellerinin ortaya çıkabilecek yeni durumlara uyarlanabilmesinin zorluğu ile ilgilidir (Taylor ve Alexander, 2003). Ayrıca, kullanılan sistemlerin birçoğunun, gelişen teknolojilere bağlı olarak güncellenmesi gerekmektedir. Bu sebeple, sistemlerin yeniden tasarlanmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır (URL-3, 2016; Fox-Hughes vd., 2018; Matthews vd., 2018). Bu bağlamda, kolay elde edilebilir girdiler kullanarak faydalı sonuçlar

elde edilebilecek, güncel teknolojiler ile uyumlu ve kolay kullanılabilen yapıda karar destek sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Ülkemizde, özellikle Batı Karadeniz sahil şeridinden başlayıp sırasıyla Marmara, Ege ve Akdeniz Bölgesinden Hatay'a kadar uzanan ve toplam orman alanının yaklaşık %60'ını oluşturan 12 milyon hektarlık orman alanı, orman yangınlarına hassas bir yapıdadır. Bu alanlar için özellikle yaz aylarında meydana gelen orman yangınları, önemli bir orman koruma problemi oluşturmaktadır (OGM, 2017). Ülkemizde ormanların tamamına yakınının mülkiyetinin devlete ait olması sebebiyle, orman yangınları ile mücadele, devlet eliyle Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından gerçekleştirilmektedir. Yangınlarla mücadelede son derece özverili bir çalışma yürüten OGM, yangına ilk müdahale ve devam eden söndürme çalışmalarında, diğer Avrupa ülkeleri ile kıyaslandığında (OGM, 2016a, 2017) ve yangın başına yanan alan miktarı temel alındığında başarılı kabul edilebilir. Ancak, ülkemizde her yıl ortalama 20 bin hektarlık alanda etkili olan yangınların (OGM, 2017) orman ekosistemi üzerindeki ekolojik etkilerinin yanında, mücadele masrafları ile birlikte ekonomik anlamda da birtakım kayıplar meydana getirdiği bilinmektedir (Bilgili, 1997; Bilgili vd., 2001). Öyle ki, yangınlarla mücadele masrafları, Orman Genel Müdürlüğü bütçesinde çok önemli bir yer tutmaktadır (Eker ve Abdurrahmanoğlu, 2018). 2017 yılı orman yangınları ile özel bütçe ve döner sermaye bütçesinden yangınla mücadele çalışmaları için harcanan miktar, 2017 yılı OGM döner sermaye gelirlerinin %21,2'sine karşılık gelmektedir (OGM, 2017). Bu durum değerlendirildiğinde, orman yangınlarının hem ekolojik hem de ekonomik etkilerinin analiz edilmesinde katkı sağlayabilecek karar destek sistemlerine ihtiyaç olduğu açıktır (Bilgili, 1999). Ancak, karar destek sistemlerinin ülkemizde kullanılmasının önemi ve gerekliliği vurgulanmasına rağmen; dünya genelinde orman yangınları ile mücadelede kullanılan yangın tehlike oranları sistemleri gibi yardımcı karar destek sistemleri ülkemizde tam anlamıyla kullanılmamaktadır (Baş, 1965; Çanakçıoğlu, 1988; Mol, 1988; Öymen, 1989; Bilgili, 1999; Sağlam, 2002; Bilgili ve Coskuner, 2015).

Yangın yönetim planlama ve mücadele çalışmalarında bir karar destek sisteminin oluşturulması için ülkemizde birtakım çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Küçük, 2000; Sağlam, 2002; Bilgili ve Sağlam, 2003; Küçük, 2004; Küçük vd., 2007; TOVAG, 2007; Küçük vd., 2008; TOGTAG, 2008; TOVAG, 2011; Küçük vd., 2012; Durmaz, 2014; TOVAG, 2015). Yapılan çalışmalar kendi içinde bir önem ve bütünlük arz etmesine rağmen, çalışma sonuçları bir bütün olarak karar destek sistemi halinde çalışabilecek yapıda değildir (Bilgili

ve Coskuner, 2015). Dolayısıyla, karar vericilere orman yangınları gibi sağlıklı karar vermenin son derece zor ve riskli olduğu durumlarda yardımcı olabilecek bir karar destek sisteminin ülkemizde de hayata geçirilmesi önem arz etmektedir. Zira ülkemizde yangın riskinin yanıcı madde, hava halleri, topoğrafik özellikler, arazi kullanım özellikleri ve geçmişe dönük yangın verileri ile önceden tahmin edilebilmesi, yangınlarla mücadele açısından önemlidir (Bilgili vd., 2001). Ayrıca, bu bilgilerin yangın yöneticilerine sunulması ile yangınların bir yanıcı madde yönetimi aracı olarak kullanılabilmesi ve yangın yönetim planlarının kolaylıkla yapılabilmesi sağlanabilir (Bilgili, 1999).

Bu tez çalışmasının temel amacı, ülkemiz şartlarında kolaylıkla kullanılacak, güncel ve etkili bir orman yangın tehlike oranları karar destek sisteminin kavramsal çerçevesi, sistem tasarımı ve model yapıları oluşturularak, bir model KDS yazılımı gerçekleştirmektir.

1.2. Literatür Özeti

1.2.1. Orman Yangın Yönetiminde Karar Destek Sistemleri

Karar destek sistemleri, bir karar aşamasında toplanmış bilgilerden faydalanarak karar vermeyi kolaylaştıran bilgisayar tabanlı sistemlerdir (Shim vd., 2002). Özellikle son yıllarda, ormancılıkla ilgili konuların uluslararası boyut kazanması, orman kaynaklarının giderek azalması veya yapılarının bozulması, orman kaynaklarına olan talebin çeşitlenmesi ve artması, orman ekosistemlerinin sürdürülebilirliğini ön plana çıkarmaktadır (Keleş vd., 2012; Başkent, 2018). Orman yangınları da ormanların planlı olarak yönetilmesi, sürdürülebilirliğinin sağlanması ve faydalanmanın düzenlenmesinde çok önemli bir faktördür (Baysal, 2014). Bu sebeple, orman yangınlarının yönetiminde karar vericilere yardımcı olacak Karar Destek Sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Bilgili, 1999, 2016).

Orman yangınların yönetiminde söz sahibi olan karar vericiler, yangınlarına yönelik yapacakları planlamalara katkı sağlayacak her türlü kaynak, bilgi ve programdan faydalanmak durumundadırlar (Bilgili vd., 2001). Bu sebeple orman yangınları ile mücadelede dünyada kullanılan farklı KDS'ler bulunmaktadır (de Groot, Goldammer, vd., 2006). Orman yangın yönetim planlarının oluşturulması ve yangınla mücadele çalışmalarında yardımcı sistem olarak kullanılan KDS'lerin öncelikli amacı, yangınların önceden tespit edilebilmesi, kontrol altına alınabilmesi ve yangın sonrası yapılabilecek faaliyetlerde karar vericilere yardımcı olmaktır (Cheney ve Gould, 1995; Martell, 2001;

Taylor ve Alexander, 2003). Dünya genelinde orman yangınları ile mücadelede küresel, bölgesel ve ulusal ölçekte kullanılan karar destek sistemleri bu amacı gerçekleştirmeye yöneliktir (Tablo 1). Bu sistemlerin büyük bir kısmı erken uyarı sistemleri olarak tasarlanmış ve kullanılmaktadır. Sistemlerin küçük bir kısmı ise orman yangınları ile mücadelede kullanılacak komple bir sistem olarak tasarlanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Dünya’da orman yangınları ile mücadelede kullanılan karar destek sistemleri

Küresel Ölçekli	Küresel Orman Yangın Bilgi Sistemi (GWIS)
	Yangın Riski ve Vejetasyon Koruma Sistemi (NOAA/NESDIS)
	El Niño / Güney Asya Yangın Tahmin Sistemi (ENSO)
	Küresel Toprak Nem İndeksi
Bölgesel Ölçekli	Güneydoğu Asya Bölgesel Yangın Tehlike Oranları Sistemi (SEA FDRS)
	Yukarı Güneydoğu Asya (Tayland Hükümeti) Yangın Tehlike Oranları Sistemi
	Kalimantan Yangın Tahmin ve Aktivite Bilgi Sistemi
	Avrupa-Asya Meteorolojik Yangın Bilgi Sistemi
	Avrupa Orman Yangın Bilgi Sistemi (EFFIS)
	Alpine Orman Yangın Erken Uyarı Sistemi (ALPF FIRS)
	Amazon Yangın Risk Sistemi (UCI-NASA)
	Meksika ve Kıta Amerika’sı Yangın Takip Sistemi
Ulusal Ölçekli	
Kanada	Kanada Yangın Tehlike Oranları Sistemi (CFFDRS)
ABD	Orman Yangınları Değerlendirme Sistemi (WFAS)
	Ulusal Orman Yangın Tehlike Oranları Sistemi (NFDRS)
	Fırtına Tahmin Merkezi Meteorolojik Yangın Tahmin Sistemi (SPC)
Avustralya	Avustralya Yangın Tehlike Oranları Sistemi
Arjantin:	Arjantin Yangın Tutuşma İndeksi
Brezilya	Yangın Gözlem ve Tahmin Sistemi (NDVI)
Finlandiya	Finlandiya Orman Yangın İndeksi Sistemi
Almanya	Orman ve Çayır Yangın Tehlike İndeksi Sistemi
Yunanistan	Yunanistan Yangın Tehlike İndeksi
Endonezya	Endonezya Yangın Tehlike Oranları Sistemi
	Doğu Kalimantan Yangın Tehlike Oranları Sistemi
	Sumatra Yangın Tehlike Oranları Sistemi
İtalya	Bölgesel Veneto Yangın Tehlike Oranları Sistemi
	Sardunya Orman Yangın Erken Uyarı Sistemi
Güney Kore	Güney Kore Orman Yangın Tehlike Oranları Sistemi
Malezya	Malezya Yangın Tehlike Oranları Sistemi
Meksika	Orman Yangın Bilgi Sistemi

Tablo 1'in devamı

Hollanda	Hollanda Anlık Doğal Afet Risk Belirleme Sistemi
Yeni Zelanda	Meteorolojik Yangın Tahmin Sistemi
Polonya	Polonya Orman Yangın Tehlike İndeksi
Portekiz	Orman Yangın Önleme Meteorolojik Destek Sistemi
Rusya	Rusya Meteorolojik Yangın Risk Belirleme Sistemi
Güney Afrika	Net Tahmin Sistemi
	Zululand Meteorolojik Yangın İndeksi
İsveç	Orman ve Çayırılık Yangın İndeksi
Tayland	Tayland Yangın Tahmin Sistemi
	Günlük Yangın Tehlike Oranları Haritalama Sistemi
Ukrayna	Ulusal Yangın Tehlikesi Tahmin Sistemi
Vietnam	Vietnam Orman Yangın Erken Uyarı Sistemi

Dünya genelinde kullanılan mevcut sistemler, arazi veya laboratuvar çalışmaları sonucunda belirli yanıcı maddeler için geliştirilmiş fiziksel veya deneysel (ampirik) modellerin ülke ihtiyaçlarına göre güncellenmesi ile oluşturulmuştur. Sistemlerin büyük bir bölümü orman yangınları ile mücadelede erken uyarı sistemi mahiyetinde olduğu için kullanılan modeller girdi olarak genellikle meteorolojik verileri kullanır. Meteorolojik verilerin modellerle yorumlanması sonucunda elde edilen değerler ile yangın risk ve tehlike potansiyeli, bölgenin yangın istatistikleri, topoğrafyası ve yanıcı madde özellikleri dikkate alınarak belirlenen ölçekler yardımıyla derecelendirilir (Chandler vd., 1983).

Meteorolojik faktörlere göre yangın riskini derecelendiren birçok model, yanıcı madde, topoğrafya ve tutuşma kaynağını sabit olarak kabul eder. Böylece meteorolojik tahminlerin imkân verdiği çözünürlük ile yangın riskini bir bölge için önceden tahmin edebilir. Burada, yangın riski ve tehlikesi kavramlarını açıklamak gerekir. Yangın riski; belirli bir alanda insan ya da doğal nedenlerin (yıldırım) varlığı ve etkisi ile belirlenen yangının başlama durumunun olasılığını ifade eder (Çanakçıoğlu, 1985; Bachmann ve Allgöwer, 1998; Başaran vd., 2004; Sağlam vd., 2008; Chuvieco vd., 2010; del Hoyo vd., 2011).

Yangın tehlikesi ise, yangının çıkması durumunda yanıcı maddelerin tipi, miktarı, istiflenme düzeni ve nemi gibi özelliklerine bağlı olarak, yangının kontrol altına alınabilme güçlüğü ve meydana getireceği zarar potansiyelini ifade eder (Chandler vd., 1983; Çanakçıoğlu, 1985; Merrill ve Alexander, 1987; Neyişçi vd., 1999). Eğer herhangi bir alanda, yıldırım dâhil, yangının başlamasına neden olabilecek tüm yangın risk faktörleri ortadan kaldırılabiliyorsa yangın tehlikesi de ortadan kaldırılmış olur (Çanakçıoğlu, 1985). Örneğin orman yanıcı maddelerinin kar örtüsü ile kaplı olması ya da çok ıslak olmaları, risk

faktörünün yangın başlatılabilir olmasını ortadan kaldırır ve bu durumda yangın tehlikesinden de söz edilemez (Çanakçıoğlu, 1985, 1988). Bu sebeple yanıcı madde özellikleri ve topoğrafyayı sabit kabul eden modeller bir bölge için yangın risk ve tehlike ayrı ayrı derecelendiremez. Bu tür modellerin sağladığı tahminler için yangın risk ve tehlike potansiyeli kavramı kullanılabilir (Merrill ve Alexander, 1987).

Dünya genelinde kullanılan karar destek sistemlerine altlık sağlayan fiziksel ve deneysel modeller ile bir bütün olarak karar destek sistemleri aşağıda verilmiştir.

1.2.1.1. Angström İndeksi

Yangın risk ve tehlike potansiyelinin belirlenebilmesi için İsveç'te geliştirilmiş olan model, basit bir eşitliğe dayanır (Angström, 1942) (1). Bu indeks, yalnızca hava sıcaklığı ve bağıl nemi kullanarak belirli bir alan için yangın risk ve tehlike potansiyelini derecelendirir (Willis vd., 2001).

$$I = \left(\frac{R}{20} \right) + \left[\left(\frac{27-T}{10} \right) \right] \quad (1)$$

Burada;

I = Angström İndeksi,

R = Bağıl Nem (%),

T = Hava Sıcaklığı (°C)'ni ifade eder.

Sonuçların yorumlanması:

> 4,0	Yangın çıkma ihtimali yok,
4,0 – 2,5	Yangın çıkma ihtimali düşük,
2,5 – 2,0	Yangın çıkma ihtimali muhtemel,
< 2,0	Yangın çıkma ihtimali yüksek, şeklindedir.

Angström indeksi, yalnızca sıcaklık ve bağıl nemi esas aldığı için kullanımı kolaydır. Ancak, orman yanıcı maddelerinin nem durumuna ilişkin herhangi bir bilgi içermemesi ve orman yangınları için kritik öneme sahip rüzgâr parametresini dikkate almaması, yangın risk ve tehlike potansiyeli tahmininde genel ve kaba bir tahmin yapmasına neden olur. Ayrıca model, yağış miktarını da dikkate almadığı için yanıcı maddelerin hava hallerine bağlı kuruma süreçleri hakkında bilgi vermez.

1.2.1.2. Nesterov Tutuşma İndeksi

Tutuşma indeksi modeli Rusya'da geliştirilmiş olup, temel olarak Angström indeksine benzemektedir. Bu indeks, girdi olarak sıcaklık ve bağıl nem ile birlikte, yağışın yanıcı madde nemi üzerindeki etkisini de kullanır (Nesterov, 1949) (2).

$$Nİ = \sum_{i=1}^W (t_i - D_i) \times t_i \quad (2)$$

Burada;

$Nİ$ = Nesterov Tutuşma İndeksi,

W = 3 mm'nin üzerindeki yağıştan sonra geçen gün sayısı,

t = Hava Sıcaklığı (°C),

D = iğ noktası sıcaklığı (°C)'ni ifade etmektedir.

Sonuçların yorumlanması;

< 300	Yangın tehlikesi yok
301 – 1000	Yangın tehlikesi orta
1001 – 4000	Yangın tehlikesi yüksek
> 4000	Yangın tehlikesi ekstrem, şeklinedir.

Nesterov tutuşma indeksi modeli, yağış miktarının 3 mm'nin üzerinde olduğu dönemde, yanıcı maddelerin tutuşmayacağını varsayar. Bu sebeple model, yağış miktarının 3 mm'nin üzerine çıktığı durumlarda, yangın risk ve tehlike potansiyelini 0 olarak hesaplar (şkvarenina vd., 2004). Model, yanıcı maddelerin nem miktarını da tahmin etmekte ve tutuşma koşullarına ulaşmasını derecelendirmektedir. Ayrıca bu model, yanıcı madde kuruma oranının, buhar basıncı açığı ve kuruma periyodu uzunluğu ile ilişki olduğunu kabul etmektedir.

Nesterov kuraklık indeksi Rusya'da ve aynı vejetasyon yapısına sahip çevre ülkelerde uzun yıllardır kullanılmaktadır (McRae vd., 2006). Mevcut indeks modeli, yapılan çalışmalar ile geliştirilmiş ve indeks hesaplamasına bir K faktörü olarak yağış miktarı entegre edilmiştir (Venevsky vd., 2002). Akdeniz'e kıyısı bulunan Avrupa ülkelerinde yapılan çalışmalarda, geliştirilmiş Nesterov kuraklık indeksinin (K faktörü entegreli) (3) orman yangını tehlikesinin belirlenmesinde başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir (Viegas vd., 1999).

$$GNİ = K \times \sum_{i=1}^W (t_i - D_i) \times t_i \quad (3)$$

Burada;

GNİ = Geliştirilmiş Nesterov Tutuşma İndeksi,

K = Yağış miktarına bağlı katsayıyı, ifade etmektedir.

K katsayısının belirlenmesinde 19 mm'ye kadar olan yağış miktarları 7 gruba ayrılmıştır. Bu gruplara ilişkin katsayılar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Geliştirilmiş Nesterov Tutuşma İndeksi yağış miktarına bağlı olarak K katsayısı değerleri

Yağış Miktarı (mm)	0	0,1 - 0,9	1,0 - 2,9	3,0 - 5,9	6,0 - 14,9	15,0 - 19,0	19 <
K değerleri	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0

Elde edilen K değerlerine bağlı olarak Geliştirilmiş Nesterov İndeksinin tahmin sonuçları yorumlanması ise;

- 100 – 1000 Yangın tehlikesi çok düşük
- 1000 – 2500 Yangın tehlikesi düşük
- 2501 – 5000 Yangın tehlikesi orta
- 5001 – 10000 Yangın tehlikesi yüksek
- > 10000 Yangın tehlikesi çok yüksek, şeklinde yapılmaktadır.

1.2.1.3. Fransız Yangın Risk ve Tehlike İndeksi

Fransa'da geliştirilen ve kullanılan model, kuraklık indeksi ile rüzgâr hızını birlikte değerlendirerek yangın risk ve tehlike potansiyelini derecelendirir (Sol, 1992). Dönemsel kuraklık indeksi, toprak nem kapasitesi ve potansiyel evapotranspirasyon ile hesaplanmaktadır. Potansiyel evapotranspirasyon ise günlük yağış miktarı, sıcaklık ve bağıl nemin girdi olarak kullanıldığı bir model yardımıyla hesaplanmaktadır (4).

$$D = C \times e^{\left(-\frac{E}{C}\right)} \quad (4)$$

Burada;

D = Kuraklık İndeksi,

C = Topraktaki mevcut su miktarı (mm),

E = Potansiyel evapotranspirasyon (Thornthwaite, 1948)'nu ifade etmektedir.

Yangın Risk ve Tehlike Potansiyeli = Kuraklık İndeksi + Rüzgâr Hızı

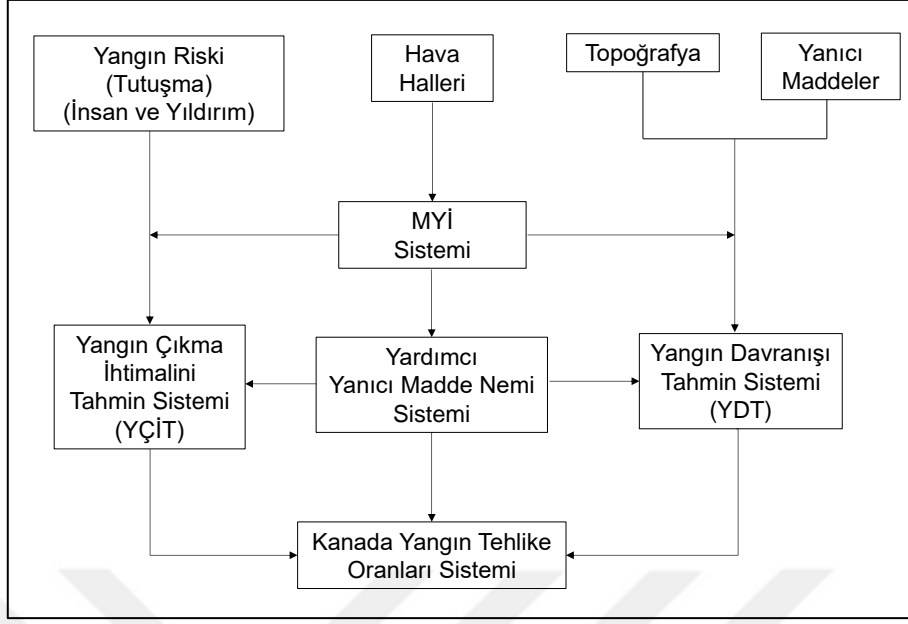
Şeklinde hesaplanmaktadır.

Bu modelde, potansiyel evapotranspirasyonun toprağın kurummasına etkisi, yanıcı maddelerin kuruma indeksinin belirlenmesine temel oluşturur. Hesaplanan kuraklık indeksi ile alanda yanıcı maddenin bulunması durumunda tutuşma potansiyeli de belirlenmiş olur. Modelde belirlenen kuraklık indeksi rüzgâr hızı ile birlikte değerlendirildiğinde, alanda gerçekleşebilecek potansiyel yangın yayılma oranı da belirlenmiş olur. Böylece kuraklık indeksi formülü, hem yanıcı maddelerin tutuşma kolaylığının belirlenmesi hem de meydana gelebilecek bir yangının potansiyel yayılma oranının derecelendirilmesini sağlar (Viegas vd., 1999).

1.2.1.4. Kanada Orman Yangın Tehlike Oranları Sistemi

Yangın Tehlike Oranı, yangın risk ve tehlike potansiyelinin ayrı ayrı ve bir bütün olarak değerlendirilmesi ve yorumlanmasıdır (Countryman, 1966; Merrill ve Alexander, 1987). Yangın tehlike oranları sistemi ise hem orman yangınları ile mücadele çalışmalarında hem de yangınların bir yönetim aracı olarak kullanılmasını içeren çeşitli ormancılık uygulamalarında kılavuz olarak kullanılabilen niteleyici ve/veya sayısal yangın potansiyeli indeksleri üretir (Lee vd., 2002).

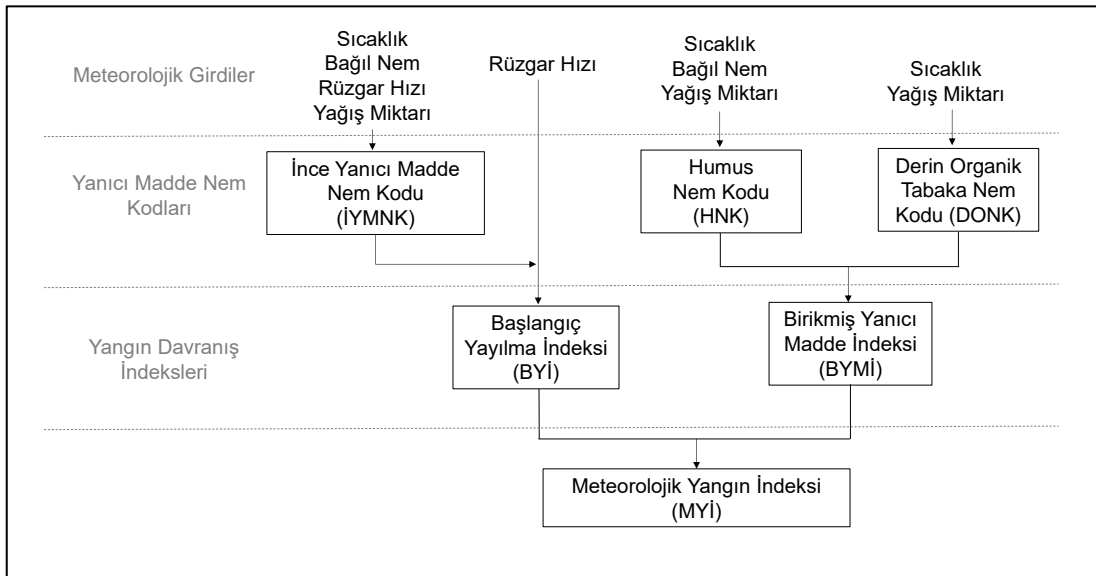
Kanada Orman Yangın Tehlike Oranları Sistemi, Kanada Ormancılık Servisi tarafından ulusal YTOS sistemi olarak 1920'li yılların ortalarında yapılan çalışmalar ile geliştirilmeye başlanmıştır (Stocks vd., 1989; Alexander vd., 1996; Van Nest ve Alexander, 1999). Sistem tasarımı ikisi ana olmak üzere 4 alt bileşenden oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Kanada YTO sisteminin yapısı ve bileşenleri

Sistemin önemli iki bileşenini Meteorolojik Yangın İndeksi (MYİ) Sistemi (Van Wagner, 1987a, 1998) ve Yangın Davranışı Tahmin Sistemi (YDT) (CFDG, 1992; Taylor vd., 1996) oluşturur.

Kanada YTO sistemi, uzun yıllar orman yangınları ile mücadelede sadece MYİ sistemi ve bileşenlerini temel alarak kullanılmıştır (Van Wagner, 1974, 1987a). Kanada MYİ sistemi, yanıcı maddelerin tutuşabilirliğini belirler ve yangının başlaması durumunda potansiyel yangın yayılma oranı ve yangın şiddeti hakkında bilgi verir (Van Wagner ve Pickett, 1985; Van Wagner, 1987a) (Şekil 2).



Şekil 2. Kanada YTO sisteminin ana bileşeni olan MYİ sisteminin yapısı ve bileşenleri

Sistem, standart bir yanıcı madde tipinde yangın risk ve tehlike potansiyelini derecelendirmektedir (Van Wagner, 1974). Bu sebeple MYİ sistem çalışmaları, ağırlıklı olarak Kanada orman ekosistemlerinde yaygın olarak bulunan Banks çamı (*Pinus banksiana*) ve Kontorta Çamı (*Pinus contorta*) üzerine yoğunlaştırılmıştır. Yangınların büyük ve önemli bir kısmı bu iki türün saf veya karışımında bulunduğu meşcerelerde meydana gelmektedir (Rowe, 1972).

Kanada MYİ sistemi hesaplamasında, sadece sıcaklık, bağıl nem, yağış miktarı ve rüzgâr hızı girdi olarak kullanılır. Bu verilerin herhangi bir sabit veya mobil meteoroloji istasyonundan kolaylıkla elde edilebilmesi, belirli bir alan için yangın risk ve tehlike potansiyelinin kolaylıkla hesaplanması, sistemin kullanılabilirliğini arttırmaktadır.

Sistemin diğer önemli bileşeni olan YDT sisteminin temelinde yer alan modeller, yoğun arazi çalışmaları ve doğal yangınlarda yangın davranışının gözlenmesi ile oluşturulmuştur (Stocks vd., 1989; Alexander vd., 1996). Yapılan çalışmalar ile bu güne kadar Kanada ekosisteminde doğal olarak bulunan 16 farklı yanıcı madde tipi için yanıcı madde modeli geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar ile YDT sistemi, yangın yöneticilerinin kullanabileceği Prometheus adıyla yangın davranışı benzetim yazılımı olarak gerçekleştirilmiştir (Tymstra, 2010).

Kanada YTO sistemi tasarımında yapımı planlanan iki alt sistem daha bulunmaktadır. Bunlardan ilki, Kanada'nın farklı bölgelerinde yıldırım ve insan kaynaklı yangınları tahmin etmesi planlanan Yangın Çıkma İhtimali Tahmin Sistemi (YÇİT)'dir. YÇİT sistemine yönelik Kanada'nın belirli bölgelerinde ve özellikle yıldırım kaynaklı yangınların tahmin edilmesine yönelik çalışmalar bulunmaktadır (Martell vd., 1989; Kourtz ve Todd, 1991). Ancak sistem henüz ülke genelinde kullanılabilecek bir yapıda değildir (Lee vd., 2002).

YTO sistemi içerisinde planlanan diğer alt sistem ise, diğer üç ana sisteme, yanıcı maddelerin durumu hakkında bilgi sağlaması planlanan Yardımcı Yanıcı Madde Nemi Sistemi'dir. Bu sistemin iki amacı bulunmaktadır; *i*) belirlenen standart yanıcı maddenin dışında, orman yangınları açısından önem arz eden kesim artıkları, otlar, liken vb. diğer yanıcı maddelerin nem durumu hakkında bilgi vermek, *ii*) arazi yüzü şekli, enlem-boylam, mevsim (mevsime göre arazideki canlı yanıcı maddenin türü ve durumu vb.) gibi özellikler hakkında bilgi vermektir. Ancak bu sistem de tasarım aşamasında olup, henüz kullanılmamaktadır (Stocks vd., 1989).

Kanada YTO sisteminin en önemli bileşeni olan MYİ sistemine ek olarak, MYİ sisteminden almış olduğu yanıcı madde nem kodları ile yangın davranış indeksleri

yardımıyla yanıcı madde özellikleri, topoğrafya ve hava hallerine bağlı olarak yangın davranışını tahmin eden YDT sisteminin oluşturulması, sistemin farklı bölge ve ülkelerde kolaylıkla kullanılmasını zorlaştırmıştır (Willis vd., 2001). Özellikle YDT sistemindeki yangın davranış modellerinin farklı yanıcı madde tiplerine göre tahmin gerçekleştirilmesi ve mevcut modellerin diğer ülkelerdeki yanıcı madde tiplerine uyarlanmasının görece zorluğu bu durumun en önemli nedenidir. Ancak, Kanada MYİ sistemi hala farklı bölge ve ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kanada YTOS sistemi, Yeni Zelanda, Fiji, Alaska, Venezüella, Meksika, Şili, Arjantin, Endonezya, Malezya ve Avrupa'daki birçok ülkede test edilmiş ve ülke yanıcı madde özelliklerine göre uyarlanarak kullanılmaktadır (Viegas vd., 1999; GOFC-GOLD, 2003; Dimitrakopoulos vd., 2011). Sistem, söz konusu ülkelerin yangınlarla mücadele birimlerinde, orman yangınlarına yönelik yangın önleme ve yangın yönetim planlarına katkı sağlamaktadır (de Groot, Field, vd., 2006). Bu durum, sistem yapısının dünya geneline uyarlanabileceği konusunda bir öngörü oluşturmaktadır (Fogarty vd., 1998).

Güney Akdeniz'deki bazı Avrupa Birliği ülkeleri, Kanada YTO sisteminin alt sistemi olan MYİ sisteminin, Avrupa genelinde kurulacak ve 3 günlük yangın risk ve tehlike potansiyelini belirtecek olan Avrupa Orman Yangın Bilgi Sistemin (EFFIS) resmi altlığı olmasını talep etmişlerdir (Lopez vd., 2002). Günümüzde, Avrupa genelinde yangın risk ve tehlike potansiyeli tahmini yapan EFFIS (URL-1, 2018) sistemi, Kanada MYİ sistemine küçük uyarlamalar yapılarak oluşturulmuş bir sistemdir.

EFFIS sistemin geliştirilerek dünya genelinde kuraklık ve yangın tehlike potansiyeli tahmini yapmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır (Pettinari, 2015). Bu çalışmaların sonucunda, Avrupa komisyonun Kopernikus Programı Acil Durum Yönetimi Birimi bünyesinde bulunan Küresel Orman Yangınları Bilgi Sistemi (GWIS) oluşturulmuştur. Oluşturulan GWIS sistemi mevcut EFFIS sistemi, Küresel Karasal Gözlem Sistemi (GTOS), Orman Örtüsünün Küresel Gözlemlenmesi - Karasal Dinamikleri Küresel Gözlemlenmesi (GOFC-GOLD), Orman Yangını Yönetim Ekibi (GOFC Fire IT) ve bölge ülkelerinin desteği ile oluşturulmuştur. Ayrıca GWIS sistemi, Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay (NASA) Dairesi'nin Dünya Gözlemleri Çalışma Grubu Programı tarafından da desteklenmektedir. Sistem bünyesinde kullanılmak üzere uydu görüntüleri yardımıyla dünya geneli Küresel Yanıcı Madde Sınıflandırma Sistemi (FCCS) oluşturulmuştur. Toplamda oluşturulan 274 farklı yanıcı madde tipinin, GWIS sisteminin yangın davranışı, yanıcı madde tüketimi, karbon salınımının değerlendirilmesi gibi çalışmalarında kullanılması

planlanmaktadır (Pettinari, 2015). GWIS sistemine çevrimiçi ulaşılabilmektedir (URL-2, 2018).

Yeni Zelanda, Kanada MYİ sistemini ülkedeki egzotik çam plantasyonu sahalarında kullanılmak üzere 1978 yılında adapte etmiştir (Pearce ve Alexander, 1994). Sistemin ilk yıllarında çam plantasyonları için oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiş ve daha sonra mevcut sistemin makilik alanlar dâhil, ülke genelindeki tüm yanıcı madde tiplerinde kullanılmasına karar verilmiştir. Ancak yeterince başarılı sonuçlar alınamamıştır. Daha sonra ülkeye özgü yanıcı madde tipleri için MYİ sisteminde kullanılacak yanıcı madde modelleri geliştirmek için 1992 yılında bir araştırma programı başlatılmıştır (Fogarty vd., 1998).

Kanada/Ontario Doğal Kaynaklar Bakanlığı, 1981 ve 1991 yılları arasında Çin'in kuzeydoğusunda kullanılmak üzere model bir YTO sistemi için araştırma programı gerçekleştirmiştir (White ve Rush, 1990). Ancak Çin'in farklı kültürel ve yönetsel yapısı nedeniyle, Kanadalı uzmanlar birçok problem ile karşılaşmışlardır. Yangınlarla mücadeleye yönelik alınan kararların sadece üst düzey yöneticilere tarafından verilmesi ve yangınlara müdahale konusunda topyekûn müdahale seçeneğinin benimsenmesi, sistemin ülkede kurulmasını engellemiştir. Ayrıca, Kanada yapımı elektronik sistemler ve otomatik meteoroloji istasyonlarının, Çin'de bakım ve onarım problemleri ortaya çıkmıştır (Dimitrakopoulos vd., 2011).

Kanada sistemi kullanım kolaylığı ve yangınlarla mücadelede sunmuş olduğu farklı çıktılar sebebi ile Meksika, Güneydoğu Asya ve ABD - Florida'da da geniş ölçekli olarak kullanılmaktadır (Lee vd., 2002). Arjantin'de Ulusal Orman Yangın Yönetim Planlarının Kanada MYİ sistemi ile yapılmasına yönelik 2001 yılında proje gerçekleştirilmiş ve 3 pilot alanda planlamalar gerçekleştirilmiştir (Taylor, 2001).

Endonezya ve Malezya'da kullanılan YTOS sistemi, Kanada YTOS sistemin ülke yanıcı madde tipleri, iklim ve yangın rejimi şartlarını uyarlanmış halidir. Söz konusu ülkelerde gerçekleştirilmiş olan sistem, Kanada MYİ sisteminin yanında Kanada Yangın Davranışı Tahmin (YDT) sistemi de barındırmaktadır. Kurulan sistem ülke genelinde, orman yangınları ile mücadelede strateji geliştirmek, yangın önleme ve müdahale planlarının yapılmasında kullanılmaktadır (de Groot, Field, vd., 2006).

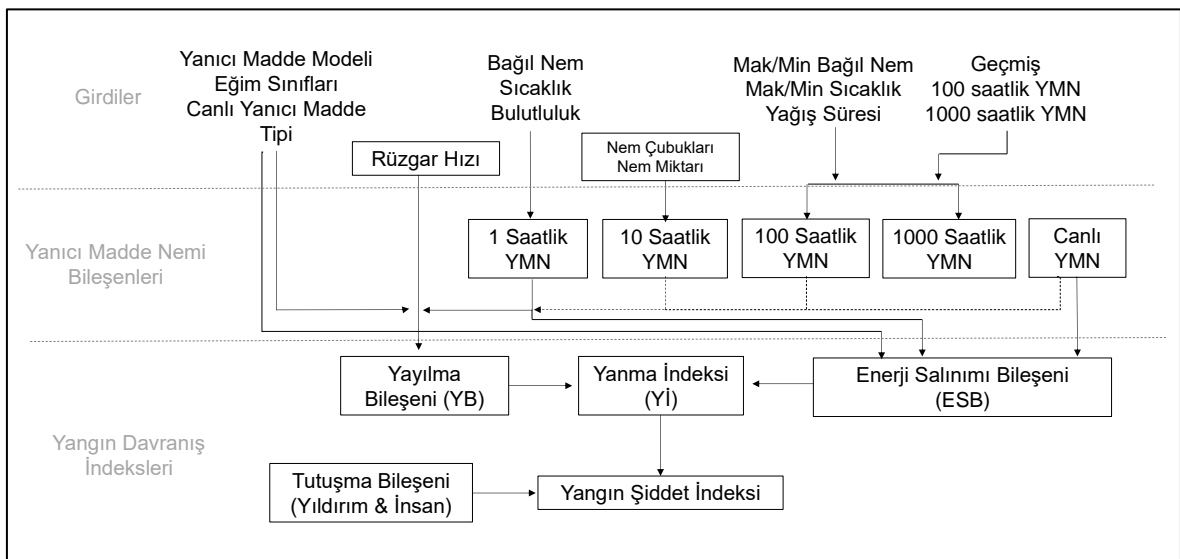
Portekiz ve İspanya gibi birçok Avrupa ülkesi Kanada YTOS sistemi bileşenlerinin, Akdeniz ekosistemlerine uyarlanmış halini kullanmaktadır. Yapılan çalışmalarda, Kanada MYİ sisteminin Güney Portekiz, İspanya, Fransa ve İtalya'da çıkan yangınlar için yüksek

korelasyonlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir (Viegas vd., 1999). Ancak özellikle Güney Avrupa'daki nispeten daha kurak Akdeniz coğrafyalarında, sistemin daha kapsamlı şekilde test edilmesi gerekliliği, yapılan çalışmalar ile belirlenmiştir (Viegas vd., 1994; Dimitrakopoulos ve Bemmerzouk, 2003).

1.2.1.5. ABD Ulusal Yangın Tehlike Oranları Sistemi

ABD Ulusal Yangın Tehlike Oranları Sistemi'nin (NFDRS), temelini Rothermel'in 1972 yılında geliştirmiş olduğu yangın davranış modeli oluşturmaktadır (Rothermel, 1972). ABD Ulusal YTOS sistemi ülke genelinde ilk defa 1972 yılında kullanılmıştır (Deeming vd., 1972). Sistem, 1978 yılında büyük oranda güncellenmiş (Deeming vd., 1978) ve 1988 yılında ise yanıcı madde nem tahmini konusunda yine bir güncelleme yapılarak uzun süre kullanılmıştır (Burgan, 1988). Sistemin ana yangın yayılma modeli Güney Afrika, Avrupa, Asya ve Avustralya kıtalarında test edilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Willis vd., 2001).

ABD YTOS modelleri, ülke genelinde farklı yanıcı madde tipleri ve hava halleri için uyarlanmış ve kullanılmaktadır. Sistem, temel olarak fiziksel yangın davranış modellerini esas almaktadır (Deeming vd., 1972; Deeming vd., 1978; Willis vd., 2001). Bu modellerin avantajı, temel yanma süreçlerini (enerji salınımı vb.) içermesidir. Modellerin dezavantajı ise son derece karmaşık bir yapıda olması ve ortaya çıkabilecek yeni durumlara karşı modellerin uyarlanabilmesinin zor olmasıdır. Sistemin yapısı ve işleyişi Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. ABD Ulusal YTOS sisteminin yapısı ve bileşenleri (YMN=Yanıcı Madde Nemi)

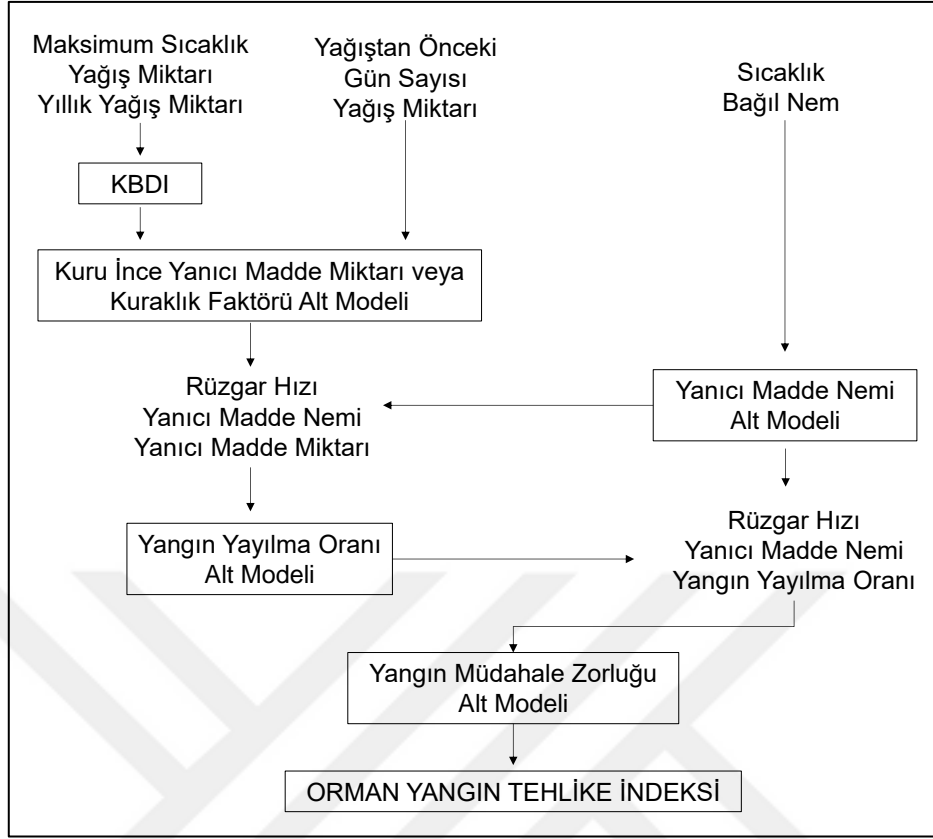
Amerikan Ulusal YTO Sisteminin bir diğ er olumsuz yanı ise ölçülmesi ve elde edilmesi zor olan bulutluluk ve yağış süresi gibi verilere ihtiyaç duymas ıdır. Bu durum sistemin basit bir şekilde farklı alanlarda kullanılmasını engellemektedir. Sistemdeki yanıcı madde modelleri birçok yanıcı madde tipini ve ayrıca canlı yanıcı madde nemini de kapsamaktadır. Bu durum özellikle tepe yanıcı madde miktarının fazla oldu ğ u maki gibi yanıcı madde tiplerinde tepe yangınlarının tahmin edilmesine yardımcı olmaktadır.

Sistemin çıkt ıları Yayılma Bileş eni (YB), Enerji Salınımı bileş eni (ESB) ve Yanma İ ndeksi (Yİ)'dir. Yapılan çalışmalar sonucunda, sisteme tutuş ma bileş enleri de eklenmiştir (Burgan, 1988). Böylece, yangının orman ekosistemine olan etkisinin bir göstergesi olan Yangın Ş iddet İ ndeksi hesaplanabilmektedir. Sonuç olarak ABD YTO sistemi yayılma, enerji salınımı, yanma, tutuş mayaya insan etkisi, tutuş mayaya yıldırım etkisi ve yangın ş iddeti olmak üzere 6 adet indeks çıkt ısı verebilmektedir.

ABD YTO Sistemi, yeni geliş en teknolojiler, uzun yıllardır edinilen tecrübe ile ülke genelinde kullanılmaya başlandıktan yaklaşık kırk yıl sonra önemli oranda güncellemesi önerilmektedir (URL-3, 2016). Sistemin yapı ve işleyişinde önemli bir de ğ iş iklik yapılmamakla birlikte, kullanım zorlu ğ u nedeniyle yanıcı madde model sayıları 40'tan 4'e indirilmesi önerilmiştir. Ayrıca 1970'li yıllarda geliştirilen ve uzun süre kullanılan ölü yanıcı madde nem tahmin modelleri (Fosberg ve Micheal, 1971; Fosberg vd., 1971), zamanın koşulları ve yapılan analizler (Carlson vd., 2007) sonucunda yeni yanıcı madde nem modelleri (Nelson, 2000) ile güncellenmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

1.2.1.6. McArthur Orman ve Çayır Yangın Tehlike İ ndeksi

Avustralya'da yangın tehlike oranları ilk olarak 1936 yılında kullanılmıştır (McArthur, 1958). Güneydo ğ u Avustralya'da 1939 yılında gerçekleş en büyük bir yangın sonrası, yangınlarla mücadeleye ve yangın araştırmalarına ağırlık verilmiş, bunun sonucunda 1958 yılında McArthur'un Orman Yangın Tehlike İ ndeksi (YTI) ortaya çıkmıştır (McArthur, 1958). Model geliştirmeleri günümüze kadar devam etmiş olup (McArthur, 1958, 1960, 1962, 1966, 1967) günümüzde sistemin Mark IV sürümü Güneydo ğ u Avustralya'da kullanılmaktadır. Söz konusu indeks, yangınlara müdahale zorluk derecelerini 5 sınıfa ayırmaktadır (Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek ve Ekstrem). McArthur Orman YTI'nin yapısı ve işleyiş i Ş ekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. McArthur Orman Yangın Tehlike İndeksi'nin yapısı ve girdileri (KBDI=Keetch-Byram Kuraklık İndeksi)

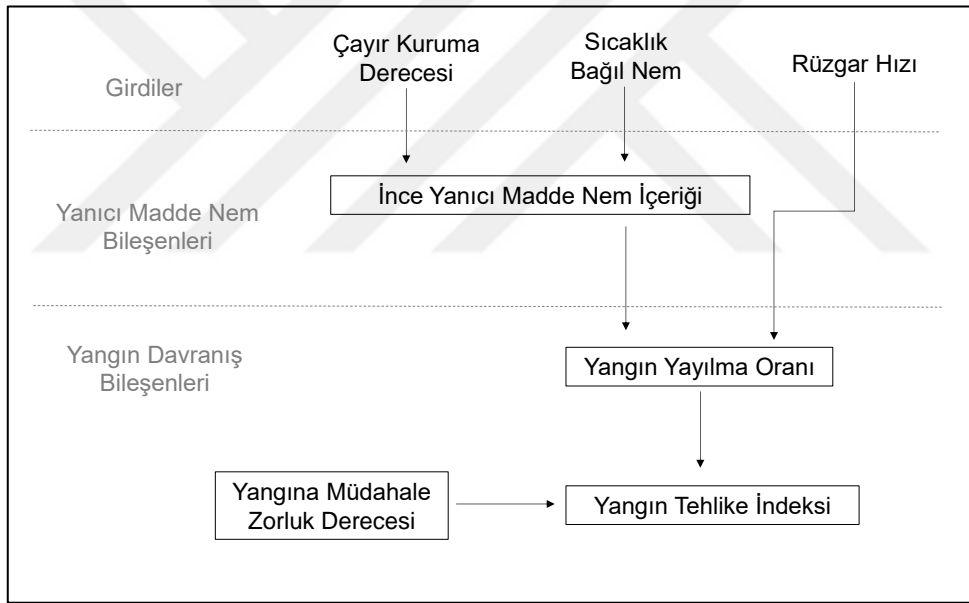
Sistem, çalışabilmek için hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı, yağış miktarı, son yağış öncesi gün sayısı ve Keetch-Byram (KBDI) (Keetch ve Byram, 1968) kuraklık indeks değeri bilgilerine ihtiyaç duyar. KBDI ise, girdi olarak günlük maksimum sıcaklık, günlük yağış miktarı, bir önceki günün KBDI değeri ve ortalama yıllık yağış miktarını kullanır.

İndeks değerinin büyüklüğü, hektardaki yanıcı madde yükü 12 ton olan, düz ve açık okalıptüs ormanında gerçekleşen yangının nispi yangın yayılma oranıdır. Açık okalıptüs ormanları dışındaki diğer yanıcı madde tiplerinde indeks değeri ile oransal yangın yayılma oranı farklı olabilmektedir (McArthur, 1967). Sistemin sağlamış olduğu indeks değeri, yangınla mücadele zorluğuna göre düşükten (yangına müdahale kolay olduğu durum), ekstreme (yangına doğrudan müdahalenin, yangının yayılma oranının yüksek olması ve yangın hattının önünde meydana gelen yoğun yangın atmalarından dolayı mümkün olmadığı durum) doğru derecelendirilir (McArthur, 1962).

McArthur'un Yangın Tehlike İndeksinin temelinde, açık ormanlık alanlardaki yangın davranışını belirleyen ampirik model tipi bulunmaktadır. Ancak indeks, bütün ormanlık alanlar için uyarlanmış ve kullanılmaktadır. Yangın davranışı, farklı yanıcı madde tiplerinde farklılık gösterse de, genel olarak diğer alanlar için de yangın tehlikesi ortaktır. Farklı yanıcı

madde tiplerinin açık ormanlık alanlara uyarlanması, yangın tehlike sınıf aralıklarının yanıcı madde tiplerine göre değiştirilmesinden ibarettir. Ancak, Avustralya’da çayır ekosistemlerinin fazlalığı, bu alanlarda yangın tehlikesin yüksek olması ve ayrıca yangınların yerleşim alanlarını tehdit etmesi sebebi ile çayır yanıcı madde tipi için yeni bir yangın tehlike indeksi geliştirilmiştir.

McArthur’un Çayır YTI’si, temelde Orman YTI’si ile aynıdır. Ancak bu indeks değeri için kuru yanıcı madde neminin hesaplatılmasında, Kuraklık İndeksi ve Kuraklık Faktörünün yerine, çayırın kuruma derecesi girdi olarak kullanılır (Griffiths, 1999) (Şekil 5). Çayır kuruma derecesi, toplam kuru (ölü) çayır ağırlığının, yeşil (canlı) çayır ağırlığına oranı ile hesaplanmaktadır. Örneğin bu oran %80 ise, toplam çayır biokütlesinin %80’i kuru çayır olarak değerlendirilir (McArthur, 1960). Sistemin yapısı ve bileşenleri Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 5. McArthur Çayır Yangın Tehlike İndeksi'nin yapısı (Mark IV)

Yeşil çayırın nem içeriği, bitkisel fizyolojik süreçler tarafından etkilenmekte ve nem içeriği genellikle tutuşmanın gerçekleşebilmesi için gerekli miktarın üzerindedir. Ancak, kuru çayırın nem içeriği tamamıyla atmosferik olaylardan özellikle de sıcaklık ve bağlı nemden etkilenmektedir. Bu yüzden indeks hesaplamasında ince yanıcı madde nem içeriği, çayır kuruma derecesi ve yanıcı madde nemini etkileyen çevre faktörleri ile birlikte hesaplanmaktadır. İnce yanıcı madde nemi, rüzgâr hızı ile kombine edilerek yangın yayılma oranı hesaplanır. Yangın yayılma oranı, alanın eğim değerinin arttığı ve çayır boyunun yükseldiği alanlarda artarken, yeni yanmış veya aşırı otlatılmış alanlarda düşmektedir.

Sistemin Mark V sürümüne çayır yanıcı madde miktarı eklenmiştir. Ancak yapılan çalışmalar ile yeni sürümünün Mark IV versiyonundan daha başarı sonuçlar vermediği gözlenmiştir (Willis vd., 2001). Bu yüzden Avustralya’da genellikle Mark IV versiyonu kullanılmaktadır.

Avustralya Ormanlık Birimi ve Üniversiteler tarafından 2014 yılında yapılan değerlendirmeler sonucunda, yeni bir yangın tehlike oranları sisteminin, zamanın koşulları ve gelişen teknolojiler neticesinde geliştirilmesi gerekliliği kararlaştırılmıştır (Matthews vd., 2018). 1960’lı yıllarda geliştirilen mevcut sistemin yerine, yeni bir yangın tehlike oranları sisteminin kurulmasına yönelik yeni çalışmalar yapılmaktadır. Çalışmalar neticesinde geliştirilen model yangın tehlike oranları sistemi, henüz deneme aşamasındadır (Fox-Hughes vd., 2018).

1.2.2. Dünya’da kullanılan YTO sistemlerinin karşılaştırılması

Orman yangınları ile mücadelede dünya genelinde kullanılan YTO sistemlerin (Tablo 1) model yapıları, 1.2.1 başlığı ile belirtilen sistem modellerinin doğrudan kullanılması veya ülke yanıcı madde özelliklerine göre uyarlanarak kullanılması ile oluşturulmuştur. Kullanılan sistemlerin girdi olarak kullandıkları veriler Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Dünya genelinde orman yangınları ile mücadelede karar destek sistemi olarak en fazla kullanılan sistemlerin kullandıkları verilerin karşılaştırmaları

SİSTEM	Rüzgâr	Bağıl Nem	Sıcaklık	Yağış Miktarı	Yanıcı Madde Modeli	Tutuşma Modeli
İsveç Angström İndeksi	Hayır	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Hayır
Nesterov Tutuşma İndeksi	Hayır	Hayır	Evet	Evet	Hayır	Hayır
Fransız YTO	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır	Hayır
Kanada YTOS	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet ¹	Evet ¹
ABD YTOS	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet ²	Evet
McArthur Orman YTI	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet ³	Hayır
McArthur Çayır YTI	Evet	Evet	Evet	Hayır	Evet ⁴	Hayır

¹ Ancak MYİ Sisteminde bulunmaz, sadece standart yanıcı maddeler için geçerlidir.

² Amerikan sisteminde 4 farklı yanıcı madde modeli bulunmaktadır.

³ Sadece okalıptüs ormanları için geçerlidir.

⁴ Çayır yangınlarına dayanır ve sadece kuru ot biyokütlesini temel alır.

Orman yangınları ile mücadelede dünyada kullanılan sistemlere bakıldığında, 3 sistem ön plana çıkmaktadır. Bunlar; Kanada YTOS, Amerikan Ulusal YTOS ve McArthur Orman YTI' dir. Bu sistemlerin bazı özellikleri Tablo 4'de verilmiş ve sistemlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Sistem yapılarının içeriği ve sistemin ihtiyaç duyduğu girdiler de ilgili tabloda incelenmiştir (Tablo 4).

Tablo incelendiğinde ABD YTOS'un diğer sistemlere göre karmaşık bileşenler içerdiği ve girdi olarak hızlı ve kolay elde edilemeyecek verileri kullandığı anlaşılabilmektedir.

Tablo 4. Dünya genelinde orman yangınları ile mücadelede en fazla kullanılan karar destek sistemlerinin karşılaştırılması

SİSTEM	ABD YTOS	KANADA YTOS	McArthur YTI
Girdiler	<ul style="list-style-type: none"> • Sıcaklık • Bağıl Nem • Rüzgâr Hızı • Bulutluluk • Yağış süresi • Yanıcı Madde Modelleri • Eğim Sınıfları • İklim Sınıfları 	<ul style="list-style-type: none"> • Sıcaklık • Bağıl Nem • Rüzgâr Hızı • Yağış Miktarı • Topoğrafya • Yanıcı Madde Modeli 	<ul style="list-style-type: none"> • Sıcaklık • Bağıl Nem • Rüzgâr Hızı • Yağış Miktarı
Çıktılar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Yangın Yayılma Bileşeni ▪ Enerji Salınımı Bileşeni ▪ Yanma İndeksi ▪ Tutuşma İndeksi ▪ Yangın Şiddet İndeksi 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Başlangıç Yayılma İndeksi ▪ Birikmiş Yanıcı Madde İndeksi ▪ Meteorolojik Yangın İndeksi 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Yangın Tehlike İndeksi ▪ Kuraklık Faktörü
Geçerli Olduğu Alan Yapısı	Düz açık alanlar ve atmosferik etkilere açık eğimli alanlar	Belirli kapalılığa sahip orman alanları	Atmosferik etkilere açık düz alanlar
Model Yapısı	Fiziksel modeller	Ampirik modeller ve yarı fiziksel modeller	Ampirik modeller

Dünya genelinde öne çıkan sistemler değerlendirildiğinde, sistem yapısı, kullanım kolaylığı ve farklı coğrafyalara uygulanabilirliği bakımından Kanada YTO sistemi ön plana

çıkılmaktadır. Ancak, Kanada YTO sistemi boreal kuşak ormanları için geliştirilmiş olup farklı bölgelerde (özellikle Akdeniz orman ekosistemi) herhangi bir uyarlamaya tabi tutulmadan kullanılması yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir (Dimitrakopoulos vd., 2011). Bu yüzden sistem yapısı itibari ile kullanışlı olan Kanada YTO sistemi, farklı bölgeler için kullanılan modellerin yanıcı madde özelliklerine göre uyarlanması ile kullanılabilir.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

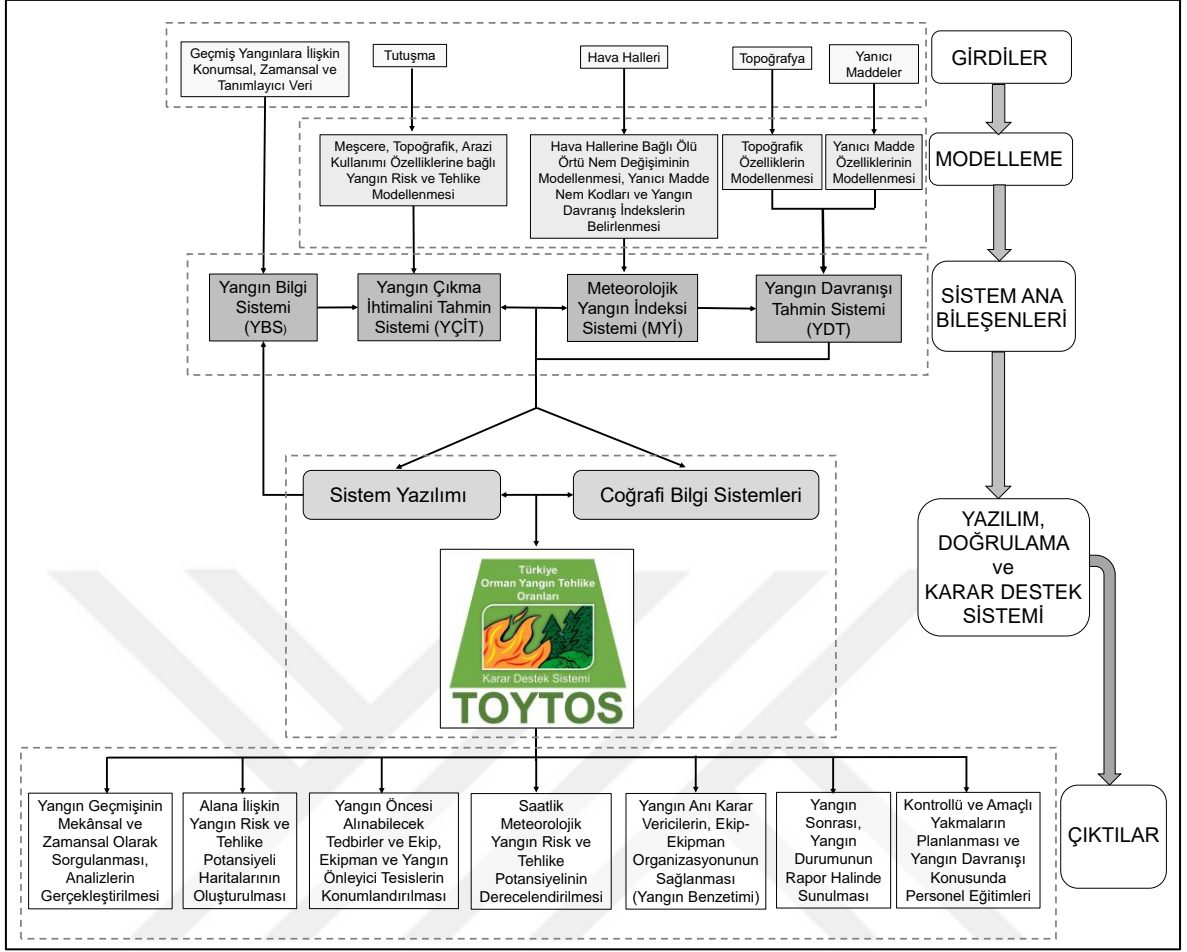
2.1. Kavramsal Çerçeve

Çalışmanın amacı, yangın yönetim planlamaları ile yangın öncesi, yangınla mücadele ve yangın sonrası çalışmalarda yangın organizasyonlarına yardımcı olacak bir Karar Destek Sistemin tasarım ve model yazılımının gerçekleştirilmesidir. Bu kapsamda geliştirilecek Yangın Tehlike Oranları Karar Destek Sisteminin kavramsal olarak sahip olması gereken birtakım özellikler belirlenmiştir.

YTOS KDS öncelikle topoğrafya gibi sabit; hava halleri, yanıcı madde özellikleri, demografik yapı gibi değişken çevre faktörlerini değerlendirerek, yangınların önceden tespit edilmesi için tahminler geliştirebilecek, yangın anında uygulayıcılara müdahale seçenekleri konusunda öneriler sunabilecek ve yangın sonrası yapılabilecek faaliyetlerde karar vericilere yardımcı olabilecek nitelikte olmalıdır. Bu bağlamda YTOS KDS sisteminin sahip olması gereken özellikler aşağıda sıralanmıştır. Sistem;

- Hızlı ve kolaylıkla ulaşılabilir veriler ile çalışabilmeli,
- Elde edilen verileri uygun modeller ile yorumlayarak, yangın öncesi, yangın anı ve yangın sonrası yapılacak uygulamaları belirleyebilmeli,
- Elde ettiği sonuçları anlaşılır bir şekilde karar vericilere sunabilmeli,
- Modüler bir tasarıma sahip olmalı ve sistemin yapısı, değişen şartlara kolaylıkla uyarlanabilmeli,
- Sistem bileşenleri birbiri ile uyumlu çalışabilmeli,
- Günümüz teknolojilerine uygun, hızlı çalışabilen ve kullanıcı dostu bir yapıda olmalıdır.

Bu kapsamda, Türkiye Orman Yangın Tehlike Oranları Karar Destek Sistemi (TOYTOS)'nin kavramsal çerçevesi, sistem tasarımı, içeriği, parametreleri, yöntemleri, hiyerarşisi ve model yapıları oluşturulmuştur (Şekil 6).



Şekil 6. Türkiye Orman Yangın Tehlike Oranları Karar Destek Sisteminin kavramsal çerçevesi

TOYTOS KDS'nin kavramsal çerçevesi; girdiler, modelleme, sistem ana bileşenleri, yazılım, doğrulama ve karar destek sistemi ile çıktılar temel bölümlerinden oluşmaktadır. *Girdiler* bölümünde, KDS'nin ihtiyaç duyduğu sabit ve değişken çevre faktörleri ile geçmiş yangınlara ilişkin zamansal, mekânsal ve öznel verileri belirlenmiştir. Belirlenen *girdiler*, *modelleme* bölümünde model yapıları belirlenerek, *sistem ana bileşenlerinin* altyapısı oluşturulmuştur. Daha sonra, KDS'nin ana gövdesini oluşturan sistem ana bileşenlerinin bağlantıları ve hiyerarşik yapıları belirlenerek *yazılım, doğrulama ve karar destek sistemi* oluşturulmuştur. Bu sayede KDS, orman yangın yönetim planlama ve yangınla mücadele çalışmalarında yardımcı olabilecek *çıktılar* elde edecek şekilde tasarlanmıştır.

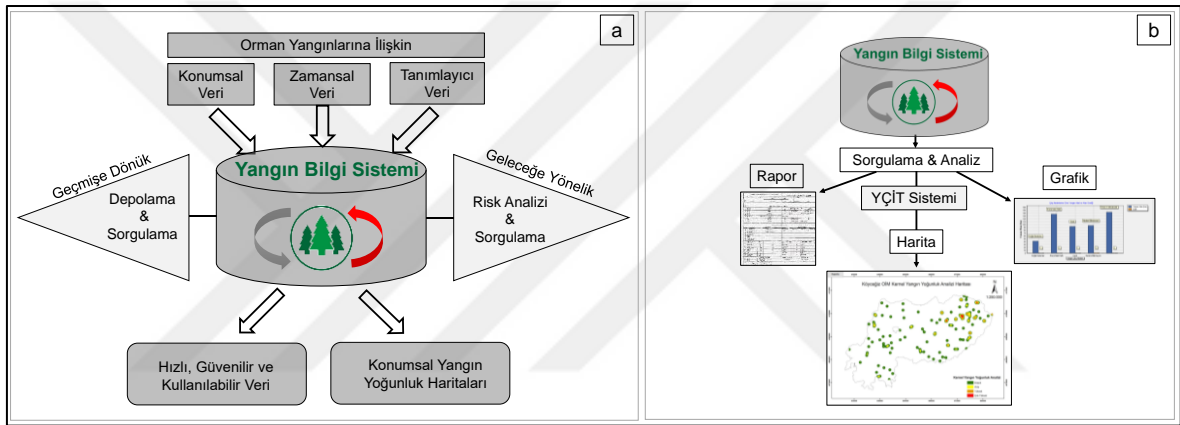
Kavramsal çerçevesi oluşturulan KDS'nin, kullandığı girdiler, model yapıları, yazılım ve doğrulama ile sistemin sunduğu çıktılar, sistem ana bileşenleri başlıkları altında sırasıyla açıklanmıştır.

2.1.2. Yangın Bilgi Sistemi (YBS)

Yangın Bilgi Sistemi, KDS yazılımında orman yangınları ile ilgili mekânsal, zamansal ve tanımlayıcı bilgilerin depolandığı, sorgulama ve analizlerin gerçekleştirildiği alt sistemdir.

2.1.2.1. YBS Sistem Tasarımı

Yangın Bilgi Sistemi, geliştirilen KDS yazılımında, orman yangınları ile ilgili tüm mekânsal, zamansal ve tanımlayıcı bilgilerin kullanıcı dostu bir arayüz yardımıyla girildiği, akıllı sorgulama ve analizlerin gerçekleştirildiği bir alt sistem olarak tasarlanmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Yangın Bilgi Sistemi (YBS) sistem tasarımı

YBS sisteminde kullanılan girdiler, 285 Sayılı Orman Yangınlarının Önlenmesi ve Söndürülmesinde Uygulama Esaslarına (OGM, 1995) uygun olarak hazırlanmıştır. YBS veri tabanının rahat kullanımı için, Orman Genel Müdürlüğü'nün yangın formlarında bulunan bilgilerin (konum, meşcere tipi, yangın türü, yangına ilişkin meteorolojik veriler vb.), kullanıcılar tarafından kolayca girilebilmesini sağlayacak kullanıcı dostu bir veritabanı arayüzü bulunmaktadır. Aynı zamanda, ilgili sistemde sorgulama ve analiz bölümleri de bulunmaktadır. Sorgulama ve analiz sonuçları metin, grafik ve harita çıktıları şeklinde alınabilmektedir. Örneğin kullanıcı, belirlenen alanda meydana gelmiş olan örtü ve tepe yangınlarının grafiksel olarak dökümünü gerçekleştirebilmektedir.

YBS, aynı zamanda geçmişe dönük yangınların zamansal ve mekânsal analizi ile TOYTOS'un alt sistemi olan YÇİT sistemine girdi sağlamaktadır. Geçmiş yangın verilerinden (coğrafi koordinatları ve öznitelik bilgileri) hareketle yangın yoğunluk haritaları

oluşturulabilmekte aynı zamanda sistemin depoladığı yangın gözetleme kulelerinin mekânsal bilgisi ile kule görünürlük analizleri gerçekleştirilebilmektedir.

2.1.2.2. YBS Sistem Veri Yapısı

Orman Genel Müdürlüğü'nün 285 Sayılı Orman Yangınlarının Önlenmesi ve Söndürülmesinde Uygulama Esaslarına (OGM, 1995) göre orman yangınlarında tanzim edilmesi gereken formlar belirlenmiştir. Bu formlar;

- I nolu Form: Yangının Çıkış Haberi,
- II nolu Form: Yangının Gelişmesi Haberi,
- III nolu Form: Yangının Sönüş Haberi,
- Yangın Sicil Fişi'dir.

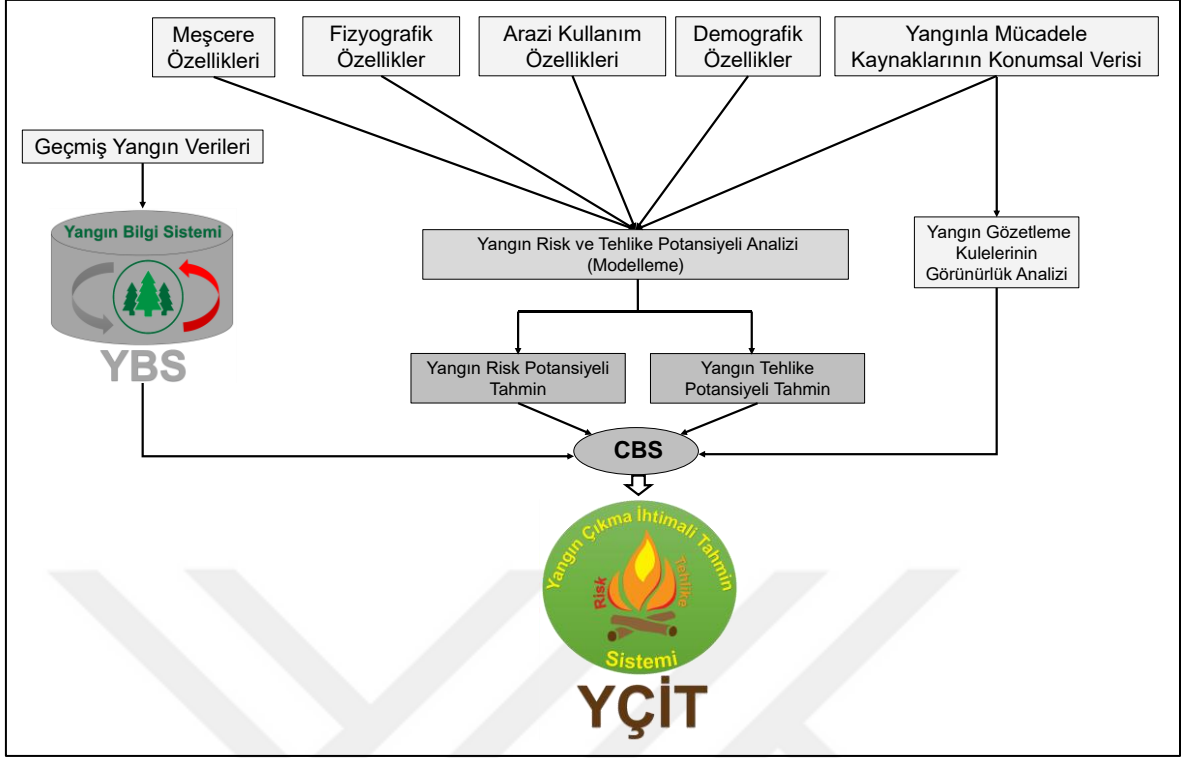
Yayınlandığı zamanın iletişim ve teknolojik koşullarına göre hazırlanmış olan ilgili tamimdeki formlar, gerek iletişim altyapısının gelişmesi gerekse de belge kalabalığının önlenmesi amacıyla sadeleştirilmiştir. OGM tarafından yapılan sadeleştirme neticesinde, orman yangınlarında günümüzde kullanılan “Yangın Bilgi Formu” oluşturulmuştur. İlgili formda yer alan bilgiler, KDS sisteminin sağladığı ek bilgiler ile güncellenerek YBS sistem girdilerini oluşturmaktadır.

2.1.3. Yangın Çıkma İhtimalini Tahmin Sistemi (YÇİT)

Yangın çıkma ihtimali tahmin sistemi, bazı sabit ve değişken çevre faktörlerini dikkate alarak yangın risk ve tehlike potansiyelini belirleyen alt sistemdir.

2.1.3.1. YÇİT Sistem Tasarımı

YÇİT sisteminde, alanın aktüel (mevcut) özelliklerine bağlı olarak yangın risk ve tehlike potansiyeli modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu sisteme girdi sağlayan parametreler; ağaç türü, gelişim çağı gibi meşcere özellikleri, arazi eğimi ve bakısı gibi topoğrafik özellikler, arazi kullanımı ve demografik özelliklerdir. YÇİT sisteminin genel yapısı ve tasarımı Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Yangın Çıkma İhtimali Tahmin (YÇİT) Sistem Tasarımı

Ayrıca YÇİT sistemi, YBS sisteminden elde ettiği geçmiş yangın verileri ile mekânsal yangın yoğunluk analizi ve yangın gözetleme kulesi görünürlük analizlerini de gerçekleştirebilmektedir. Yangın risk ve tehlikesinin modellenmesi ve haritalarının oluşturulmasında, aşağıda sırası ile açıklanan modelleme yaklaşımı izlenmiştir.

2.1.3.2. YÇİT Sistem Modelleme

Yangın Çıkma İhtimali Tahmin Sistemi'nde yangın risk ve tehlike potansiyeli, yanıcı madde, topoğrafya ve demografik özellikler ile alan özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi sonucu elde edilen modeller ile oluşturulmuştur.

2.1.3.2.1. Yangın Riskinin Modellenmesi

Yangın risk potansiyeli; belirli bir alanda insan ya da doğal nedenlerin (yıldırım) varlığı ve etkisi ile belirlenen yangının başlama olasılığını ifade eder (Hardy, 2005; Sağlam vd., 2008; Marques vd., 2012). YÇİT sisteminde yangın risk potansiyelinin belirlenmesinde meşcere, topoğrafik ve demografik özelliklere ilişkin veriler girdi olarak kullanılmıştır

(Chuvieco ve Congalton, 1989; Jaiswal vd., 2002; Sağlam vd., 2008). Kullanılan girdiler aşağıda açıklanmıştır.

1. Ağaç Tür Kompozisyonu (ATK)
2. Bakı Faktörü (BF)
3. Tarım Alanlarına Yakınlık (TAY)
4. Yerleşim Alanlarına Yakınlık (YAY)
5. Yola Yakınlık Faktörü (YYF)
6. Demografik Özellikler (DÖ)

Yangın risk potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan parametreler incelendiğinde, ilgili değişkenlerin Orman Amenajman planları veri tabanlarından kolaylıkla elde edilebilecek nitelikte olduğu görülmektedir. Ancak, 6. maddede yer alan Demografik Özelliklerin veri yapısı ve kapsamının açıklanması gerekmektedir.

Çalışma kapsamında belirlenen geliştirilen KDS sisteminin uygulanması amacıyla pilot olarak belirlenen ve tezin ilerleyen bölümlerinde açıklanan Köyceğiz ve Gazipaşa Orman İşletme Müdürlükleri'nde yapılan paydaş toplantılarında, yangın risk potansiyelinin belirlenmesi için önemli olan yöreye özgü farklı faktörler ortaya çıkmıştır. Örneğin Köyceğiz OİM için arıcılar önemli bir risk faktörü oluştururken, Gazipaşa OİM için muz artıklarının temizlenmesi amacıyla yakılan ateş önemli yangın risk faktörlerini oluşturmaktadır. Bu sebeple YÇİT sisteminde alana özgü yangın risk faktörlerinin tanımlanabildiği bir alan özelliği, yangın risk analizine dâhil edilmiştir. DÖ'lerin veri yapısı YÇİT sisteminde koordinat girdisi şeklinde tanımlanmıştır. Bu özelliklere bağlı olarak yangın risk potansiyeli, risk faktörüne yakınlık durumuna göre değerlendirilmiştir.

Yangın risk modellemesinde kullanılan parametreler kendi içerisinde gruplandırılarak her gruba 0 ila 10 arasında bir değer ataması yapılmıştır. Atanan değerler, parametrelerin yangın riski üzerine olan nispi etkisine bağlı olarak belirlenmiştir. Bu değerler, pilot OİM'lerde gerçekleşen yangınlar, mevcut literatür ile uzun yıllar orman yangınları ile mücadelede çalışmış OGM uzman personeli ile yapılan görüşmeler sonucunda belirlenmiştir. Pilot OİM'lerde gerçekleşen yangınların bir bölümü modelleme aşamasında meşcerelere ilişkin risk değerlerinin belirlenmesinde, diğer bölümü ise yangın risk tahmin modelinin geçerliliklerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Parametrelere atanan değerlerde 0 yangın riskinin olmadığı, 10 ise en yüksek yangın riskinin bulunduğu durumu ifade etmektedir (Tablo 5).

Tablo 5. Yangın risk potansiyelinin değerlendirilmesinde kullanılan parametreler ve bu parametrelere ilişkin belirlenen sınıfların yangın risk potansiyeli üzerindeki nispi etkilerinin ağırlıklandırılması

Parametreler	Sınıflar	Kod	Yangın Risk Değeri	Yangın Riski
1. Ağaç Tür Kompozisyonu (ATK)	Kızılçam Saf	1	10	Çok Yüksek
	Karaçam Saf	2	8	Yüksek
	Kızılçam ve Karaçam Karışık	3	7	Yüksek
	Kızılçam ve Diğer Yapraklı Tür Karışık	4	5	Orta
	Karaçam ve Diğer İbrelili Tür Karışık	5	3	Düşük
	Karaçam ve Diğer Yapraklı Tür Karışık	6	2	Çok Düşük
	Diğer İbrelili	7	1	Çok Düşük
	Diğer Yapraklı	8	0	Çok Düşük
	Maki	9	8	Yüksek
	Bozuk Kızılçam	10	8	Yüksek
	Diğer Bozuk	11	4	Düşük
2. Bakı Faktörü (BF)	0 – 23° ve 339 – 360° (Kuzey)	12	1	Çok Düşük
	24 – 68° (Kuzeydoğu)	13	2	Çok Düşük
	69 – 113° (Doğu)	14	3	Düşük
	114 – 158° (Güneydoğu)	15	6	Orta
	159 – 203° (Güney)	16	8	Çok Yüksek
	204 – 248° (Güneybatı)	17	10	Yüksek
	249 – 293° (Batı)	18	6	Düşük
	294 – 338° (Kuzeybatı)	19	2	Çok Düşük
3. Tarım Alanlarına Yakınlık (TAY)	0 – 100 m	20	10	Çok Yüksek
	101 – 200 m	21	6	Orta
	201 – 300 m	22	3	Düşük
	> 300 m	23	0	Çok Düşük
4. Yerleşim Alanlarına Yakınlık (YAY)	0 – 100 m	24	10	Çok Yüksek
	101 – 200 m	25	6	Orta
	201 – 300 m	26	3	Düşük
	> 300 m	27	0	Çok Düşük
5. Yola Yakınlık Faktörü (YYF)	0 – 100 m	28	10	Çok Yüksek
	101 – 200 m	29	6	Orta
	201 – 300 m	30	3	Düşük
	> 300 m	31	0	Çok Düşük
6. Demografik Özellikler (DÖ)	0 – 100 m	32	10	Çok Yüksek
	101 – 200 m	33	6	Orta
	201 – 300 m	34	3	Düşük
	> 300 m	35	0	Çok Düşük

Planlama biriminde bulunan her bir meşcereye ilişkin Yangın Risk Potansiyeli değeri, geliştirilen model (5) ile hesaplatılmıştır.

$$YR=ATK \times [(0,1 \times BF) + (0,2 \times (TAY + YAY)) + (0,3 \times YYF) + (0,2 \times DÖ)] \quad (5)$$

Burada;

ATK = Ağaç Tür Kompozisyonu,

BF = Bakı Faktörü,

TAY = Tarım Alanlarına Yakınlık,

YAY = Yerleşim Alanlarına Yakınlık,






YYF = Yola Yakınlık Faktörü,

DÖ = Demografik Özellikler'dir.

ATK değişkeninin modele çarpan olarak girmesinin sebebi, ağırlıklı sınıflandırmayı ortadan kaldırmak ve daha geniş bir değer aralığı elde etmektedir. Ayrıca bu yaklaşım ile, kompozisyonundan bağımsız olarak, modelin diğer faktörlerin etkisiyle yanıtıcı değerler elde etmesinin önüne geçilmeye çalışılmıştır.

Model ile hesaplatılan Yangın Risk Potansiyeli değerlerinde; 0 yangın riskinin olmadığı, 100 ise en yüksek yangın riskinin bulunduğu durumu ifade etmektedir. Elde edilen değerler Tablo 6'da bulunan risk sınıflarına göre görselleştirilmiştir.

Tablo 6. Yangın Risk Potansiyeli Sınıfları

Yangın Risk Potansiyeli	Yangın Risk Potansiyeli İndeks Aralığı	
Çok Düşük	≤ 10	
Düşük	10 – 20	
Orta	21 – 40	
Yüksek	41 – 65	
Çok Yüksek	> 65	

2.1.3.2.2. Yangın Tehlikesinin Modellenmesi

Yangın Tehlikesi, yangın başladıktan sonra yanıcı maddelerin tipi, yükü, istiflenme düzeni, yanıcı madde nemi gibi özelliklerine bağlı olarak, yangının kontrol altına alınabilme güçlüğü ve meydana getireceği zarar potansiyelini ifade eder (Chandler vd., 1983;

Çanakçıoğlu, 1985; Neyişci vd., 1999). YÇİT sisteminde yangın risk potansiyelinin belirlenmesinde olduğu gibi yangın tehlike potansiyelinin belirlenmesinde de meşcere, topoğrafik ve bazı alana özgü özellikler kullanılmıştır. Kullanılan özellikler aşağıda belirtilmiştir.

1. Ağaç Tür Kompozisyonu (ATK)
2. Gelişme Çağı (GÇ)
3. Meşcere Kapalılığı (MK)
4. Bakı Faktörü (BF)
5. Eğim Faktörü (EF)
6. Yola Yakınlık Faktörü (YYF)
7. Mücadele Kaynaklarına Yakınlık Faktörü (MKY)

Yangın tehlike potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan parametreler incelendiğinde, ilgili değişkenlerin, risk potansiyelinin belirlenmesinde olduğu gibi, Orman Amenajman planları veri tabanlarından kolaylıkla elde edilebileceği görülmektedir. Ancak 6 ve 7. maddede yer alan YYF ve MKY'lerin veri yapısı ve kapsamının açıklanması gerekmektedir. Bir alanda yol yoğunluğunun artması, yangına müdahalenin kolaylaşmasını sağlayarak, yangın tehlike potansiyelinin azalması sağlamaktadır. Dolayısıyla 6. Maddede yer alan YYF bu husus dikkate alınarak derecelendirilmiştir. Analizde 7. Maddede yer alan MKY ise yangın ilk müdahale ekiplerinin konumu, doğal veya yapay su kaynakları gibi yangınlarla mücadele kaynaklarını ifade etmektedir. Bu veriler Orman Yangınları ile Mücadele (OYM) Daire Başkanlığı'nda sayısal olarak bulunmakta ve yıllık olarak güncellenmektedir. Çalışma alanlarına ilişkin MKY verileri OYM dairesinden elde edilerek analizlerde kullanılmıştır.

Yangın tehlike potansiyelinin modellenmesinde kullanılan parametreler kendi içerisinde gruplandırılarak her gruba 0 ila 10 arasında bir değer ataması yapılmıştır (Tablo 7). Atanan değerler, parametrelerin yangın tehlikesi üzerine olan nispi etkisine bağlı olarak belirlenmiştir. Atanan değerlerde 0 yangın tehlikesinin olmadığı, 10 ise en yüksek yangın tehlikesinin bulunduğu durumu ifade etmektedir.

Tablo 7. Yangın tehlike potansiyelinin değerlendirilmesinde kullanılan parametreler ve bu parametrelere ilişkin belirlenen sınıfların yangın tehlike potansiyeli üzerindeki etkilerinin nispi ağırlıklandırılması

Parametreler	Sınıflar	Kod	Yangın Tehlike Değeri	Yangın Tehlikesi
1. Ağaç Tür Kompozisyonu (ATK)	Kızılçam Saf	1	10	Çok Yüksek
	Karaçam Saf	2	6	Orta
	Kızılçam ve Karaçam Karışık	3	7	Yüksek
	Kızılçam ve Diğer İbrelili Tür Karışık	4	6	Orta
	Kızılçam ve Diğer Yapraklı Tür Karışık	5	5	Orta
	Karaçam ve Diğer İbrelili Tür Karışık	6	3	Düşük
	Karaçam ve Diğer Yapraklı Tür Karışık	7	2	Çok Düşük
	Diğer İbrelili	8	2	Çok Düşük
	Diğer Yapraklı	9	0	Çok Düşük
	Maki	10	8	Yüksek
	Bozuk Kızılçam	11	8	Yüksek
	Diğer Bozuk	12	4	Düşük
2. Gelişme Çağı (GÇ)	Gençlik (a) (<8 cm)	13	6	Orta
	Sıklık (ab, b) (8-19,9 cm)	14	10	Çok Yüksek
	İnce Ağaçlık (bc, c) (20-35,9 cm)	15	7	Yüksek
	Orta Ağaçlık (cd, d) (36-51,9 cm)	16	5	Orta
	Kalın Ağaçlık (de,e) (52cm<)	17	3	Düşük
3. Meşcere Kapalılığı (MK)	Bozuk (<%10)	18	1	Çok Düşük
	11-%40	19	4	Düşük
	41-%70	20	7	Yüksek
	71-%100	21	10	Çok Yüksek
4. Bakı Faktörü (BF)	0 – 23° ve 339 – 360° (Kuzey)	22	1	Çok Düşük
	24 – 68° (Kuzeydoğu)	23	2	Çok Düşük
	69 – 113° (Doğu)	24	3	Düşük
	114 – 158° (Güneydoğu)	25	6	Orta
	159 – 203° (Güney)	26	8	Çok Yüksek
	204 – 248° (Güneybatı)	27	10	Yüksek
	249 – 293° (Batı)	28	6	Düşük
	294 – 338° (Kuzeybatı)	29	2	Çok Düşük
5. Eğim Faktörü (EF)	<= 5 %	30	1	Çok Düşük
	6 – 15 %	31	4	Düşük
	16 – 35 %	32	7	Yüksek
	> 35 %	33	10	Çok Yüksek
6. Yola Yakınlık Faktörü (YYF)	0 – 100 m	34	2	Çok Düşük
	101 – 200 m	35	4	Düşük
	201 – 300 m	36	7	Yüksek
	> 300 m	37	10	Çok Yüksek

Tablo 7'nin devamı

Parametreler	Sınıflar	Kod	Yangın Tehlike Değeri	Yangın Tehlikesi
7. Mücadele Kaynaklarına Yakınlık Faktörü (MKY)	0 – 2000 m	38	2	Çok Düşük
	2001- 5000 m	39	4	Düşük
	5001 – 8000 m	40	7	Yüksek
	> 8000 m	41	10	Çok Yüksek

Planlama biriminde bulunan her bir meşçereye ilişkin Yangın Tehlike Potansiyeli değeri geliştirilen model (6) ile hesaplatılarak, planlama biriminin Yangın Tehlike Potansiyeli derecelendirilmiştir.

$$YR=ATK \times [(0,2 \times G\check{C}) + (0,2 \times MK) + (0,1 \times (BF+EF)) + (0,2 \times (YYF+MKY))] \quad (6)$$

Burada;

ATK = Ağaç Tür Kompozisyonu,

GÇ = Gelişme Çağı,

MK = Meşçere Kapalılığı,

BF = Bakı Faktörü,


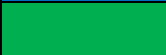



EF = Eğim Faktörü,

YYF = Yola Yakınlık Faktörü,

MKY = Mücadele Kaynaklarına Yakınlık Faktörü'dür.

Model ile hesaplatılan Yangın Tehlike Potansiyeli değerlerinde; 0 yangın tehlikesinin olmadığı, 100 ise en yüksek yangın tehlikesinin bulunduğu durumu ifade etmektedir. Elde edilen değerler Tablo 8'de bulunan tehlike sınıflarına göre görselleştirilmiştir.

Tablo 8. Yangın Tehlike Potansiyeli Sınıfları

Yangın Tehlike Potansiyeli	Yangın Tehlike Potansiyeli İndeks Aralığı	
Çok Düşük	≤ 10	
Düşük	10 – 20	
Orta	21 – 40	
Yüksek	41 – 65	
Çok Yüksek	> 65	

2.1.3.3. Yangın Gözetleme Kuleleri Görünürlük Analizinin Gerçekleştirilmesi

Orman yangınları ile mücadele çalışmalarında, yangınların hızlı ve mekânsal olarak doğru tespit edilebilmesi önem arz etmektedir (Kucuk vd., 2017). Orman yangın gözetleme kuleleri de bu amaca yönelik olarak kullanılmaktadır. Özellikle yerleşim alanlarına uzak ormanlık alanlarda gerçekleşen yangınların tespit edilmesi ve ihbar yoluyla alınan yangın haberinin, mekânsal olarak teyit edilmesinde yangın gözetleme kuleleri önemli roller üstlenmektedir. Bu sebeple yangın gözetleme kulelerinin görebildikleri/göremedikleri alanların mekânsal olarak önceden bilinmesi, orman yangınları ile mücadele çalışmalarında önem arz etmektedir. Bu amaçla YÇİT sisteminde yangın gözetleme kuleleri görünürlük analizi gerçekleştirilmektedir.

Yangın gözetleme kulelerine ilişkin görünürlük analizi için pilot orman işletme müdürlüklerinde bulunan yangın gözetleme kulelerinin UTM koordinatlarından yararlanılarak veri tabanı üretilmiştir. Aynı zamanda pilot OİM'lere ilişkin sayısal arazi modelleri, alanlara ilişkin eşyüksele eğrileri yardımıyla oluşturulmuştur. Kulelere ilişkin görünürlük analizi ArcMAP 10.2 (ESRI, 2011) Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımında bulunan "Viewshed Analysis" alt sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yangın gözetleme kulelerinin alanın tümünü tarayabilmesi için görüş açısı 360 derece olarak kabul edilmiştir. Kuleler herhangi bir yangın esnasında yalnızca alevleri değil, yükselen dumanları da görebilmektedir. Bu yüzden, yangın esnasında oluşan dumanın 100 m yükseleceği ve alan üzerinde 100 metre mesafeden tespit yapılabileceği varsayılmıştır. Kulelere ilişkin düşey görüş açıları ise + 90 ve - 90 derece olarak analizde kullanılmıştır.

2.1.3.4. Geçmiş Yangın Verilerine Bağlı Olarak Yangın Yoğunluk Analizinin Gerçekleştirilmesi

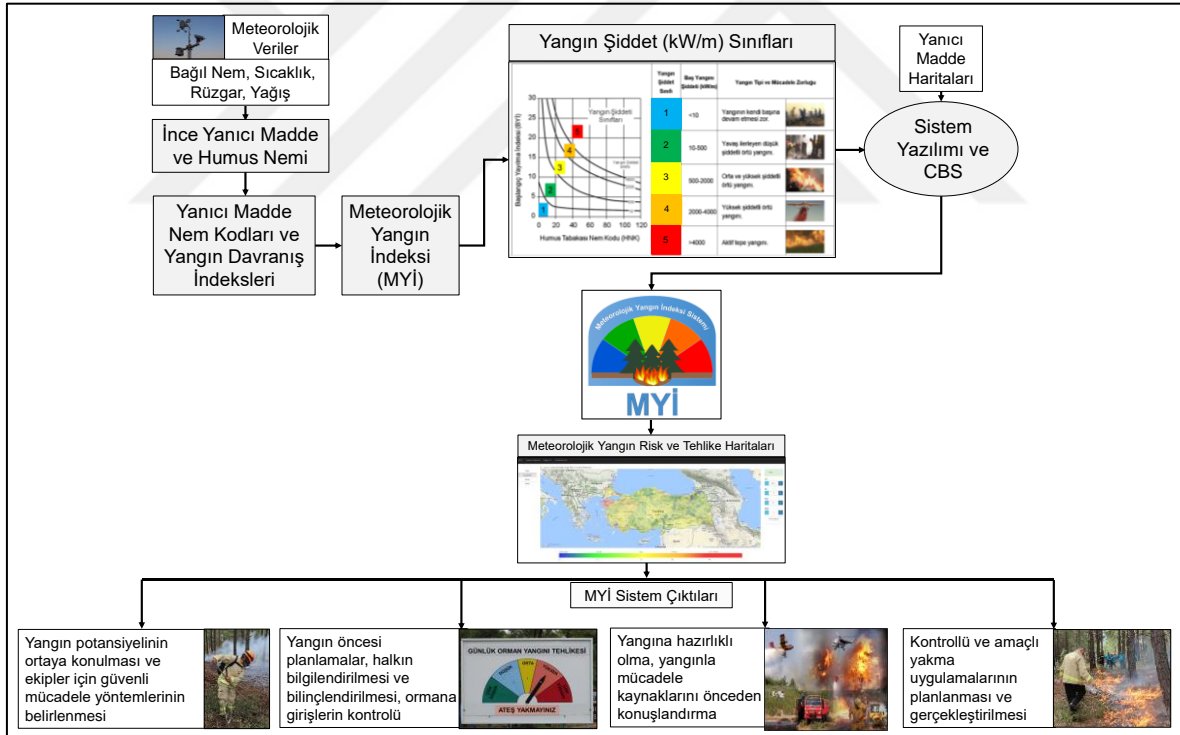
Geçmiş yangın verilerine bağlı olarak yapılan yoğunluk analizi için pilot OİM'lere ilişkin 2013-2018 yıllarını kapsayan 5 yıllık yangın verileri kullanılmıştır. Söz konusu veriler analizde kullanılabilmesi için sayısallaştırılarak, geçmiş yangın veri tabanı nokta katmanı şeklinde oluşturulmuştur. Analiz, ArcMAP 10.2 (ESRI, 2011) yazılımında bulunan "Kernel Density" alt sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kernel (Çekirdek) yoğunluk analizinde her bir örnek nokta etrafına dairesel bir alan çizilir (Yıldırım, 2016) ve örnek noktaların bulunduğu konumdan dairesel alan sınırına doğru birden sıfıra doğru giden matematiksel bir fonksiyon ile alanların yoğunluğu derecelendirilir (Koutsias vd., 2004; Kuter vd., 2011).

2.1.4. Meteorolojik Yangın İndeksi Sistemi (MYİ)

MYİ sistemi, yanıcı maddelerin tutuşma potansiyelini belirler ve yangının başlaması durumunda potansiyel yangın yayılma oranı ve yangın şiddeti hakkında bilgi verir.

2.1.4.1. MYİ Sistem Tasarımı

Meteorolojik Yangın İndeksi Sistemi, standart bir yanıcı madde tipinde, yanıcı madde nemine bağlı olarak yanıcı maddelerin tutuşabilirliğini belirleyen ve yangının başlaması durumunda potansiyel yangın yayılma oranı ve yangın şiddeti hakkında bilgi veren alt sistemdir. Sistem, yanıcı madde nemini, meteoroloji istasyonlarından elde ettiği hava halleri verileri ile hesaplayarak, yanıcı madde kodları ve yangın davranış indeksleri yardımıyla yangın risk ve tehlike potansiyelini saatlik olarak derecelendirir. MYİ sisteminin genel yapısı ve tasarımı Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. MYİ sisteminin tasarımı

2.1.4.2. MYİ Sistem Modelleme

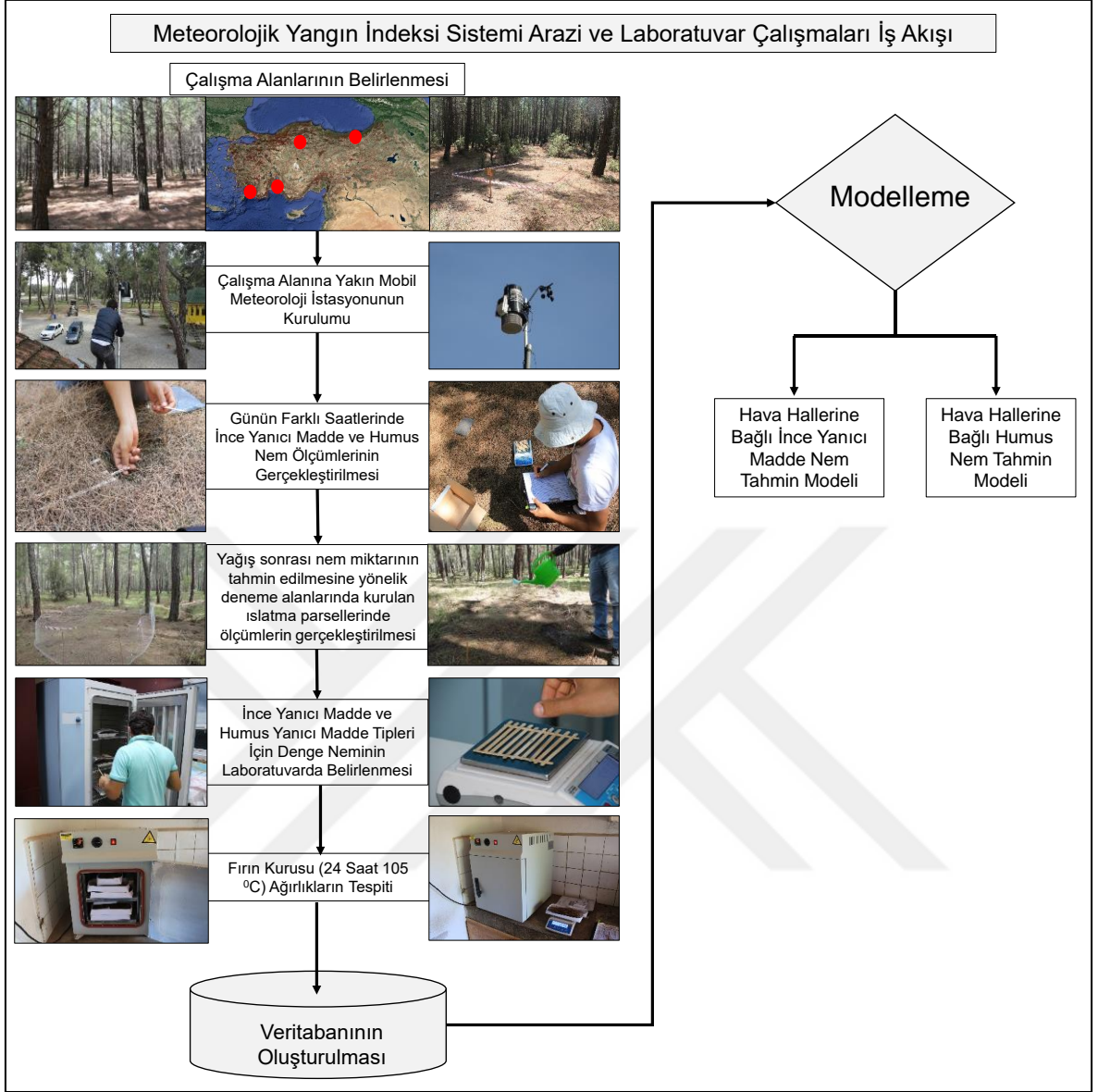
MYİ Sistemi, girdi olarak kullandığı hava halleri verileri yardımıyla, normal kapalı bir çam meşceresinde bulunan, İnce Yanıcı Madde (İYM) ve Humus Tabakalarının oluşturduğu

Ölü Örtü nemini hesaplamaktadır. Daha sonra elde edilen nem değerleri, yangın risk ve tehlike indeks değerlerine dönüştürülmektedir.

MYİ sisteminde en önemli bölüm, hava hallerine bağlı olarak yanıcı madde nem değerlerin belirlenmesidir. Zira nem değerlerinin hesaplanmasında yapılan bir hata, MYİ sistemini olumsuz etkileyeceği gibi, İYM nemini kullanan Yangın Davranışı Tahmin Sistemindeki benzetim modelini de olumsuz etkileyebilir. Dolayısıyla MYİ sisteminde nem değerlerinin doğru modeller yardımıyla hesaplanabilmesi kritik öneme sahiptir.

2.1.4.3. Ölü Örtü Nem Tahmin Modelleri

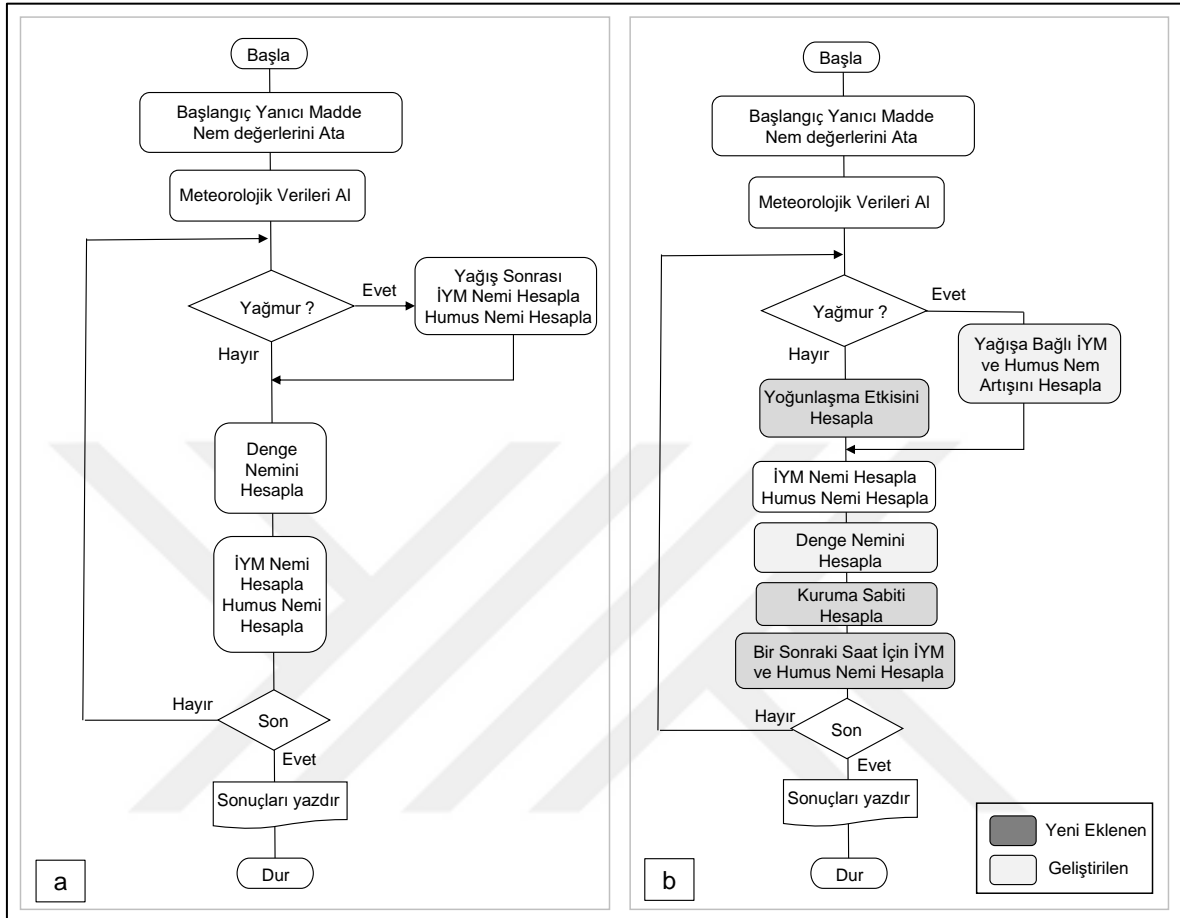
Meteorolojik Yangın İndeksi sisteminde kullanılan hava hallerine bağlı ölü örtü nem tahmin modellerine ilişkin arazi çalışmaları, ülkemizde yangınlardan en fazla etkilenen 3 farklı bölgedeki (Akdeniz, Ege, Batı Karadeniz) kızılçam ve uygun karaçam meşcerelerinde gerçekleştirilmiştir (Sağlam, 2002; Sağlam vd., 2006; Küçük vd., 2010; Bilgili vd., 2018). Ölü örtü nem ölçümleri, Antalya, Muğla, Kastamonu ve özellikle yağış sonrası yanıcı madde nem değişimlerinin belirlenmesi amacı ile yağışların yoğun olarak karşılaşıldığı Trabzon'da uygun kızılçam ve sahilçamı ağaçlandırma alanlarında toplam 90 günlük süre ile gerçekleştirilmiştir (TOVAG, 2015). Arazi ve laboratuvar çalışmalarına ilişkin iş akışı Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. MYİ arazi ve laboratuvar çalışmaları iş akışı

Yapılan ölü örtü nem ölçümleri sonucunda hava hallerine bağlı İYM ve Humus nem tahmin modelleri geliştirilmiştir (TOVAG, 2015; Bilgili vd., 2018). Yapılan değerlendirmelerde, geliştirilen modellerin bazı nem dinamiklerini açıklamada yetersiz kaldığı ve bu sebeple tahminlerin olumsuz etkilendiği ortaya çıkmıştır (Göлтаş, 2016). Bu sebeple, yapılan modelleme yaklaşımı geliştirilmiş, ölü örtünün nem alma-verme süreçlerinde önemli etkiye sahip birtakım girdiler modele entegre edilmiştir. Yapılan geliştirme ile model ölü örtünün nem alma-verme süreçlerinde etkisi olan bazı hava olaylarını (yoğunlaşma vb.) dikkate almaktadır. Böylelikle ölü örtü yanıcı madde nem tahmin modelinin yağışlı ve yağışsız dönemlerde tahmin gücü önemli ölçüde geliştirilmiştir (Usta, 2018). Yanıcı madde nem tahmin modelinin ilk oluşturulduğu hali ile geliştirmiş

halinin dikkate aldığı parametreler, Şekil 11’de iş akış diyagramı halinde karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 11. TOVAG (2015)’te yapılan İnce Yanıcı Madde ve Humus nem tahmin modeli akış diyagramı (a) ile Usta (2018) tarafından revize edilen model akış diyagramı

Yapılan model revizyonunda, ölü örtü yanıcı madde dinamiklerinde önemli etkisi olan yoğunlaşma ve kuruma sabitinin dinamik olarak hesaplanması önemli değişiklikler olarak ön plana çıkmaktadır (Usta, 2018). Yağış miktarının ölü örtü nem içeriğine etkisi, ölü örtü nem içeriği doygunluk noktasına yaklaşırken azalmaktadır. Ayrıca ölü örtünün başlangıç nemi düşük iken, yağış miktarının ölü örtü nemi üzerine olan etkisi artmaktadır (Van Wagner, 1987a, 1987b). Yapılan modellemede yağışın etkisinin, örtü nemi doyuma noktasına yaklaştıkça azalan bir fonksiyon yardımıyla modellenmesi önemli model iyileştirmelerindedir.

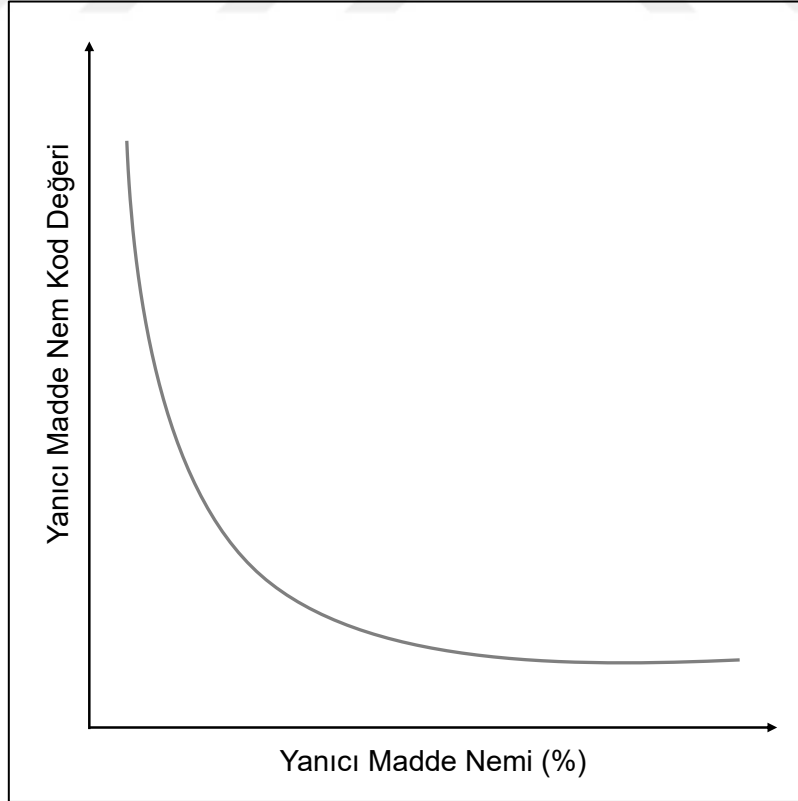
Usta (2018)’dan sonra model üzerinde yapılan denge nemi ve yoğunlaşma modeli tekrar güncellenerek, yanıcı madde nem tahmin modeli revize edilmiştir. Yapılan model

revizyonu ile yağışlı ve yağışsız dönem ölü örtü nem tahminlerinde istatistiksel hata değerleri önemli oranda azaltılmıştır (Bilgili vd. 2018, sunuldu).

Nem tahmin modelleri, kendi başına önem arz etmesine rağmen, MYİ sistemi dâhilinde yangın risk ve tehlike potansiyelini derecelendirebilecek bir yapıda değildir. Yanıcı madde nem değerlerin ilgili kod ve indeks değerlerine dönüştürülmesi, yangın şiddet sınıflarının oluşturulması ve bu yapının sistem dâhilinde kullanılması gerekmektedir.

2.1.4.4. Yanıcı Madde Nem Kodları

Çalışma kapsamında kızılçam yanıcı madde tipi için hava hallerine bağlı olarak hesaplanan yanıcı madde nem değerleri, nem kodlarına dönüştürülmüştür. Yanıcı madde nem kodları, İnce Yanıcı Madde Nem Kodu (IYMNK) ve Humus Nem Kodu (HNK) olarak hava hallerinin ince üst ve humus yanıcı madde katmanlarındaki etkisini ortaya koyan indeks değerlerini ifade etmektedir. Nem değerlerinin aksine indeks değerleri arttıkça yangın tehlikesi artacak şekilde nem kodları düzenlenmiştir (Şekil 12). Böylece, uygulamada kullanılan yangın tehlike oranları sistemleriyle de (Kanada, Amerika ve Avustralya) uyumu sağlanmaya çalışılmıştır. Yanıcı nem kodları, indeks değerini ifade ettiği için birimsizdir.



Şekil 12. Yanıcı madde nemi ile kod değeri ilişkisi

2.1.4.4.1. İnce Yanıcı Madde Nem Kodu (İYMNK)

İYMNK, ince üst tabakada bulunan ibre ve ince dalların nem değerlerin indeks değerini ifade etmektedir. Bu kod değeri, ince üst tabakanın oransal tutuşma kolaylığının bir göstergesidir (Van Wagner, 1987a).

İnce yanıcı madde nem kod değerlerin hesaplanmasında, Kanada MYİ Sisteminde kullanılan model formundan yararlanılmıştır (Van Wagner ve Pickett, 1985). Geliştirilen MYİ sistemi için, öncelikle ince yanıcı maddenin ulaşabileceği maksimum ve minimum nem değerleri belirlenmiştir. Bu nem değerlerine bağlı olarak modelin tahmin ettiği kod değerleri ilişkisi ile üstel bir model geliştirilmiş ve bu model ile ana ölü örtü modelinin tahmin ettiği nem değerlerine bağlı olarak İYMNK değerleri (7) elde edilmiştir.

$$\text{İYMNK} = 100,52 \times e^{(-0,01 \times \text{İYM Nemi})} \quad (7)$$

Burada;

İYM Nemi: İnce üst tabakadaki yanıcı maddelerin yüzde (%) cinsinden nemini ifade etmektedir.

İYMNK 20 ile 100 arasında değer almaktadır. 20 değeri, yanıcı madde neminin yüksek ve yangın tehlikesinin en düşük olduğu değeri ifade etmektedir. 100 değeri ise en yüksek yangın tehlikesini belirtmektedir.

2.1.4.4.2. Humus Nem Kodu (HNK)

HNK, ince üst tabakanın altında bulunan henüz ayrışmakta ibre, ince dal ve kabuk parçalarının oluşturduğu hafif sıkışmış organik tabakanın nem değerinin indeks değerini ifade etmektedir. Bu kod değeri, yangının tutuşması, yanıcı madde yoğunluğunun belirlenmesinde kullanılır ve yangın şiddeti üzerinde dolaylı rol oynar. Ayrıca, yangınla mücadelede yangınların kontrol altına alınması ve soğutma çalışmalarında karşılaşılabilecek zorluk yanında, yangının toprağa olan etkisinin de bir göstergesidir. HNK'nın belirlenmesinde, İYMNK'nda olduğu gibi humusun ulaşabileceği nem miktarları değerleri belirlenerek, MYİ sisteminde kullanılacak humus nem değerlerine bağlı, nem kod değerlerini hesaplayacak model geliştirilmiştir (8).

$$\text{HNK} = 242,05 \times \text{Humus Nemi}^{-0,343} \quad (8)$$

Burada;

Humus Nemi: Humus tabakasının (%) cinsinden nemini ifade etmektedir.

HNK 30 ile 170 arasında değer almaktadır. 30 değeri, yanıcı madde neminin yüksek ve yangın tehlikesinin en düşük olduğu değeri ifade etmektedir. 170 değeri ise en yüksek yangın tehlikesini belirtmektedir.

Hesaplanan kod değerleri, yangın davranış indeks değerlerinin hesaplatılmasında kullanılmıştır.

2.1.4.5. Yangın Davranış İndeksleri

Yangın davranış indeksleri yanıcı madde nemi, miktarı ve rüzgârın potansiyel yangın davranışı (yangın yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddeti) üzerine olan etkisini ifade etmektedir. Bu indeksler, Başlangıç Yayılma İndeksi (BYİ), Birikmiş Yanıcı Madde İndeksi (BYMİ) ve Meteorolojik Yangın İndeksinden (MYİ) oluşmaktadır. İndeksler hesaplanırken, Orman Genel Müdürlüğü Orman Yangınlarıyla Mücadele Daire Başkanlığının kayıtları ve yangın konusunda tecrübeli meslek büyüklerinin tecrübelerine de başvurulmuştur.

2.1.4.5.1. Başlangıç Yayılma indeksi (BYİ)

Başlangıç Yayılma İndeksi potansiyel yangın davranışının ilk göstergesidir. İnce Yanıcı Madde Nem Kodu ve rüzgâra bağlı olarak beklenen yangın yayılmasını sayısal oran olarak veren bir indekstir (Van Wagner, 1974). BYİ, çıkabilecek bir yangında yangının hızının bir göstergesidir.

Başlangıç Yayılma indeksi (BYİ) İYMNK ve rüzgâr hızına bağlı olarak belirlenmiştir. Bu aşamada daha önce tamamlanmış yangın davranış çalışmaları sonuçları ve orman yangınlarından elde edilmiş arazi gözlem ve verileri (TOVAG, 2011) de kullanılmıştır (9).

$$BYİ = 0,001 \times e^{(0,101 \times IYMNK)} \times e^{(0,042 \times Rüzgar)} \quad (9)$$

BYİ, rüzgâr ve ölü örtü yanıcı madde nemini dikkate alan bir değerdir. BYİ en düşük “0” değeri almaktadır. Bir üst sınır olmamasına rağmen, BYİ’nin 100’ün üzerine çıkması karşılaşılabılır bir durum değildir.

2.1.4.5.2. Birikmiş Yanıcı Madde İndeksi (BYMİ)

Birikmiş Yanıcı Madde İndeksi, humus nem kod değerine bağlı olarak hesaplanan, yanıcı madde tüketimini tahmin etmeye yarayan bir indeks değeridir. BYİ yangın yayılma oranının bir ifadesi iken BYMİ yanıcı madde tüketimini oransal olarak ifade etmektedir. Model Kanada MYİ sisteminden (Van Wagner, 1974) ülkemiz yanıcı madde tiplerine uyarlanmıştır. Zira söz konusu sistemde BYMİ humus ve derin organik tabaka nem kod değerlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Derin organik tabaka, humus tabakası ve mineral toprak arasında bulunan ayrışmamış organik tabakayı ifade etmektedir. Söz konusu tabaka, boreal kuşak ormanlarında özellikle yangınların toprak yangını şeklinde devam etmesi açısından önem arz etmektedir (Van Wagner, 1987a). Ancak, ülkemiz ve Akdeniz havzası ormanlarında derin organik tabaka bulunmadığından, MYİ sisteminde BYMİ, sadece humus nem koduna bağlı olarak hesaplanmıştır (10).

$$BYMİ = 16,566 + (1,188 \times HNK) \quad (10)$$

Elde edilen BYMİ, Meteorolojik Yangın İndeksi hesaplamalarında kullanılmak üzere, Humus Nem Fonksiyonuna (HNF) dönüştürülmüştür (11).

$$HNF = (0,626 \times BYMİ^{0,809}) + 2 \quad (11)$$

Elde edilen modeller Meteorolojik Yangın İndeksi hesaplamasında kullanılmıştır.

2.1.4.5.3. Meteorolojik Yangın İndeksi (MYİ)

Yangın şiddeti, yangınlarda tüketilen yanıcı madde miktarı ve yangın yayılma oranına bağlı olduğundan, yangın şiddetinin bir göstergesi olan Meteorolojik Yangın İndeksi (MYİ), BYİ ve BYMİ'nin bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. İlk önce Ara Meteorolojik Yangın İndeks (Ara MYİ) değerleri hesaplatılmıştır (12).

$$Ara MYİ = 0,1 \times BYİ \times HNF \quad (12)$$

Elde edilen Ara MYİ değerlerinin matematiksel hata oluşturmaması için, Ara MYİ sonucunun 1'den büyük ve 1'den küçük veya eşit olma durumuna göre iki farklı model yardımıyla son MYİ değerleri hesaplanmıştır (13, 14).






$$\ln(MYİ) = 2,72 \times (0,434 \times \ln(Ara MYİ))^{0,647} \quad Ara MYİ > 1 \quad (13)$$

$$MYİ = \text{Ara MYİ}$$

$$\text{Ara MYİ} \leq 1 \quad (14)$$

Hesaplanan MYİ değerleri, oluşturulan yangın risk ve tehlike sınıflarına bağlı olarak meteorolojik yağın risk ve tehlike değerlerinin haritalandırılmasında kullanılmıştır. Mevcut sistemde Tablo 9’da gösterilen sınıflara ilişkin indeks aralık değerleri kullanılmıştır.

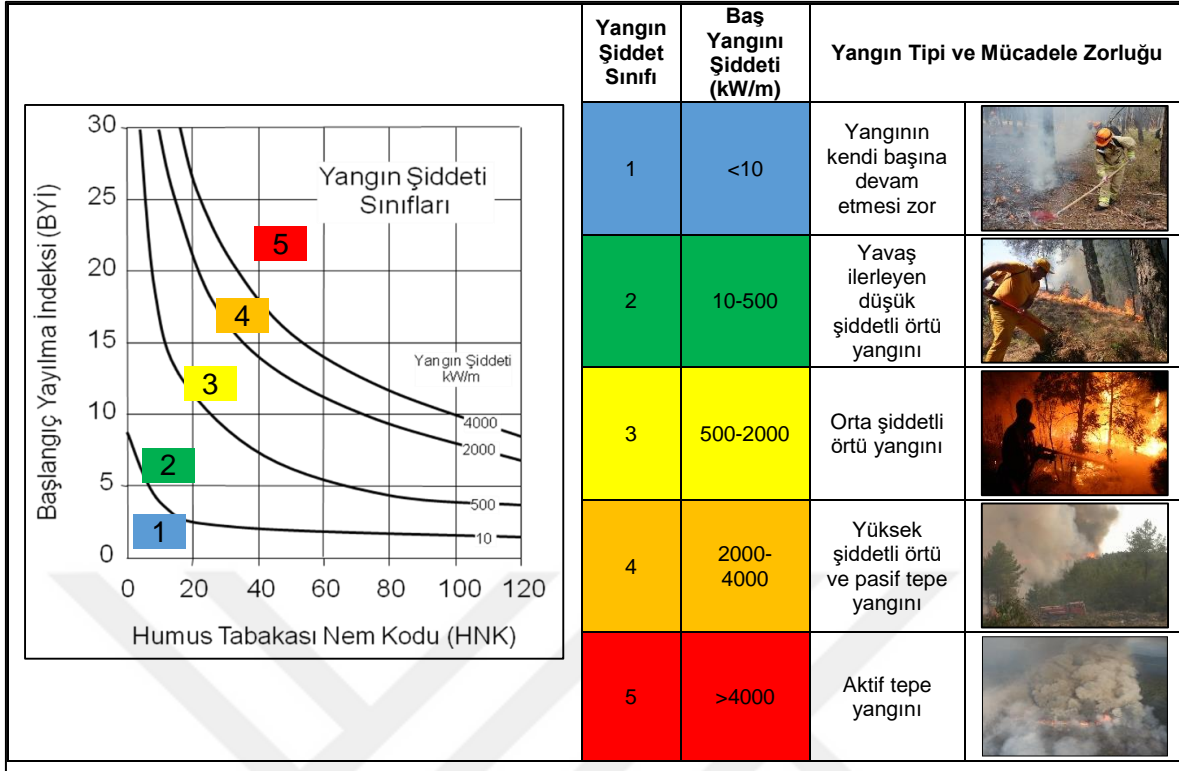
Tablo 9. Meteorolojik Yangın İndeks Sınıfları

Meteorolojik Yangın Riski	Meteorolojik Yangın İndeks Aralığı	Renk Karşılığı
Çok Düşük	< 14	
Düşük	15 – 34	
Orta	35 – 50	
Yüksek	51 – 60	
Çok Yüksek	61 <	

İlgili aralık değerleri, Kanada MYİ sisteminin ülkemiz iklim ve yanıcı madde özelliklerine benzer bir yapıya sahip olan Yunanistan’da test edilmesi ile elde edilen değerlerdir (Dimitrakopoulos vd., 2011). Tez çalışmasında meteorolojik yangın risk ve tehlike potansiyeli 5 farklı sınıf olacak şekilde tasarlandığı için, ilgili sınıf aralıklarına “Çok Düşük” sınıf aralığı eklenmiştir. MYİ sisteminde kullanılan yangın risk ve tehlike sınıf sayısı ve aralıklarının, ülkemizde gerçekleşen uzun dönem orman yangınları verileri ile yapılacak analizler sonucunda güncellenmesi gerekmektedir.

Ölü örtü yanıcı madde nem kodları ve yangın davranış indeksleri belirlendikten sonra, bu kod ve indeksler kullanılarak yangın şiddet sınıfları oluşturulmuştur. Yangın şiddet sınıfları, tehlike derecesine göre 1, 2, 3, 4 ve 5 olarak sırasıyla çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek yangın tehlike derecelerini ifade etmektedir. Yangın şiddeti sınıfları yangın davranış indekslerinin bir fonksiyonu olarak ortaya konulmuştur. Her bir yangın şiddet sınıfına giren yangınlar farklı davranış sergileyeceğinden, bu yangınlarla mücadelede kullanılacak kaynaklar ve yangınların çevreye olan etkileri farklı olmaktadır. Yangın şiddet sınıfları sınırlarının belirlenmesinde ülkemizde yapılmış yangın davranış çalışmaları sonuçları ve OGM uzman personellerinin görüşüne de başvurulmuştur.

Yapılan değerlendirmelere göre yangın davranış indeksleri tahmin edilerek Şekil 13’te ifade edilmek istendiği şekilde grafikte gösterilerek bu yangınlar için ayrılmış kaynak durumları değerlendirilmiştir. Bu analiz ve değerlendirmeler ışığında yangın şiddet sınıfları sınırları belirlenmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. HNK ve BYİ ilişkisine bağlı belirlenmiş yangın şiddeti sınıfları ve uygulamadaki potansiyel karşılıkları

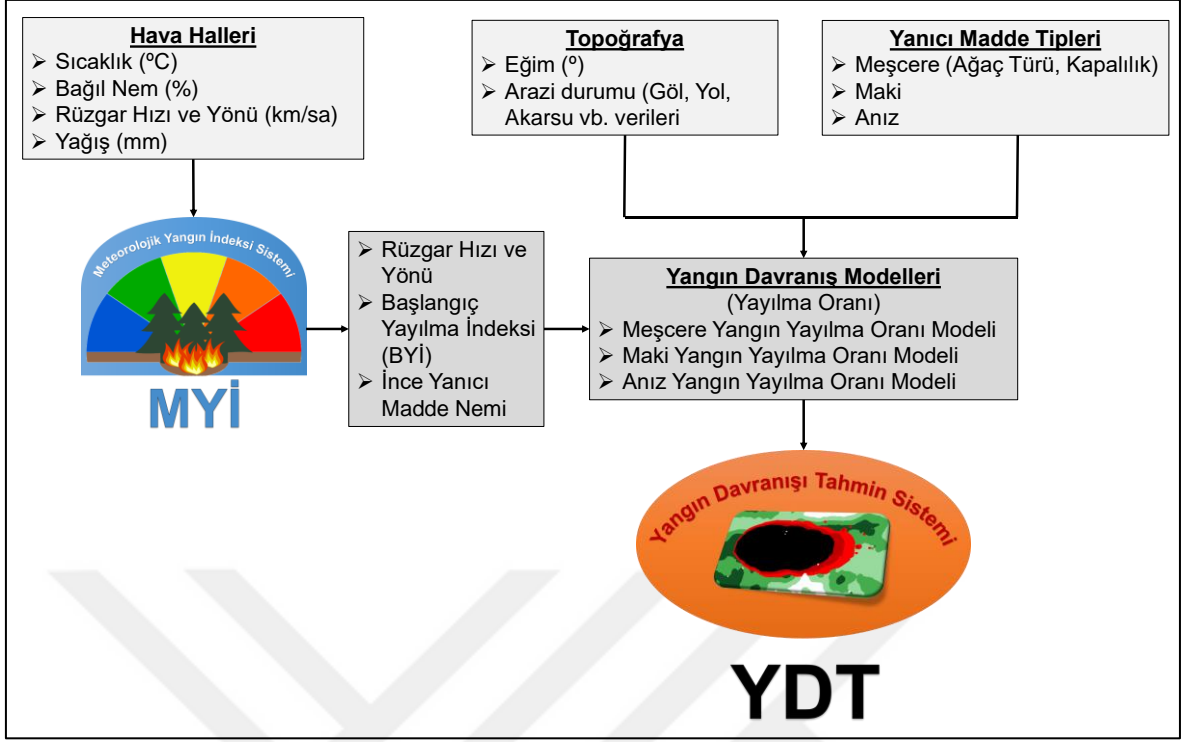
2.1.5. Yangın Davranışı Tahmin Sistemi (YDT)

Yangın Davranışını Tahmin Sistemi, yangın davranışını farklı hava halleri, topografya ve yanıcı madde özelliklerine bağlı olarak tahmin etmeye çalışan bir alt sistemdir.

2.1.5.1. YDT Sistem Tasarımı

Yangın davranışı, yanıcı madde, topoğrafya ve hava hallerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Orman yangınları ile başarılı ve etkili bir şekilde mücadele edilebilmesi ve yangın öncesi ve yangın sonrası planlamaların sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için, farklı yanıcı madde tiplerinde yangın davranışının sağlıklı bir şekilde ortaya konulması gerekmektedir.

Tez çalışmasında gerçekleştirilen YDT sisteminin tasarımı Şekil 14’te verilmiştir.



Şekil 14. YDT sisteminin genel yapısı

Yangın davranışı modeli, her hangi bir yerde çıkabilecek bir yangının hava halleri, topografya ve yanıcı madde özelliklerine bağlı olarak sergileyeceği davranışı sayısal olarak ortaya koyar. Yangın davranışı tahmininin doğruluğu, sistemin girdi olarak kullandığı doğru ve güvenilir yanıcı madde özellikleri, topografya ve meteorolojik verilere bağlıdır.

YDT Sistemi, Rüzgâr Hızı ve Yönü, Başlangıç Yayımla İndeksi ve İnce Yanıcı Madde Nem verilerini doğrudan Meteorolojik Yangın İndeksi Sisteminden almaktadır. Sisteme girdi sağlayan eğim ve yangın davranışında farklılık oluşturan doğal ve yapay engellere ilişkin bilgiler ise, orman amenajman planları envanter verilerinden elde edilebilecek nitelikteki verilerdir. Sistemin kullandığı yanıcı maddelere ilişkin veriler ise aşağıda açıklanmıştır.

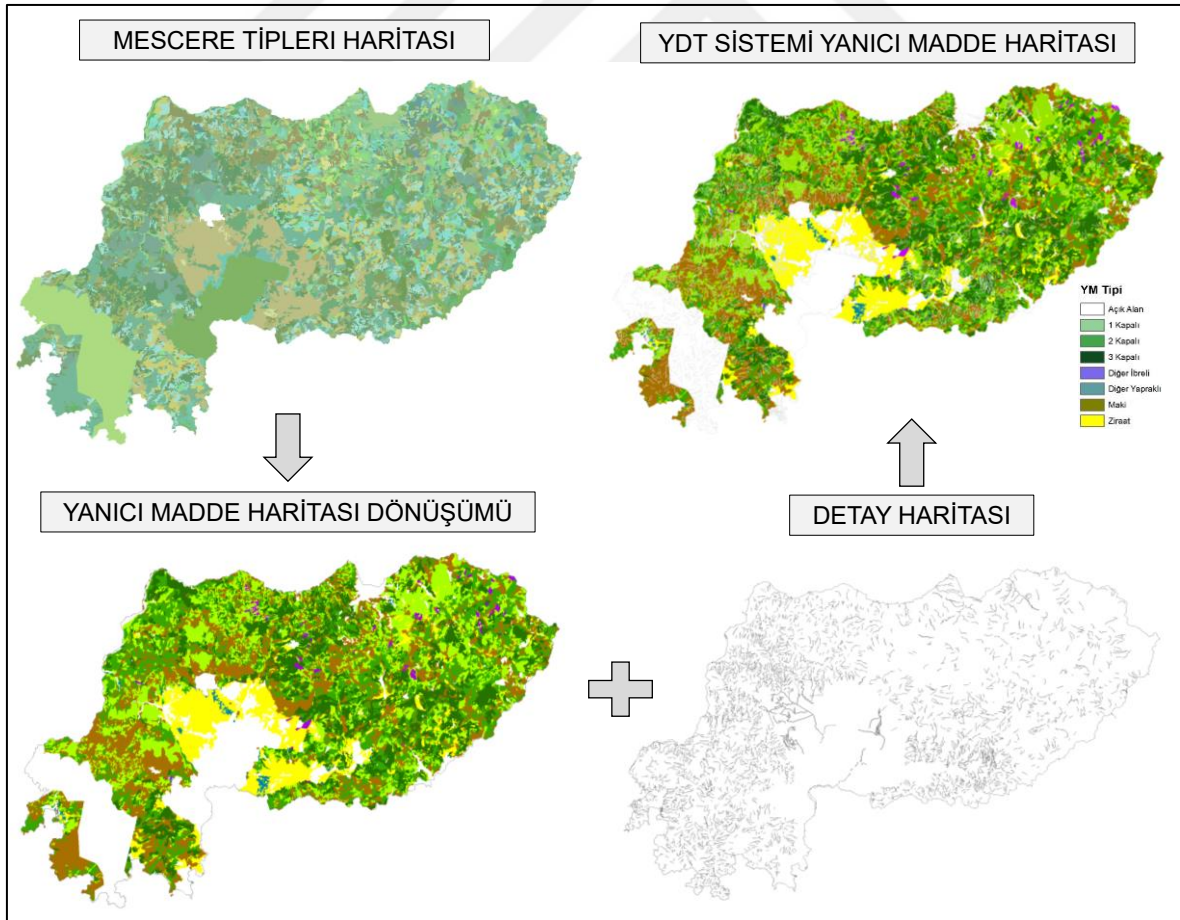
2.1.5.2. YDT Sistemi Yanıcı Madde Haritalarının Elde Edilmesi

YDT sisteminde kullanılan ve yangın benzetim yazılımına altlık olarak orman amenajman planları için arazi envanter verilerinden elde edilebilecek veriler kullanılmıştır. Bu veriler; Meşcere Haritası (BÖLMECİK Katmanı) ve Detay Haritası (DETAY katmanı (yol, dere vb.))'dir. İlgili veriler orman amenajman veri tabanlarında bulunmaktadır.

YDT Sisteminde yedi farklı yanıcı madde tipine bağlı yangın yayılma oranı modeli bulunmaktadır. Bu sebeple BÖLMECİK katmanının, YDT sistemi yanıcı madde tiplerine göre yeniden sınıflandırılması gerekmektedir. Yanıcı madde sınıflandırması; farklı çam türleri, yaprağını döken ve dökmeyen yapraklı ağaç ve çalı türleri ile tarımsal üretim sonucunda biçilmiş olan ekinlerin toprakta kalan kök ve sapları şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Bu sebeple, BÖLMECİK katmanında bir öznetelik veri alanı oluşturularak, ilgili alana kızılçam, karaçam, sarıçam, sahil çamı ve fıstıkçamı meşcere yanıcı madde tiplerinin %10-40 kapalılığa sahip meşcerelerine 1 kodu, %41-70 kapalılığa sahip meşcerelerine 2 kodu, %71< kapalılığa sahip meşcerelerine 3 kodu verilmiştir. YDT sisteminde Göknar, Sedir vb. meşcereler diğer ibrelili, Kayın, Çınar vb. meşcereler diğer yapraklı olarak sınıflandırılmıştır. Bu yanıcı madde tiplerine sırasıyla 4 ve 5 kodu verilmiştir. Diğer yanıcı madde tiplerine ise sırasıyla Maki için 6, Ziraat alanları için 7, açık alanlar ve açık alanlar için 0 kodu verilmiştir.

Yeniden sınıflandırılan BÖLMECİK katmanı, detay katmanı ile birleştirilerek, Yanıcı Madde Haritası elde edilmiştir (Şekil 15).



Şekil 15. Yanıcı Madde Haritalarının elde edilme süreci (Köyceğiz OİM)

YDT sistemi, piksel bazlı raster veri üzerinde çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Dolayısıyla vektör formatlı hazırlanan Yanıcı Madde Haritaları raster formata dönüştürülür. Sistem, üretilen raster veriyi otomatik olarak okuyarak renk kodları atar ve benzetime hazır hale getirir. Burada önemli bir husus, raster verinin piksel boyutların bilinmesidir. Çünkü sistem, piksel boyutlarına bağlı olarak alan hesaplaması yapmaktadır. Sistem alan hesabında ön tanımlı olarak $1\text{px}^2 = 100\text{m}^2$ eşitliğini kullanmaktadır.

2.1.5.3. YDT Sistem Modelleme

YDT Sistemi, girdi olarak kullandığı veriler yardımıyla yangın yayılma oranını hesaplamaktadır. Sistemde kullanılan yangın yayılma oranı modeli, ülkemizde gerçekleştirilen bazı projeler (TOVAG, 2007; TOGTAG, 2008; TOVAG, 2011) kapsamında gerçekleştiren deneme yangınlarından elde edilen veriler ile geliştirilmiştir. Yangın yayılma model formunun oluşturulmasında, Kanada YTO sisteminde kullanılan model formundan yararlanılmıştır (Van Wagner, 1993).

YDT sisteminde kullanılan Yayılma Oranı (YO) Modeli (15);

$$YO = a \times [1 - e^{(-b \times BYİ)}]^c \quad (15)$$

Burada;

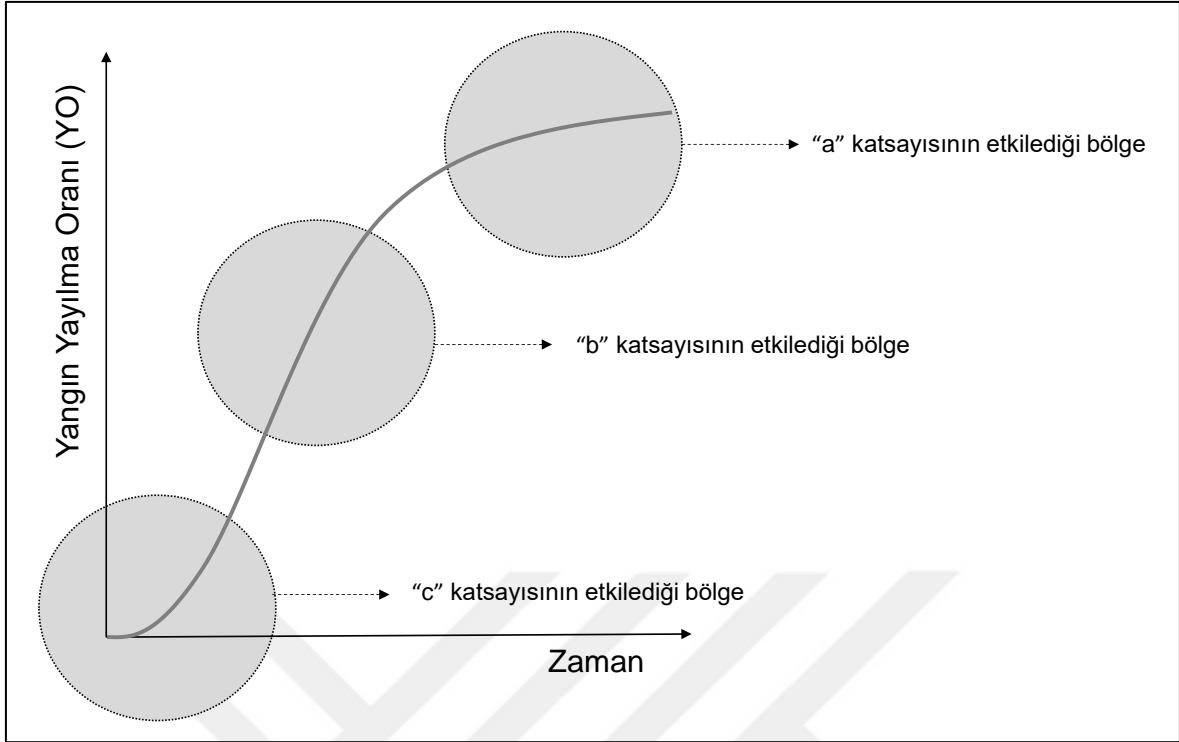
YO = Yangın Yayılma Oranı (m/dak),

BYİ = Başlangıç Yayılma İndeksi,

a, b ve c ise model katsayılarını ifade etmektedir.

Model, kabaca “S” şeklinde bir gelişimi ifade eder. Modelde, yangın yayılma oranı farklı yanıcı madde tiplerine göre belirlenmiş a, b, c sabit katsayıları kullanılarak yanıcı madde nemi ve rüzgâra bağlı olarak Meteorolojik Yangın İndeksi Sisteminde (MYİ) geliştirilmiş olan ve yangın yayılma oranının bir göstergesi olan BYİ’ye bağlı olarak hesaplanır.

Modeldeki “a” katsayısı ilgili yanıcı madde için ulaşılabilecek en yüksek yayılma oranını ifade eder. Modeldeki “c” katsayısı yangının en yavaş olduğu evrelerdeki hızlanma oranını ifade eder. Modeldeki “b” katsayısı ise hızlanma aşamasındaki eğimin bir göstergesi olup “c” katsayısına bağlıdır (Şekil 16).



Şekil 16. Yangın yayılma oranı modelinin yapısı

Yangın yayılma oranı modeli, farklı yanıcı madde tipleri için a, b ve c katsayılarının belirlenmesi ile yangın yayılma oranını, Başlangıç Yayılma İndeksi'ne bağlı olarak hesaplar. BYİ hesaplandıktan sonra proje veri tabanları (TOVAG, 2007; TOGTAG, 2008; TOVAG, 2011) kullanılarak Meşcere ve Maki yanıcı madde tipleri için katsayılar belirlenmiştir. Anız Yanıcı Madde Tipi için ise YO Model katsayıları ise, anız yanıcı madde tipinde gerçekleştirilen deneme yangınlarına ilişkin (Çinko, 2018) verileri kullanılarak belirlenmiştir.

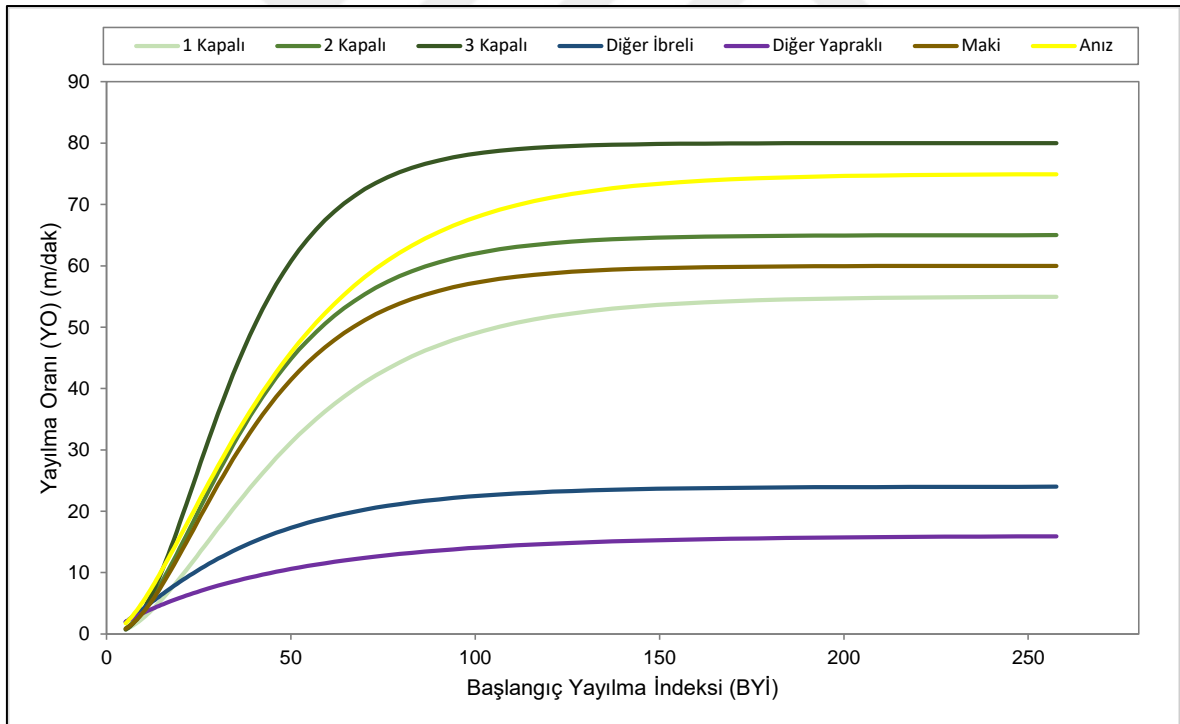
Yanıcı madde tiplerine ilişkin katsayıların belirlenmesi, deneme yangınlarından elde edilen yayılma oranı değerleri ile model formu katsayılarının hesaplanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, yanıcı madde tiplerine ilişkin yayılma oranı değerleri sabit olarak hesaplatılmıştır. Ancak, yayılma oranı modelinde ilgili katsayıların ağaç boyu, tepe altı yüksekliği, ölü örtü miktarı gibi yanıcı madde özelliklerine bağlı olarak, dinamik bir biçimde hesaplanmalıdır (Bilgili, 1995). Bu sayede sistem, yanıcı madde tipi tanımlamasına bağlı olmadan, yanıcı madde özellikleri ile yangın yayılma oranını hesaplayabilir. Ancak, yanıcı madde özelliklerine göre dinamik katsayıların hesaplanması, bu tezin amaçları dâhilinde değildir.

Genel bir indeks olarak BYİ hesaplandıktan sonra, Yanıcı Madde Tipleri için YO Model katsayıları, Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Yanıcı Madde Tiplerine göre Yayılma Oranı Model Katsayıları

Katsayılar	Yanıcı Madde Tipleri						
	Kızılçam - Karaçam Saf Meşcereleri			Diğer İbrelili	Diğer Yapraklı	Maki	Anız
	(1 Kapalı)	(2 Kapalı)	(3 Kapalı)				
a	55	65	80	24	16	60	75
b	0,03	0,04	0,05	0,03	0,02	0,04	0,03
c	2,25	2,56	3,22	1,3	0,9	2,55	1,95

Model katsayılarının belirlenmesi için, YDT sisteminde yedi adet yanıcı madde tipi tanımlanmıştır. Tanımlanan yanıcı madde tiplerinden “Diğer İbrelili” (Gökmar, Sedir, Servi ve Ardıç saf ve karışık) ve “Diğer Yapraklı” (Meşe (Yaprak Döken), Çınar saf ve karışık) yanıcı madde tiplerinde yangın verisi bulunmamaktadır. Bu sebeple literatür (Hirsch, 1996; Tymstra, 2010) ve tecrübeli uzman görüşleri sonucunda, Diğer İbrelili ve Diğer Yapraklı Türlerde yangın yayılma oranları belirlenmiştir. Model katsayılarına ilişkin Yayılma Oranı-Başlangıç Yayılma İndeksi grafiği, Şekil 17’de verilmiştir.



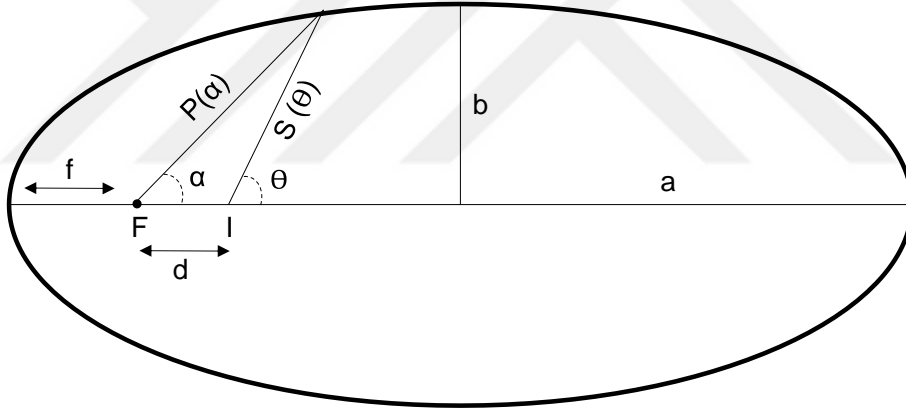
Şekil 17. YDT sistemi Yanıcı Madde Tiplerine ilişkin Yayılma Oranı-Başlangıç Yayılma İndeksi grafiği

Yanıcı madde tiplerine ilişkin Yayılma Oranı Model katsayıları belirlendikten sonra, yangın büyüme ve gelişme modeli tasarlanmıştır.

2.1.5.3.1. Yangın Büyüme ve Gelişim Modeli

Orman yangınları başlangıçta dairesel bir yayılış göstermelerine rağmen, daha sonra rüzgâr, eğim ve yanıcı madde özelliklerinin etkisiyle elips veya başka bir şekil alırlar (Bilgili ve Methven, 1990; Richards, 1990; Bilgili, 1991). Elips yangın yayılma şekline göre, yayılma oranı ve yangın şiddeti baş yangınında en yüksek olup yan yangınından arka yangınına doğru gittikçe azalma eğilimindedir (Van Wagner, 1969). Elips biçiminde gelişim gösteren yangının alanı ve çevresi, baş ve arka yangını yayılma oranı, rüzgâr hızı ve tutuşmadan sonra geçen zaman esas alınarak hesaplanabilir (Tymstra, 2010).

Yangın büyüme ve gelişiminin modellenmesi için basit elips esas alınmıştır (Van Wagner, 1969) (Şekil 18). Uygulamanın temelinde elips üzerinde bir seri halindeki noktalarda oluşacak elipslerin kenar hatlarının birleştirilmesiyle yangının yeni kenar hattının elde edilebileceği yatmaktadır. Orijini odak noktasında (F) olan bir elipsin polar formülü aşağıdaki şekildedir (16) (Postnikov, 1982).



Şekil 18. Basit elips modeli ile hesaplamalarda kullanılan elips boyutları

$$P(\alpha) = \frac{a - e \times c}{1 - e \times \cos \alpha} \quad (16)$$

Burada;

$P(\alpha)$ = Odaktan olan uzaklık,

a = Elipsin ana eksen yarı uzunluğu,

b = Elipsin kısa eksen yarı uzunluğu,

c = lineer eksantriklik, $c = \sqrt{a^2 - b^2}$,

e = Nümerik eksantriklik, $e = c/a$,

f = Odak noktasının ana eksen üzerinde en yakın kenara uzaklığı (odak mesafesi),

α = Ana eksene olan açıyı ifade etmektedir.

Şekil 18'deki a ve b eksen uzunlukları, elipsin boyu ve enini ifade ettiğinden, elipsin boy (B) ve en (E) oranı; $B/E = a/b$ olarak ifade edilir.

Orman yangınlarında yangının başlangıç noktası her zaman odak (F) olmayacağı için yangının başlangıç noktası (I) ile elipsin odağı (F) arasındaki mesafenin (d) belirlenmesi gerekir. Bu mesafe aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır (17).

$$d = m \times y_a - P(\alpha_{180}) \quad (17)$$

Burada;

d = Elipsin odağı ile yangının başlama noktası arasındaki mesafe,

$m \times y_a$ = Yangının başlama noktasından arka yangını mesafesi

$P(\alpha_{180})$ = Elipsin odağından arka yangını mesafesini ifade etmektedir.

Bu hesaplardan sonra, yangının başlangıç noktası dikkate alınarak elipsin polar koordinatları (θ ve $S(\theta)$) aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır (18 ve 19).

$$S^2 = (P \sin \alpha)^2 + (P \cos \alpha - d)^2 \quad (18)$$

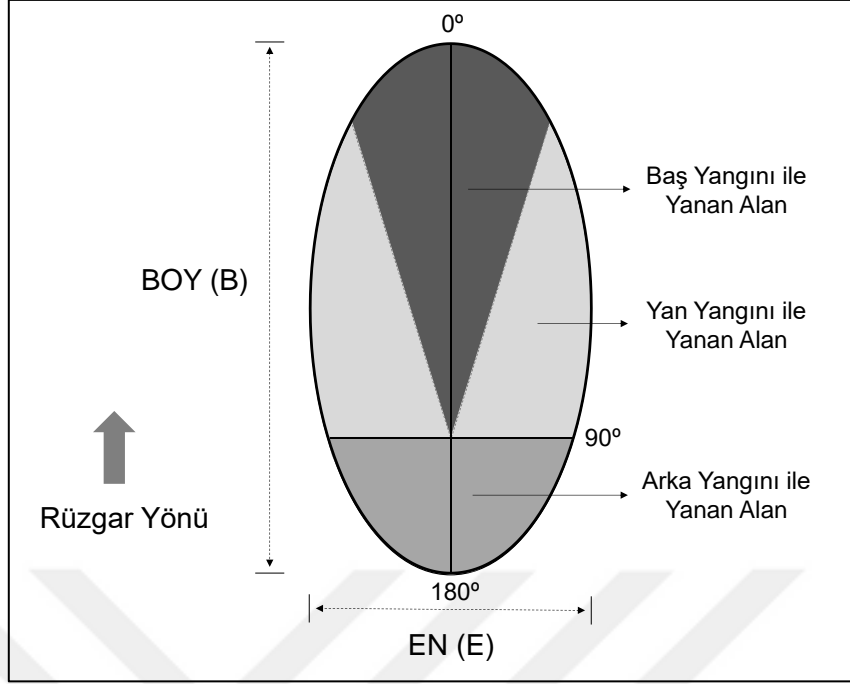
$$\theta = \cos((r \cos \alpha - d) / S) \quad (19)$$

Orman yangınlarındaki boy en oranı (B/E) rüzgâra (R) bağlı olarak değişmektedir. Yangınlarda en boy oranı rüzgâra bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Hesaplanan (B/E) oranı aynı zamanda yukarıda ifade edilen (a/b) oranına eşittir (20 ve 21).

$$B/E = 1,1 \times R^{0.464} \quad \text{Eğer, } R \geq 1 \quad (20)$$

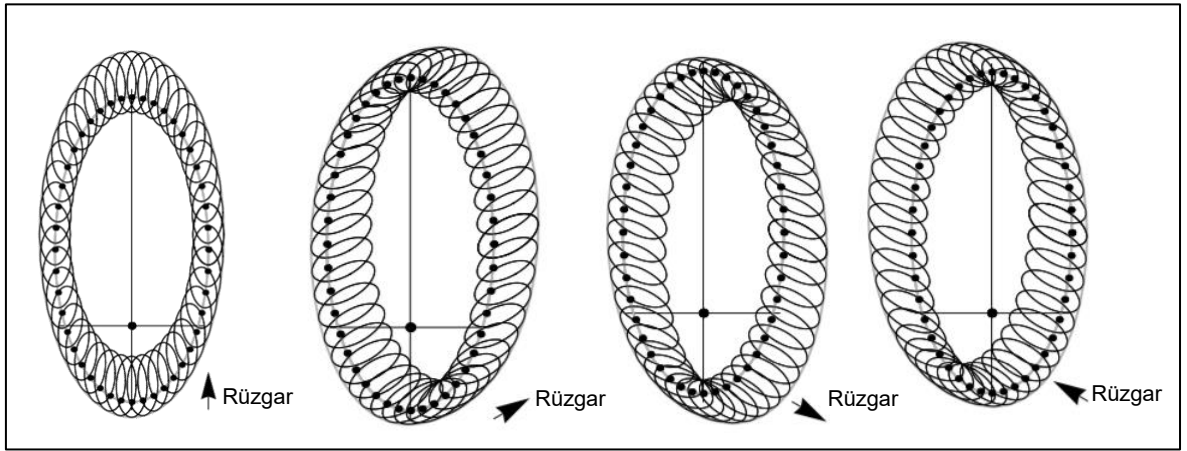
$$B/E = 1 \quad \text{Eğer, } R < 1 \quad (21)$$

YDT sisteminde kullanılan Yangın Yayılma Oranı Modeli, baş yangını yayılma oranını tahmin eder. Baş yangını, yanmanın veya alevlenmenin en fazla olduğu yangının en hızlı ilerleyen uç kısmını ifade eder ve genellikle rüzgâr yönüne veya eğim yukarıya doğru ilerler. Bundan dolayı yangının rüzgâr yönü dışındaki diğer yönlerdeki yangın yayılma oranının belirlenmesi yangın davranış modellerinde önemli bir husustur (Şekil 19). Bu problem, yangının başlamasından itibaren gelişme aşamalarının tamamında gösterdiği genel yayılış tiplerine bağlı olarak çözülebilir.



Şekil 19. Yanıcı maddenin homojen olduğu durumda, yangının büyüme ve gelişimi

Hesaplanan elips üzerindeki yangın yayılışı Huygens prensibine göre gerçekleştirilmiştir. Huygens ilkesine göre, noktasal kaynaktan çıkan bir dalganın her hangi bir anda ulaştığı konumda, yani dalga sınırında o konumdaki parçacıkların her biri de derhal küresel dalgacıklar yayarlar (Huygens, 1962) (Şekil 20). Buna göre bir dalga sınırı üzerindeki her bir nokta bir başka dalganın merkezini oluşturmaktadır. Huygens prensibi ilk olarak Amerikan YTO sisteminde (Finney, 2004) kullanılmış olup (Sanderlin, 1975), Kanada YTO sisteminde de kullanılmaktadır (Tymstra, 2010).



Şekil 20. Yanıcı maddenin homojen olduğu durumda, farklı rüzgâr yönlerindeki yangının büyüme ve gelişimi

2.1.6. Karar Destek Sistemi Yazılımı

TOYTOS KDS sistem yazılımı masaüstü uygulaması olarak hazırlanmıştır. Ancak, sistemin önemli alt sistemlerinden olan Meteorolojik Yangın İndeksi sistemi, ülke genelinde yangın risk ve tehlike potansiyelini derecelendirmesi ve çevrimiçi girdi kullanması sebebiyle web uygulaması olarak hazırlanmıştır. Bu sebeple, sistem yazılımlarında farklı programlama dilleri kullanılmıştır. KDS alt sistemlerine göre, programlama dil ve içerikleri aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

2.1.6.1. YBS Sistem Yazılımı

Yangın bilgi sistemi, bir veri tabanı yönetim sistemi olarak yangınlara ilişkin verileri saklamak, işlemek ve sorgulamak için tasarlanmıştır. Veri tabanı yönetim sistemlerinde geçmişten günümüze ilişkisel veri tabanı (*RDBMS, Relational Database Management System*) yönetim sistemleri kullanılmaktadır (Cattell, 2011). Bu sistemlerde kullanılan hiyerarşi, öncelikle tabloları ve her tabloya ait sütunları oluşturmak, sonrasında ise bilgileri satır şeklinde ekleyerek oluşturulmaktadır. Yangın Bilgi Sisteminde, verilerin saklanması, işlenmesi ve sorgulanması için SQLite veritabanı sistemi kullanılmıştır. SQLite veritabanı sistemi dünyada çokça kullanılan, hızlı ve güvenilir bir veritabanı sistemidir (Owens, 2006).

Yangın Bilgi Sistemi, yangın bilgi form verilerini Microsoft Excel dosyaları olarak saklamaktadır. Böylelikle veriler, gerektiğinde hızlı bir şekilde değiştirilebilme imkânına sahiptir. Ayrıca Microsoft Excel yazılımının hemen tüm bilgisayarlarda bulunması, verilerin saklanması için bilgisayarda ek bir sistemin kurulması gereğini ortadan kaldırmıştır.

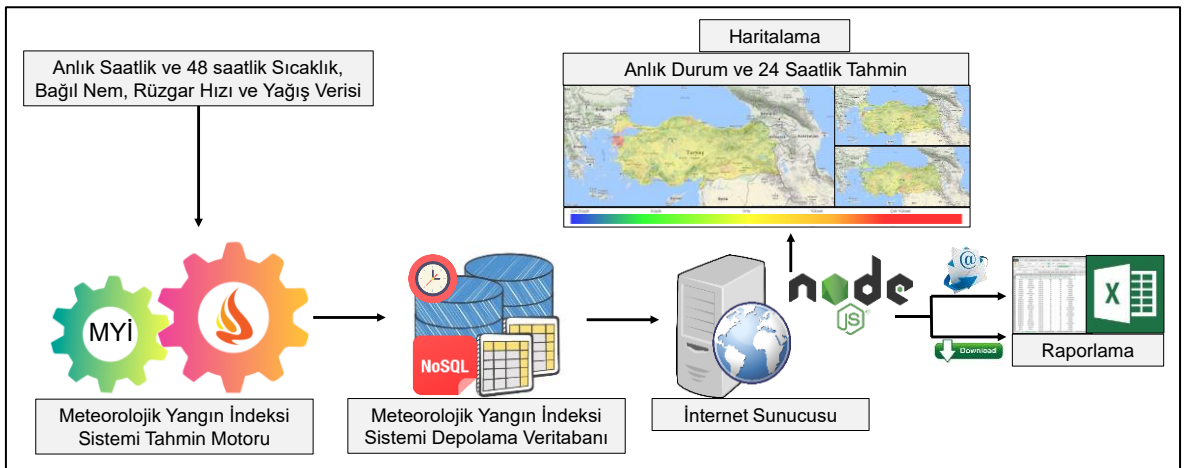
2.1.6.2. YÇİT ve YDT Sistem Yazılımı

Yangın Çıkma İhtimali Tahmin ve Yangın Davranışı Tahmin Sistem tasarımı ve yazılımı, Delphi programlama dili ile geliştirilmiştir (Delphi, 2009). YBS sistemindeki kullanıcı arayüzü de, ilgili dil ile geliştirilmiştir. Delphi programlama dili, temeli Pascal dili olan ve özellikle nesne tabanlı programlama anlayışıyla yapılandırılan bir dildir. Ayrıca, bu programlama diline Turbo Pascal dilinin görsel sürümü denilebilir (Köseoğlu, 2004). Bu sebeple, matematiksel işlemler yönünden güçlü bir dildir.

2.1.6.3. MYİ Sistem Yazılımı

Meteorolojik Yangın İndeksi Sistem yazılımı, cihazdan ve işletim sisteminden bağımsız olması için bir web uygulaması olarak hazırlanmıştır. Bu sayede, internete bağlanabilen herhangi bir cihazın sisteme bağlanıp bilgi edinmesi hedeflenmiştir. Sistemin tasarım ve geliştirme aşamasında günümüz web teknolojileri kullanılmıştır. Özellikle hem sunucu hem de istemci tarafında ortak kod yazılmasını sağlayan Node.js teknolojisinin kullanılması sayesinde sistem tamamıyla javascript yazılım geliştirme dili ile gerçekleştirilebilmiştir. Ayrıca, Node.js yazılım geliştirme platformunun kullanılması sayesinde sistem geliştirilen yeni yangın risk ve tehlike tahmini modellerine de uyum sağlayabilecek esnek bir yapı kazanmıştır. Yani, yeni bir yanıcı madde nem modeli geliştirildiğinde sisteme kolaylıkla uyarlanabileceği gibi, her bölge için özel yangın modellerinin kullanılması da sistem içerisinde kolaylıkla gerçekleştirilebilir.

Sistemin hem elde ettiği meteorolojik verileri hem de yaptığı tahminleri saklaması için günümüzde kullanımı artan NoSQL teknolojisi kullanılmaktadır. Bu teknoloji sayesinde verilerin sabit bir yapıda olmasının önüne geçilmiş ve kullanılan bilgilerde yapılacak olan değişikliklerin mevcut veriyi değiştirmeden sisteme uyumu sağlanmıştır. Bunlarla birlikte, sistemin sürekli güncel olarak tahmin yapabilmesi için, belirli zaman aralıklarında meteorolojik verileri elde edip, tahminlerini güncellemesi gerekmektedir. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için, yine node.js teknolojisinin sunduğu bir görev zamanlayıcısı kullanılmıştır (Şekil 21).



Şekil 21. MYİ Sistem yazılım şeması

Çalışmakta olan sistem hava durumu ve tahmin verilerini saatlik ve 1 günlük tahmin verisi şeklinde Weather Underground (URL-5, 2018) meteorolojik veri sağlayıcısından,

Weather API yardımıyla otomatik olarak almaktadır. Dolayısıyla, sistem hava durumu kaynaklarına da adapte edilebilir bir yapıda tasarlanmıştır. MYİ sistemi şu an için Türkiye il ve ilçe merkezleri için çalışmaktadır. Ancak, sistemin kullandığı hava hallerine ilişkin verilerin konumsal çözünürlüğü artırılması durumunda sistem, istenilen çözünürlüğe kadar yangın risk ve tehlike potansiyelini derecelendirebilir.

Mevcut sistem, Karadeniz Teknik Üniversitesi web altyapısını kullanarak çalışmaktadır (URL-4, 2018). Sistemin görsel yapısı Google haritalar yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Türkiye'nin tüm il ve ilçe merkezlerini içeren poligon katmanı yangın indeks değerlerine göre saatlik olarak renklenmektedir. Sonuçlar, uydu, topoğrafik, siyasi ve hibrid altlık haritaları üzerinde gösterilebilmektedir. Sistem, ayrıca tanımlanan kullanıcılara günlük yangın risk ve tehlike potansiyelini rapor şeklinde elektronik posta olarak gönderebilmekte ya da sistem web arayüzünden, yangın risk ve tehlike potansiyeli raporu, kullanıcı tarafından doğrudan indirilebilmektedir.

2.2. Karar Destek Sistemin Bir Yönetim Aracı Olarak Uygulanması

Sistem tasarımı ve modelleri geliştirilen TOYTOS'un yangın yönetim planlamalarında bir KDS sistemi olarak uygulanması için, Köyceğiz ve Gazipaşa Orman İşletme Müdürlükleri pilot alan olarak seçilmiştir. KDS uygulaması için belirlenen OİM'ler, I. Derece orman yangına hassas alanlar içerisinde bulunmaktadır (OGM, 2017).

2.2.1. Araştırma Alanı

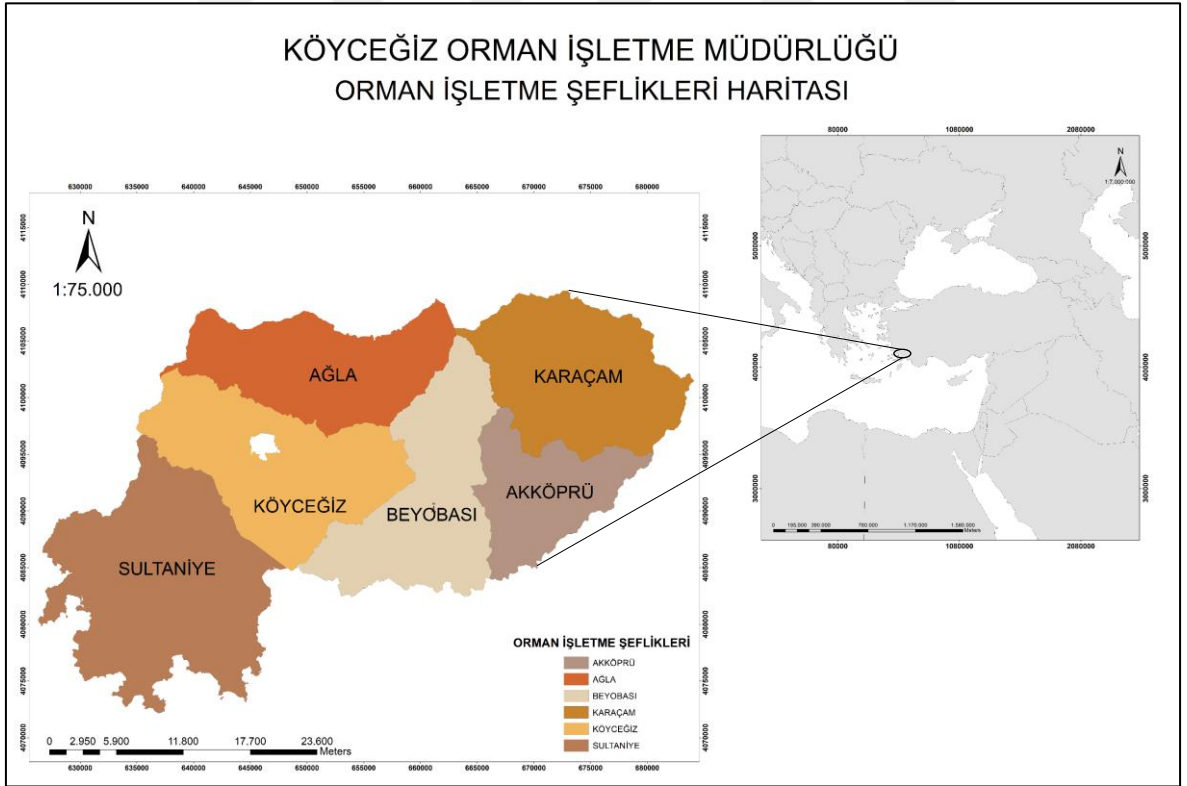
2.2.1.1. Köyceğiz Orman İşletme Müdürlüğü Tanıtımı

Köyceğiz OİM, Muğla Orman Bölge Müdürlüğü sınırlarında bulunmaktadır. İşletme, 37° 06' 19" - 36° 48' 26" kuzey enlemleri ile 28° 29' 43" - 29° 02' 56" doğu boylamları arasında yer almaktadır. İşletme Müdürlüğü, 6 Orman İşletme Şefliğinden oluşmaktadır. Bunlar; Ağla, Akköprü, Beyobası, Karaçam, Köyceğiz ve Sultaniye Orman İşletme Şeflikleridir (Şekil 22). Köyceğiz OİM toplam alanı yaklaşık 118 bin hektardır (Tablo 11).

Tablo 11. Köyceğiz OİM Orman İşletme Şeflikleri Tablosu

ŞEFLİK ADI	ALAN (Ha)
AĞLA	17.320,8
AKKÖPRÜ	11.501,6
BEYOBASI	19.194,3
KARAÇAM	19.639,9
KÖYCEĞİZ	21.094,7
SULTANİYE	29.329,6
TOPLAM	118.080,9

Köyceğiz OİM, Akdeniz bölgesi ikliminin etkisi altında olup, yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Araştırma alanında görülen ortalama en yüksek sıcaklık 33,6 °C ile Ağustos ayında, ortalama en düşük sıcaklık 1,9 °C ile Şubat ayında, ortalama en düşük yağış 7,2 mm ile Ağustos ayında, ortalama en yüksek yağış 259,0 mm ile Aralık ayında gerçekleşmektedir. Ortalama aylık yağış miktarı 96,6 mm'dir (MGM, 2017b).



Şekil 22. Köyceğiz OİM'nin coğrafi konum ve OİŞ haritası

İşletme müdürlüğü toplam ormanlık alanı 88.494,22 hektardır. Bu değer, işletmenin toplam alanının % 74,9'luk bölümünü oluşturmaktadır. Ormanlık alanın 84.484,62 hektarı normal, 4.009,60 hektarı bozuk orman vasfındadır.

Coğrafi yapı incelendiğinde, Köyceğiz OİM sınırlarındaki meşcerelerin sahip olduğu en yüksek yükselti değeri 2194 m, en düşük yükselti değeri deniz seviyesi, ortalama yükselti değeri ise 680 m'dir. Meşcerelerin en yüksek eğim değeri %101, en düşük eğim değeri %0 ortalama eğim değeri ise %40'dır.

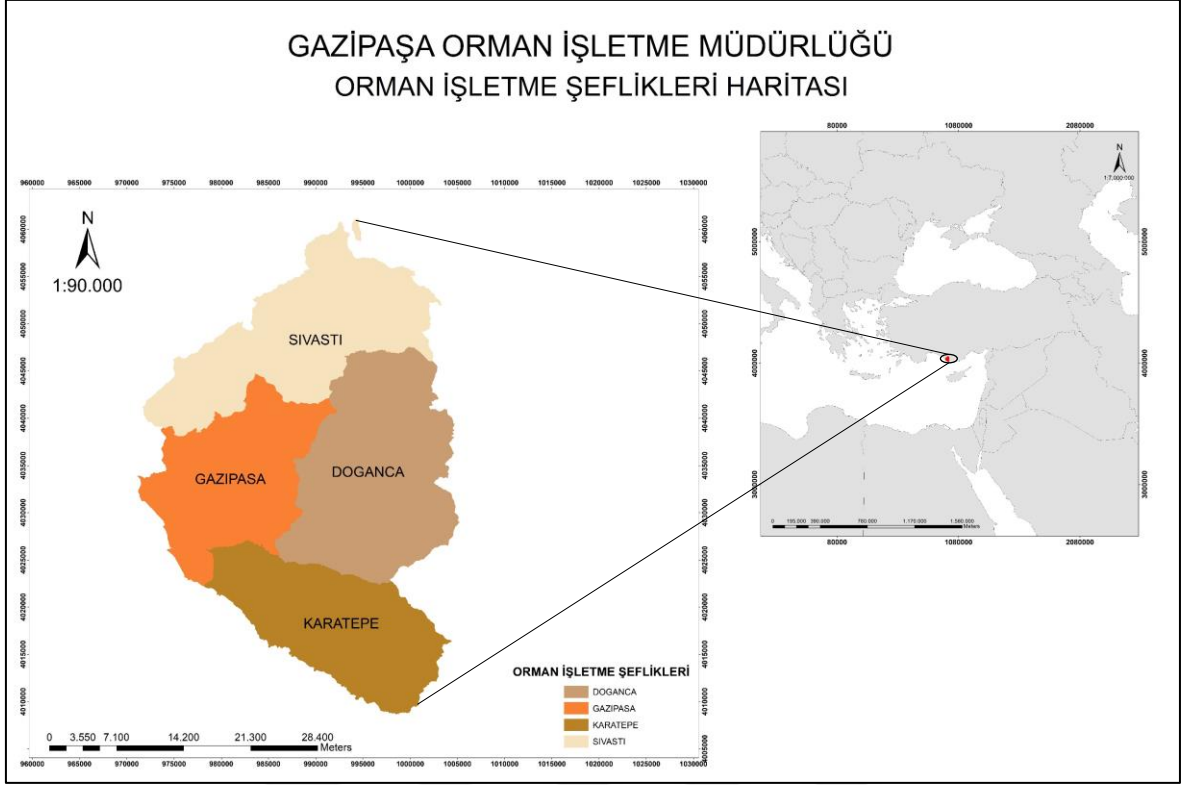
2.2.1.2. Gazipaşa Orman İşletme Müdürlüğü Tanıtımı

Gazipaşa OİM, Antalya Orman Bölge Müdürlüğü sınırlarında bulunmaktadır. İşletme, 36° 34' 33" - 36° 05' 06" kuzey enlemleri ile 32° 14' 27" - 32° 37' 42" doğu boylamları arasında yer almaktadır. İşletme Müdürlüğü toplamda 4 Orman İşletme Şefliğinden oluşmaktadır. Bu şeflikler; Sivastı, Karatepe, Merkez Gazipaşa ve Doğanca Orman İşletme Şeflikleridir (Şekil 23). İşletmenin toplam alanı yaklaşık 110 bin hektardır (Tablo 12).

Tablo 12. Gazipaşa OİM Orman İşletme Şeflikleri Tablosu

ŞEFLİK ADI	ALAN (Ha)
SIVASTI	29.651,90
KARATEPE	24.173,60
GAZIPASA	23.531,60
DOĞANCA	32.748,10
TOPLAM	110.105,20

Gazipaşa OİM Akdeniz bölgesi ikliminin etkisi altında olup, yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Araştırma alanında görülen ortalama en yüksek sıcaklık 34,2 °C ile Temmuz ayında, ortalama en düşük sıcaklık 6,2 °C ile Şubat ayında, ortalama en düşük yağış 2,8 mm ile Temmuz ayında, ortalama en yüksek yağış 261,7 mm ile Aralık ayında gerçekleşmektedir. Ortalama yağış miktarı 89,6 mm'dir (MGM, 2017a).



Şekil 23. Gazipaşa OİM'nin coğrafi konum ve OİŞ haritası

İşletme müdürlüğü toplam ormanlık alanı 61.411,08 hektardır. Bu değer işletmenin toplam alanının % 55,8'lik bölümünü oluşturmaktadır. Ormanlık alanın 34.187,88 hektarı normal, 27.223,20 hektarı bozuk orman vasfındadır.

Coğrafi yapı incelendiğinde, Gazipaşa OİM sınırlarındaki meşcerelerin sahip olduğu en yüksek yükselti değeri 1083 m, en düşük yükselti değeri deniz seviyesi, ortalama yükselti değeri ise 206 m'dir. Meşcerelerin en yüksek eğim değeri %85, en düşük eğim değeri %5 ortalama eğim değeri ise %30'dur.

2.2.1.3. Pilot OİM'lere İlişkin Sayısal Veri Temini

TOYTOS model karar destek sisteminin çalışabilmesi için, bazı sayısal verilerin sisteme tanımlanmasına gerek duyulmaktadır. Bu veriler; orman işletme şefliklerine ait orman amenajman planları sayısal veri tabanı, geçmiş yangınlara ilişkin yangın bilgi formları ve meteorolojik verilerdir. Pilot OİM'lere ilişkin orman işletme şeflikleri sayısal orman amenajman veri tabanları, Orman Genel Müdürlüğü Bilgi Sistemleri Daire Başkanlığı'ndan, 2013-2018 yıllarını kapsayan 5 yıllık yangın bilgi formları ise Orman Yangınları ile Mücadele Dairesi Başkanlığı'ndan temin edilmiştir. Alanlara ilişkin yangın

benzetiminde kullanılacak meteorolojik veriler ise bir çevrimiçi veri sağlayıcısından temin edilmiştir.

Yangın çıkma ihtimali tahmin sisteminde kullanılan demografik özellik parametresinin belirlenmesi amacıyla çalışma alanlarında, Türkiye’de Yüksek Koruma Değerine Sahip Akdeniz Ormanlarının Entegre Yönetimi Projesi (GEF V) kapsamında gerçekleştirilen paydaş değerlendirme toplantılarına ilişkin rapor sonuçları kullanılmıştır (OGM, 2016b).

2.2.1.4. Pilot OİM Alanlara Özgü Yangın Risk Faktörlerinin Belirlenmesi

Paydaş değerlendirme toplantılarının ilki, 13 Mayıs 2016 tarihinde Köyceğiz Orman İşletme Müdürlüğü toplantı salonunda gerçekleştirilmiştir. Toplantıya, Orman İşletme Müdürlüğü personeli, işletme müdürlüğü sınırlarında yer alan köy muhtarları, yerel ormancılık kooperatif başkanları, jandarma ve Muğla İtfaiye Müdürlüğünden temsilciler katılmıştır. Köyceğiz OİM toplantısına ilişkin görsel, Şekil 24’te verilmiştir. İlgili toplantıya Köyceğiz OİM personeli dâhil olmak üzere 25 kişilik katılım sağlanmıştır.



Şekil 24. Köyceğiz OİM orman yangınları paydaş değerlendirme toplantısı (a, b)

Paydaş değerlendirme toplantılarının ikincisi olan Gazipaşa OİM paydaş değerlendirme toplantısı, 26 Mayıs 2016 tarihinde Gazipaşa Orman İşletme Müdürlüğü toplantı salonunda gerçekleştirilmiştir. Toplantıya, Gazipaşa Kaymakamı, İlçe Emniyet Müdürü, Belediye Başkan Yardımcısı, İlçe Jandarma Komutanı, İlçe Müftüsü, İlçe Meteoroloji Müdürü ve Milli Eğitim Müdürü, İlçe Elektrik Dağıtım Şirketi Temsilcisi, Orman İşletme Müdürlüğü personeli, işletme sınırlarında yer alan köy muhtarları, alanlarda faaliyet gösteren Sivil Toplum Kuruluşları (STK) temsilcileri katılmıştır. Gazipaşa OİM

toplantısına ilişkin görsel, Şekil 25’te verilmiştir. İlgili toplantıya Gazipaşa OİM personeli dâhil olmak üzere 44 kişilik katılım sağlanmıştır.



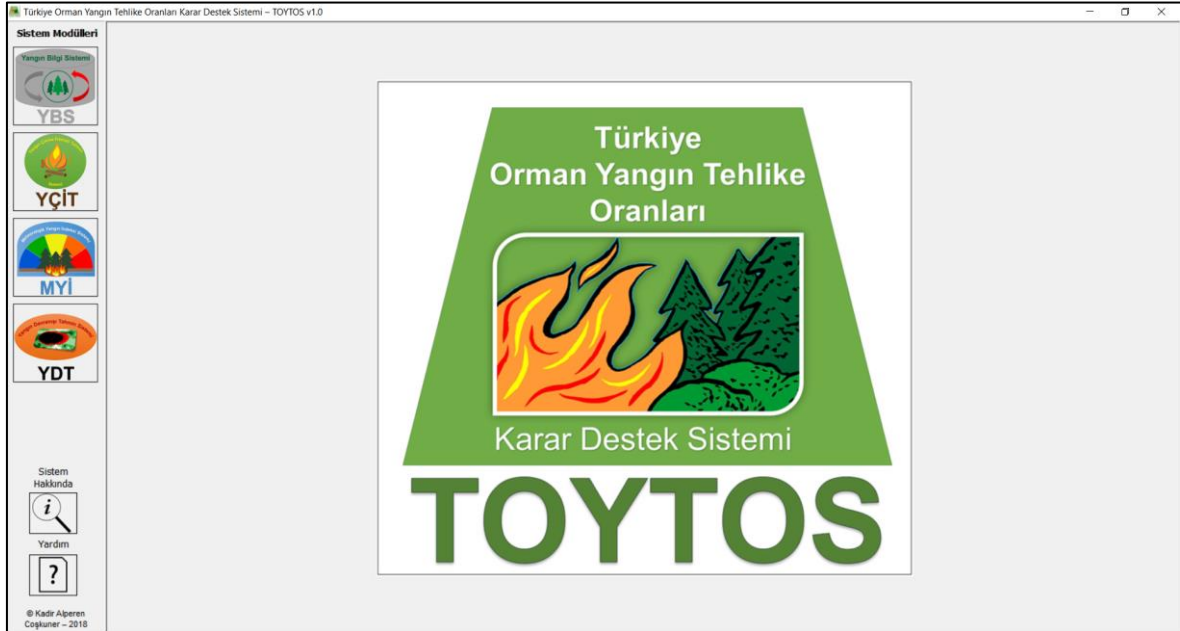
Şekil 25. Gazipaşa OİM orman yangınları paydaş değerlendirme toplantısı (a, b)

3. BULGULAR

Bu çalışmada, Türkiye Orman Yangın Tehlike Oranları Karar Destek Sisteminin (TOYTOS) kavramsal çerçevesi, sistem tasarımı, modelleme yaklaşımı ortaya konulmuş ve model yazılımı geliştirilmiştir. TOYTOS, birçok çalışmanın sistemsel olarak bütünleştirildiği ve ele alındığı bir karar destek sistemidir. Geliştirilen KDS yazılımı, bir yangın yönetim aracı olarak iki pilot bölgede uygulanmıştır.

3.1. TOYTOS Sistem Arayüzü

TOYTOS v1.0 sistem yazılımı dört ana alt sistemden oluşmaktadır (Şekil 26). Bunlar; orman yangınlarına ilişkin tüm öznitelik verilerin kayıt altına alınıp saklandığı Yangın Bilgi Sistemi (YBS), çevre faktörlerine bağlı olarak yangın risk ve tehlike analizlerinin yapıldığı Yangın Çıkma İhtimali Tahmin Sistemi (YÇİT), sisteme girdi sağlayan meteorolojik verilerin alınıp saklandığı, aynı zamanda anlık değişken faktörlere bağlı olarak yangın risk ve tehlike potansiyeli derecelendirmesi yapan Meteorolojik Yangın İndeksi Sistemi (MYİ) ve yangın benzetiminin gerçekleştirildiği Yangın Davranışı Tahmin Sistemi (YDT)'dir.



Şekil 26. TOYTOS karar destek sistemi model yazılımının ana penceresi

Sistem ana penceresinde kullanıcının sistem ana çerçevesinin özetlendiği “Sistem Hakkında” menüsü ve “Yardım” menüsü bulunmaktadır. Sistem hakkında menüsü açıldığında sistemin tarihçesi, kavramsal çerçevesi, modelleme yaklaşımı ve yazılımsal altyapı bilgisine ulaşılabilmektedir. Yardım menüsü ise sistemin eğitim dokümanları ve kullanıcı el kitabı ve animasyonlu sistem kullanım videolarının bulunduğu TOYTOS web adresine internet üzerinden ulaşılabilmektedir (URL-6, 2018) (Şekil 27).



Şekil 27. TOYTOS yazılım bilgilerinin bulunduğu web sitesi arayüzü

Sistem ana penceresinde, sistem alt sistemleri altında yer alan ikonlar, her bir alt sisteme erişimi sağlamaktadır. İkonlar tıklandığında her bir alt sistem, yazılım arayüzünün sağında yeni bir arayüz şeklinde açılmaktadır. Ayrıca ikon tıklandığında, kullanıcıya istenen alt sistemde bulunduğunu gösteren ikon çerçevesi lacivert renge dönüşmektedir.

Sistem alt sistemlerin içeriği, alt başlıklar halinde aşağıda açıklanmıştır.

3.1.1. TOYTOS Yangın Bilgi Sistemi (YBS) Alt Sistemi

YBS alt sistemi, TOYTOS yazılımında orman yangınları ile ilgili mekânsal, zamansal ve tanımlayıcı bilgilerin kullanıcı ara yüzü yardımıyla girildiği bir sistem, ayrıca akıllı sorgulama ve analizlerin gerçekleştirildiği bir alt sistemdir. Sistem veri girişi, veri sorgulama ve analiz ve grafik döküm ana menülerinden oluşmaktadır. “YBS hakkında” kısmında ise sistemin özeti ve kullanma kılavuzu bulunmaktadır. YBS arayüzü ve yangın form veri girişi tıklandığında açılan veri giriş ara yüzü Şekil 28’de gösterilmiştir.

The screenshot shows the YBS (Yangın Bilgi Sistemi) interface. The main window displays the 'YANGIN BİLGİ FORMU' (Fire Information Form) for the Ankara Orman Genel Müdürlüğü. The form is divided into several sections:

- ORMAN GENEL MÜDÜRLÜĞÜNE ANKARA**: Includes fields for 'YANGIN HAREKAT MERKEZİ', 'İLK MERKEZ', 'HABERİN ALINDIĞI Tarih', 'Saat', 'ÖZEL NO', and 'ESAS NO'.
- YANGIN BİLGİ FORMU**: This section is further divided into:
 - 1. Yangın Yeri ile İlgili Bilgiler**: Includes fields for 'Bölge Müdürlüğü', 'İşletme Müdürlüğü', 'İşletme Şefliği', 'Seri No', 'Mevki', 'Bölme No', 'İli', 'İlçesi', 'Köyü', 'En Yakın Yerleşim Yeri Uzaklığı (km)', 'Yangın Başlangıç Noktasının Koordinatları', and 'Kuzey (X) / Doğu (Y)'.
 - 9. Meteorolojik Veriler**: Includes fields for 'Bağıl Nem (%)', 'Rüzgar Hızı (km/sa)', 'Rüzgar Yönü', 'Ortalama Sıcaklık (°C)', 'En Yüksek Sıcaklık (°C)', 'Yağış (mm)', 'Son Yağıştan Kaç Gün Geçti?', 'Yangın Çıkış Amı', 'Meteorolojik Yangın İndeksi Değeri', 'Yangın Ortası', and 'Yangın Sonu'.
 - Mahalli Yönetici**: Includes fields for 'Teknik Eleman', 'Memur', 'Söndürme İcra', 'Mükellef', 'Asker', 'Polis', and 'Jandarma'.
- 2. Yangın Zaman Verileri**: Includes fields for 'Yangının Başlaması', 'İlk Müdahale', 'Kontrolü', and 'Söndürülmesi'.

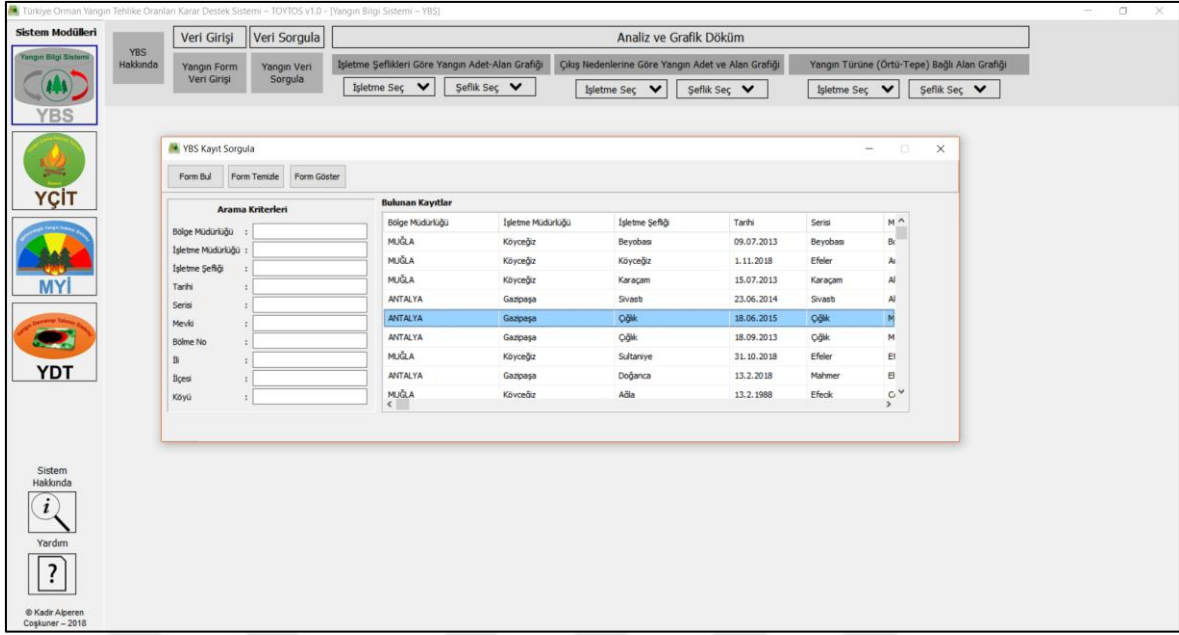
The interface also features a sidebar with system modules (Sistem Modülleri) including YBS, YÇİT, MYİ, and YDT, and a top navigation bar with options like 'Veri Girişi', 'Veri Sorgula', and 'Analiz ve Grafik Döküm'.

Şekil 28. YBS alt sistemi ve yangın form veri girişi arayüzü

Hazırlanan yangın bilgi formu, Orman Genel Müdürlüğü'nün günümüzde kullandığı standart yangın bilgi formu verilerini içermektedir. YBS yangın bilgi formunun 9. bölümüne yangınlara ilişkin analizlerde kullanılabilecek ve gerektiğinde Meteorolojik Yangın İndeksi sistem kalibrasyonunda kullanılabilecek verilere ilişkin, veri girişi alanı da oluşturulmuştur. Kullanıcı, yangına ilişkin bilgileri girdikten sonra alt sistem arayüzünün üstünde bulunan "Kaydet" bölümü ile YBS veri tabanına formu kaydetmektedir. Kullanıcı "Sil" bölümü yardımıyla formu silebilir, "Yazdır" bölümü yardımıyla ilgili formu yazdırabilmektedir.

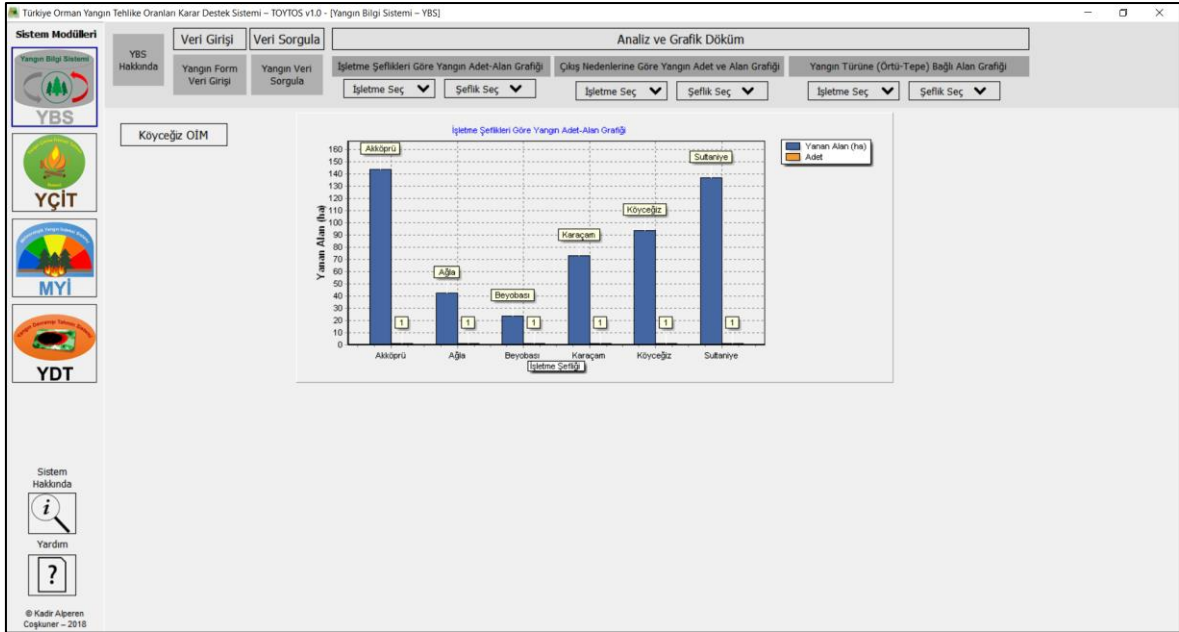
YBS alt sisteminin ikinci kısmını, yangın veri sorgulama bölümü oluşturmaktadır. Bu bölümde kullanıcı, sisteme tanımlanmış yangın bilgi formlarını, formun 1. bölümü olan "Yangın Yeri ile İlgili Bilgiler" bölümünü kullanarak sorgulayabilmektedir. YBS veri tabanından tekrar çağırılarak form üzerinde değişiklik yapılabilen veya silinebilmektedir. Sistemin model olarak çalışabilmesi için, pilot olarak seçilen işletme müdürlüklerine ilişkin elde edilebilen geçmiş yangın verileri sisteme tanımlanmıştır.

Yangın Bilgi Sistemi, yangın veri sorgulama bölümü Şekil 29'da verilmiştir.



Şekil 29. YBS alt sistemi, yangın kayıt sorgulama arayüzü

Alt sistemin son bölümü ise “Analiz ve Grafik Döküm” kısmıdır. Bu bölümde kullanıcı, YBS veri tabanında veri girişi yapılmış işletmelere ilişkin üç adet grafik dökümü gerçekleştirilebilmektedir. Bu grafikler; *i*) işletme şefliklerine göre yangın adet-alan grafiği, *ii*) çıkış nedenlerine göre yangın adet alan grafiği, *iii*) yangın türüne (örtü-tepe) göre adet alan grafiğidir. Analiz ve grafik döküm bölümü Şekil 30’da verilmiştir.



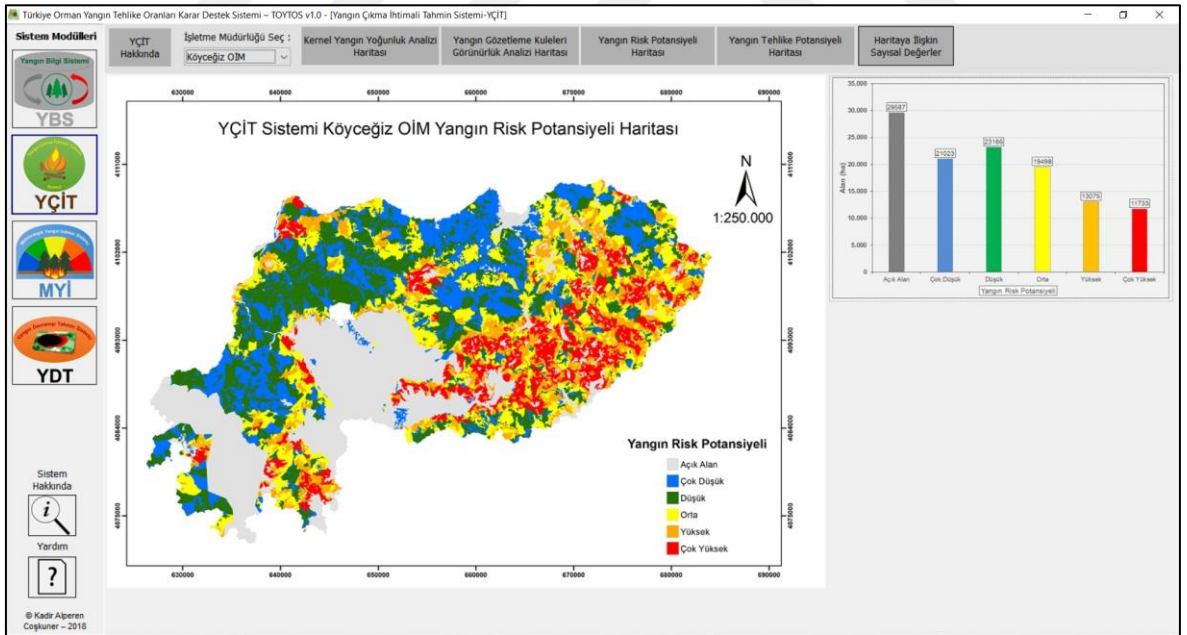
Şekil 30. YBS alt sistemi, analiz ve grafik döküm bölümü (örnek grafik, Köyceğiz OİM’nin çıkış nedenlerine göre yangın adet-alan grafiğidir)

YBS alt sistemi ardında, sistem bilgilerini analizlerinde girdi olarak kullanan Yangın Çıkma İhtimali Tahmin Sistemi (YÇİT) alt sistemi yer almaktadır.

3.1.2. TOYTOS Yangın Çıkma İhtimali Tahmin Sistemi (YÇİT) Alt Sistemi

YÇİT alt sistemi, alanın aktüel yanıcı madde, topoğrafik ve demografik özelliklerine bağlı olarak yangın risk ve tehlike potansiyeli derecelendirildiği, aynı zamanda geçmiş yangınlara ilişkin mekânsal analizlerin yapıldığı alt sistemdir. Sistem alt sisteminde 4 adet analiz yapılabilmektedir. Bunlar; *i*) Kernel yangın yoğunluk analizi, *ii*) Yangın gözetleme kuleleri görünürlük analizi, *iii*) Yangın risk potansiyeli analizi, *iv*) Yangın tehlike potansiyeli'dir. Sistem girdi olarak YBS veri tabanında depolanan bilgiler ve orman amenajman veritabanı bilgilerinden yararlanmaktadır. YÇİT alt sistemi, seçilen OİM'ye bağlı olarak istenilen analizi gerçekleştirerek mekânsal harita olarak sunabilmektedir.

Alt sistem, ayrıca analize bağlı olarak sayısal değerleri raporlayarak, grafik dökümünü gerçekleştirebilmektedir. YÇİT alt sistem arayüz ve örnek analize ilişkin görüntü Şekil 31'de verilmiştir (Şekil 31).

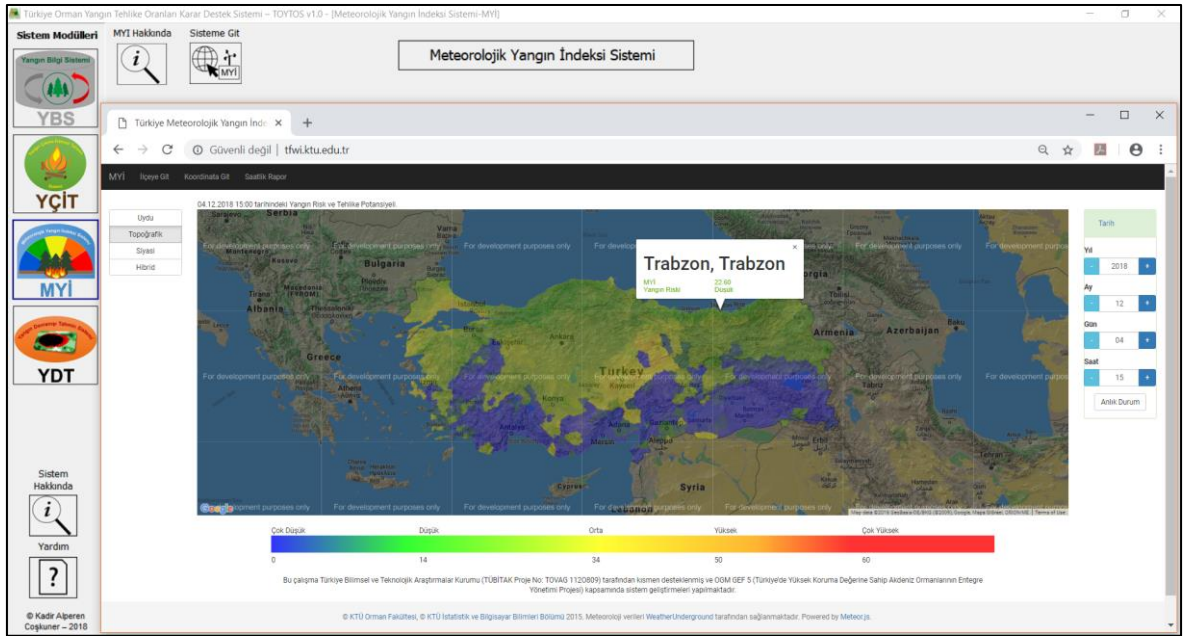


Şekil 31. YÇİT alt sistemi arayüzü (örnek harita ve tablo, Köyceğiz OİM yangın risk potansiyeli analizi sonuçlarını göstermektedir)

YÇİT alt sisteminin ardından, meteorolojik faktörlere bağlı olarak yangın risk ve tehlikesini derecelendiren Meteorolojik Yangın İndeksi Sistemi (MYİ) alt sistemi yer almaktadır.

3.1.3. TOYTOS Meteorolojik Yangın İndeksi Sistemi (MYİ) Alt Sistemi

MYİ alt sistemi, yanıcı maddelerin tutuşabilirliğini belirler ve yangının başlaması durumunda potansiyel yangın yayılma oranı ve yangın şiddeti hakkında bilgi vermektedir. MYİ girdileri olan meteorolojik verileri, sistem tarafından otomatik olarak meteorolojik tahmin sunucusundan alınmaktadır. TOYTOS sistemin MYİ sistem alt sistemi açıldığında sistem bilgisi ile sisteme git menüsü yer almaktadır. Sisteme git komutu ile alt sistem, kullanıcıyı sistemin çevrimiçi sayfasına yönlendirmektedir. MYİ alt sisteminin arayüzü Şekil 32’de verilmiştir.



Şekil 32. MYİ arayüzü

Kullanıcı, sistem üzerinden geçmişe yönelik istenilen yıl, ay, gün ve saat için sorgulama yapabilmektedir. Şekil 32’de örnek olarak 6 Aralık 2018 yılı saat 15:00 için meteorolojik yangın risk potansiyeli verilmiştir. Ayrıca sistem, coğrafik olarak gerek öznitelik verisi gerekse koordinat kullanarak konum sorgulaması yapabilmektedir. Ayrıca harita yakınlaştırılıp istenilen yer işaretlendiğinde alanın üzerinde beliren mesaj kutusu yardımıyla alanın anlık yangın risk ve tehlike potansiyeli ile MYİ değeri görülebilmektedir (Şekil 32).

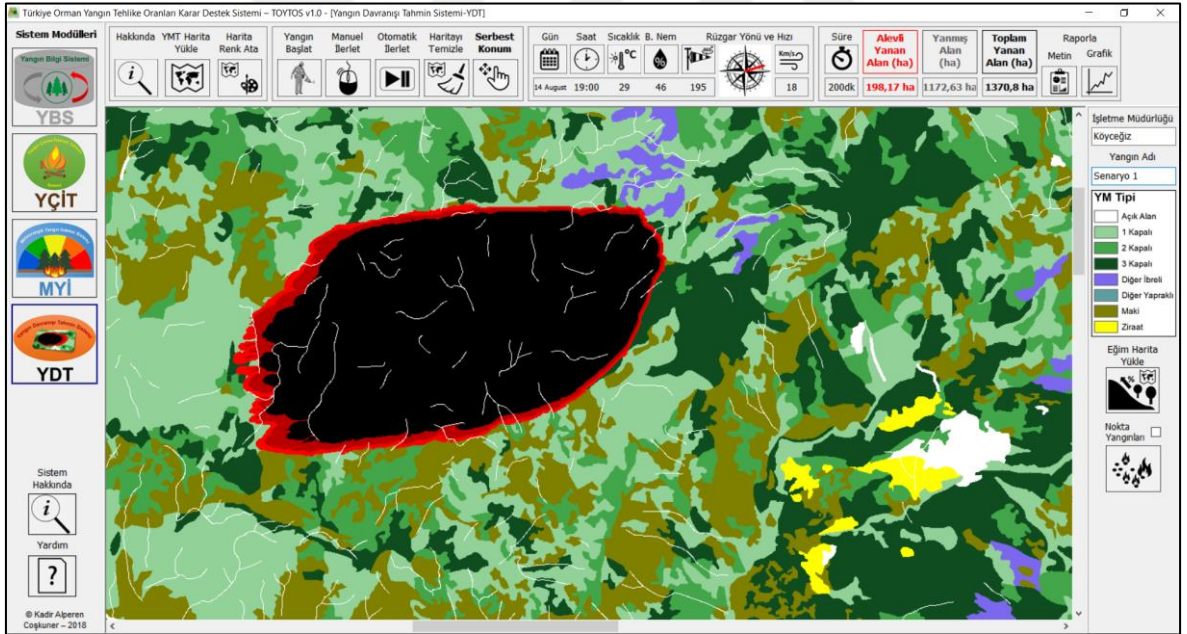
Sistem aynı zamanda otomatik olarak tanımlanan kullanıcıya elektronik posta ile saatlik il ve ilçe bazında yangın risk ve tehlike potansiyelini rapor halinde gönderebilmektedir. Ayrıca isteyen kullanıcı saatlik raporu, sistemin üst menüsünden doğrudan bilgisayarına indirebilmektedir.

MYİ alt sisteminin ardından, meteorolojik verileri sistem girdisi olarak kullanıp, yanıcı madde ve topoğrafik özelliklere bağlı olarak belirlenen alan için yangın benzetimi gerçekleştiren Yangın Davranışı Tahmin Sistemi (YDT) alt sistemi yer almaktadır.

3.1.4. TOYTOS Yangın Davranışı Tahmin Sistemi (YDT) Alt sistemi

YDT alt sistemi, yangın davranışını farklı hava halleri, topografya ve yanıcı madde özelliklerine bağlı olarak tahmin etmeye çalışan bir alt sistemdir. YDT sistem girdileri üç başlık altında toplanmaktadır. Bunlar; *i*) hava halleri ve yanıcı madde nem verisi, *ii*) yanıcı madde haritası, *iii*) doğal ve yapay engeller (yol, akarsu vb.) haritasıdır.

Sistem, hava halleri ve yanıcı madde nem bilgisini benzetim alanı için MYİ sisteminden sağlamaktadır. Sistem, yanıcı madde haritası ile doğal ve yapay engellere ilişkin bilgileri, işletme şeflikleri orman amenajman planları sayısal veri tabanlarından elde etmektedir. YDT sistem kullanıcı arayüzü Şekil 33’te verilmiştir.



Şekil 33. YDT arayüzü ve Köyceğiz OİM için örnek yangın benzetimi

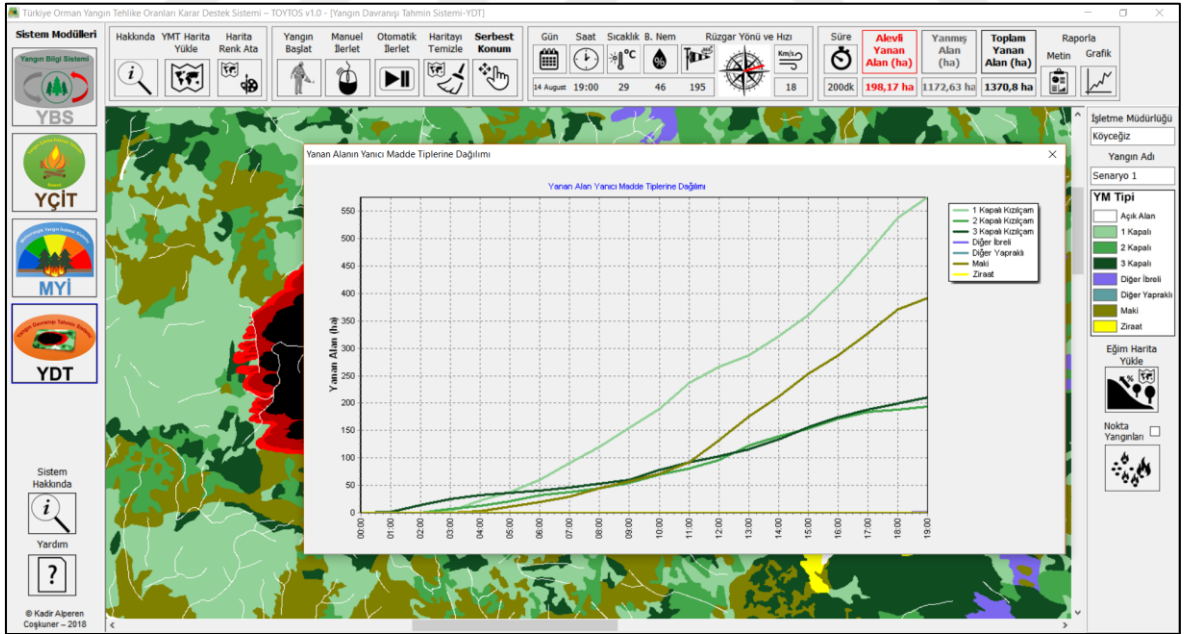
Sistem arayüzü açıldığında, öncelikle otomatik olarak ilgili alana ilişkin meteorolojik verileri almaktadır. Benzetimi başlatmak için önceden sınıflandırılmış alana ilişkin yanıcı madde haritası, sistem arayüzünün üst kısmında bulunan “YMT Haritası Yükle” butonu yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

Veri girişi tamamlandıktan sonra benzetimi başlatmak için, yangın başlatılacak alan, yangın başlat butonu ve bilgisayar faresi yardımıyla işaretlenmelidir. Benzetim, bu işlem

sonra otomatik veya manuel olarak sistem arayüzündeki ilgili butonlar kullanılarak gerçekleştirilebilir. Farenin her tıklaması veya otomatik benzetimde yangının ilerlediği her an için zaman aralığı 10 dakikadır. Benzetim başlatıldıktan sonra, benzetim anına ilişkin meteorolojik veriler, sistem arayüzünün “Meteorolojik Veriler” bölümünden takip edilebilmektedir. Ayrıca rüzgârgülü yardımıyla anlık rüzgâr esiş yönü izlenebilmektedir (Şekil 33).

Sistem arayüzünde bulunan yangın bilgisi menüsü yardımıyla, yangının ilgili zaman için alansal durum bilgileri yer almaktadır. Buradan yangın benzetiminde, anlık alevli yanan, yanmış ve toplam yanan alan hektar olarak hesaplatılmaktadır. Yangın, tanımlanan alanın tümünü kapladığında veya kullanıcı tarafından durdurulduğunda benzetim raporu arayüz yardımıyla kaydedilebilmektedir. Bu işlem ile benzetimin her 10 dakikasındaki meteorolojik ve yanan alan verileri, benzetim süresine ilişkin ortalama ve toplam değerler raporlanabilmektedir. Yeni bir benzetim başlatmak için ise arayüzde yer alan ilgili “benzetimi bitir” butonu kullanılarak, sistem yeni benzetime hazır hale getirilebilmektedir.

Benzetim tamamlandıktan sonra, benzetime ilişkin raporlar; grafik ve tablo olarak elde edilebilmektedir (Şekil 34).



Şekil 34. Yanan alanın, yanıcı madde tiplerine göre zamansal dağılımı

3.2. TOYTOS'un Köyceğiz ve Gazipaşa OİM'nde Uygulanması

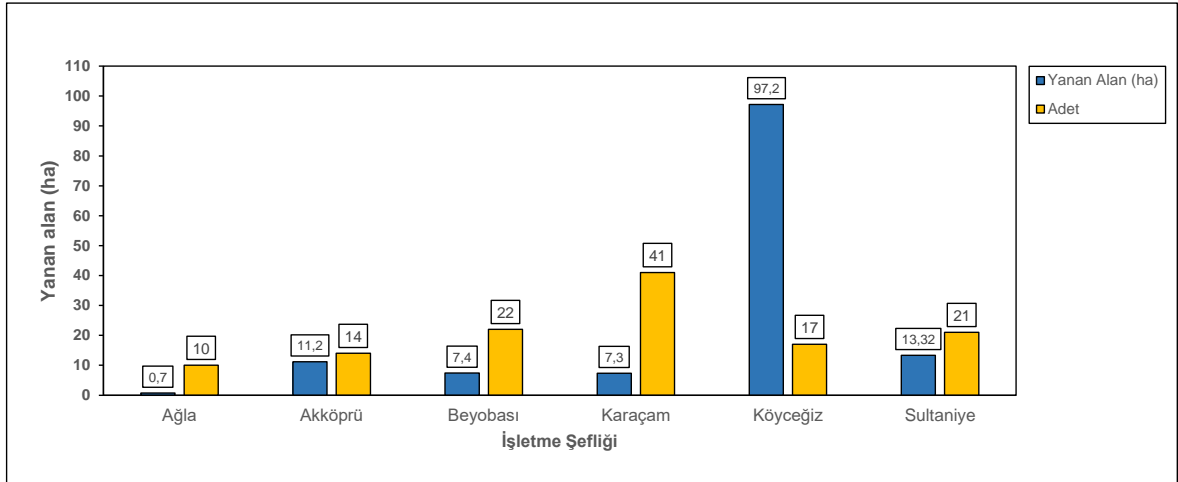
Tasarım, modelleme ve yazılım aşamaları tamamlanan TOYTOS KDS, pilot işletme müdürlükleri olarak seçilen Köyceğiz ve Gazipaşa Orman İşletme Müdürlükleri'nde uygulanmıştır.

3.2.1. Köyceğiz ve Gazipaşa OİM Yangın Bilgi Sistemi Sonuçları

TOYTOS KDS, Köyceğiz ve Gazipaşa OİM için çalıştırılmış ve sistemin ilk alt sistemi olan YBS sistemine ilişkin sonuçlar pilot orman işletme müdürlüklerine göre sırasıyla aşağıda verilmiştir.

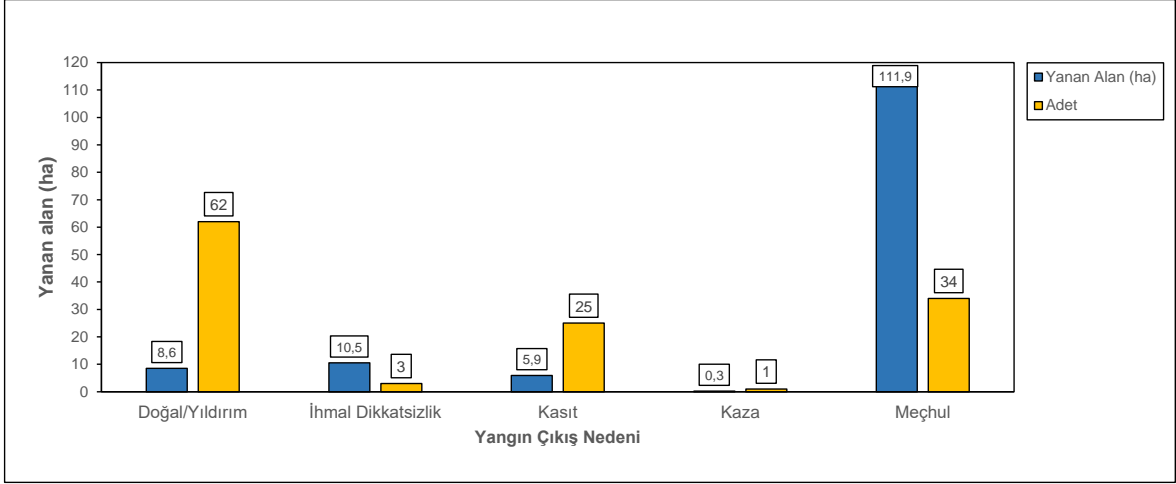
YBS alt sistemi ile yapılan analiz sonucunda, Köyceğiz OİM sınırlarında son 5 yılda (2013-2018) 125 adet yangın gerçekleşmiş olup, toplamda 137,1 hektar orman alanı zarar görmüştür.

Yangınların işletme şefliklerine göre dağılımı incelendiğinde, gerçekleşen yangınların alansal olarak %0,5'i Ağla, %8,2'si Akköprü, %5,4'ü Beyobası, %5,3'ü Karaçam, %70,9'u Köyceğiz ve %9,7'si Sultaniye Orman İşletme Şefliklerinde gerçekleşmiştir. Beş yıllık verilere göre Köyceğiz OİŞ'nin yangınlardan alansal olarak en fazla etkilenen şeflik olduğu görülebilmektedir (Şekil 35).



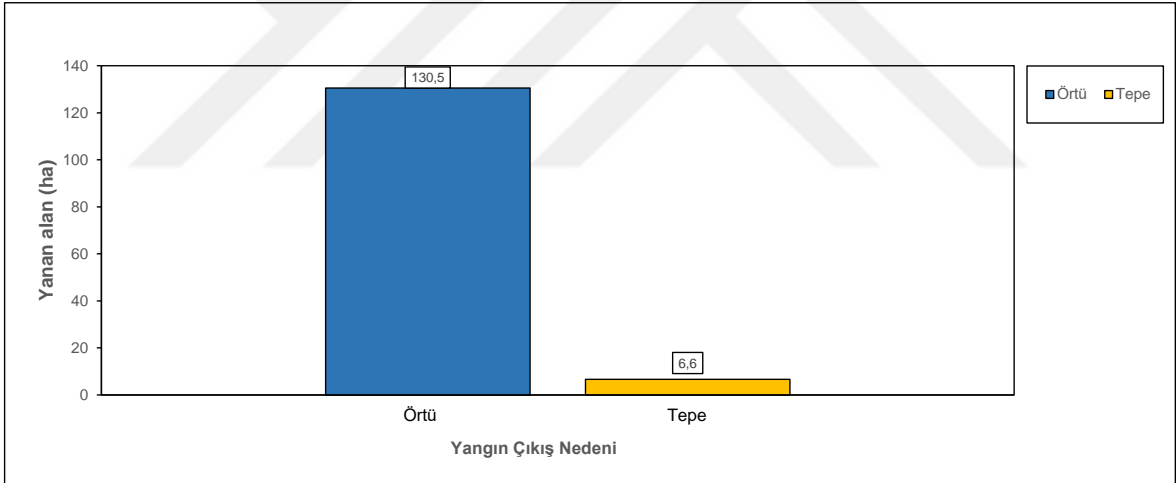
Şekil 35. Köyceğiz OİM 2013-2018 yılları arasında gerçekleşen yangınların işletme şefliklerine dağılımı

Yangınların çıkış nedenlerine bakıldığında, gerçekleşen yangınların alansal olarak %6,2'si Doğal/Yıldırım, %7,7'si İhmal ve Dikkatsizlik, %4,3'ü Kasıt, %0,2'si kaza ve %81,6'sının ise de meçhul sebeplerden meydana geldiği görülmüştür (Şekil 35).



Şekil 36. Köyceğiz OİM 2013-2018 yılları arasında gerçekleşen yangınların çıkış nedenlerine göre dağılımı

Yangınlar türlerine bağlı olarak incelendiğinde, gerçekleşen yangınların alansal olarak %95,2'si örtü, %4,8'i ise tepe yangını olarak gerçekleşmiştir (Şekil 37).

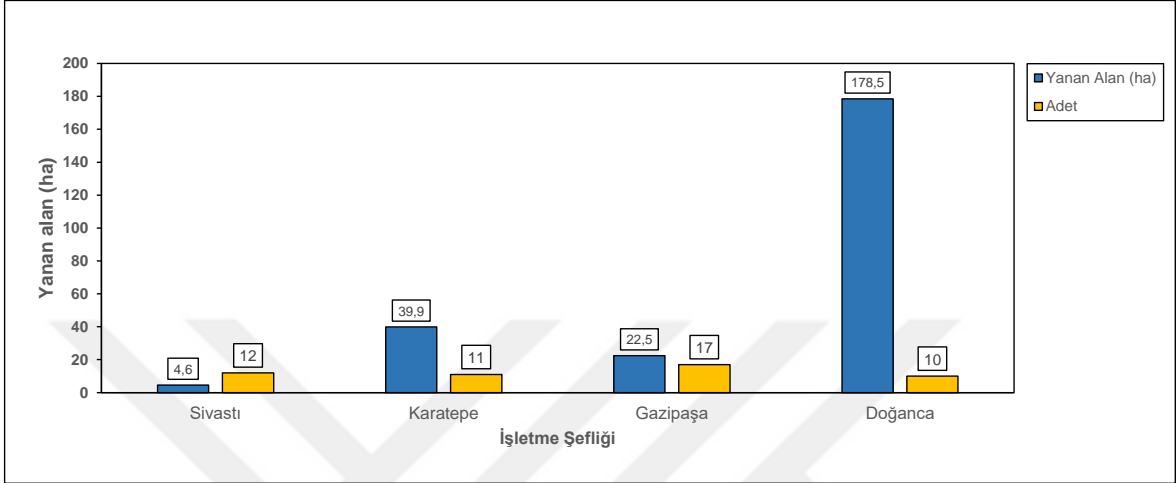


Şekil 37. Köyceğiz OİM 2013-2018 yılları arasında gerçekleşen yangınların yangın türüne göre dağılımı

Yangın sayılarında fazla bir artış meydana gelmemesine rağmen 2015 yılında alansal olarak meydana gelen artış göze çarpmaktadır. 2015 yılında gerçekleşen bir adet yangın 69 hektarlık orman alanını etkilemiştir. Merkez Köyceğiz İşletme Şefliğinde 19 Ağustos 2015 tarihinde çıkan ve sebebi bilinmeyen yangın, soğutma çalışmaları dâhil 5 gün 2 saat sürmüştür ve toplam 5 adet bölme zarar görmüştür.

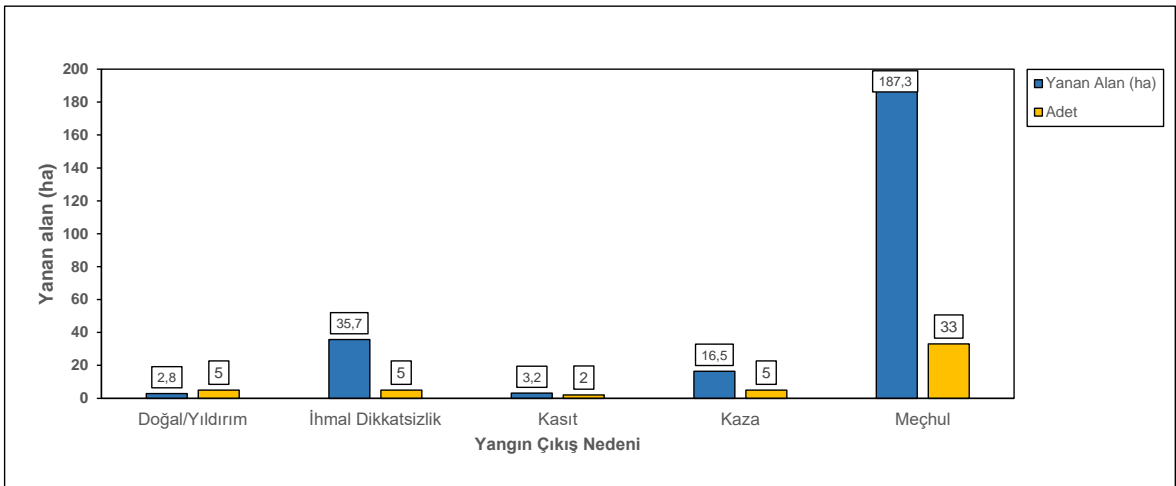
YBS alt sistemi ile yapılan analiz sonucunda, Gazipaşa OİM sınırlarında son 5 yılda 50 adet yangın gerçekleşmiş olup, toplamda 245,5 hektar orman alanı zarar görmüştür.

Yangınların işletme şefliklerine göre dağılımı incelendiğinde, gerçekleşen yangınların alansal olarak %1,9'u Sivastı, %16,3'ü Karatepe, %9,1'i Gazipaşa ve %72,7'si ise Doğanca Orman İşletme Şefliklerinde gerçekleşmiştir. 5 yıllık verilere göre, Doğanca OİŞ'nin yangınlardan alansal olarak en fazla etkilenen şeflik olduğu görülebilmektedir (Şekil 38).



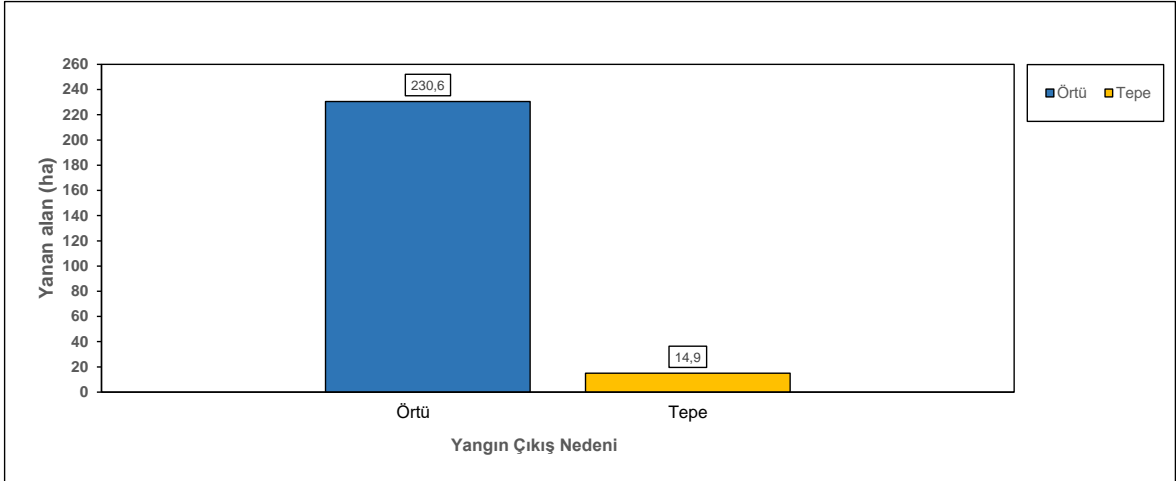
Şekil 38. Gazipaşa OİM 2013-2018 yılları arasında gerçekleşen yangınların işletme şefliklerine dağılımı

Yangınların çıkış nedenlerine bakıldığında, gerçekleşen yangınların alansal olarak %1,1'i Doğal/Yıldırım, %14,5'i İhmal ve Dikkatsizlik, %1,3'ü Kasıt, %6,7'si kaza ve %76,3'nün ise meçhul sebeplerden meydana geldiği görülmüştür (Şekil 39).



Şekil 39. Gazipaşa OİM 2013-2018 yılları arasında gerçekleşen yangınların çıkış nedenlerine göre dağılımı

Yangınlar türlerine bağlı olarak incelendiğinde, gerçekleşen yangınların alansal olarak %93,6'sı örtü, %6,1'i ise tepe yangını olarak gerçekleşmiştir (Şekil 40).



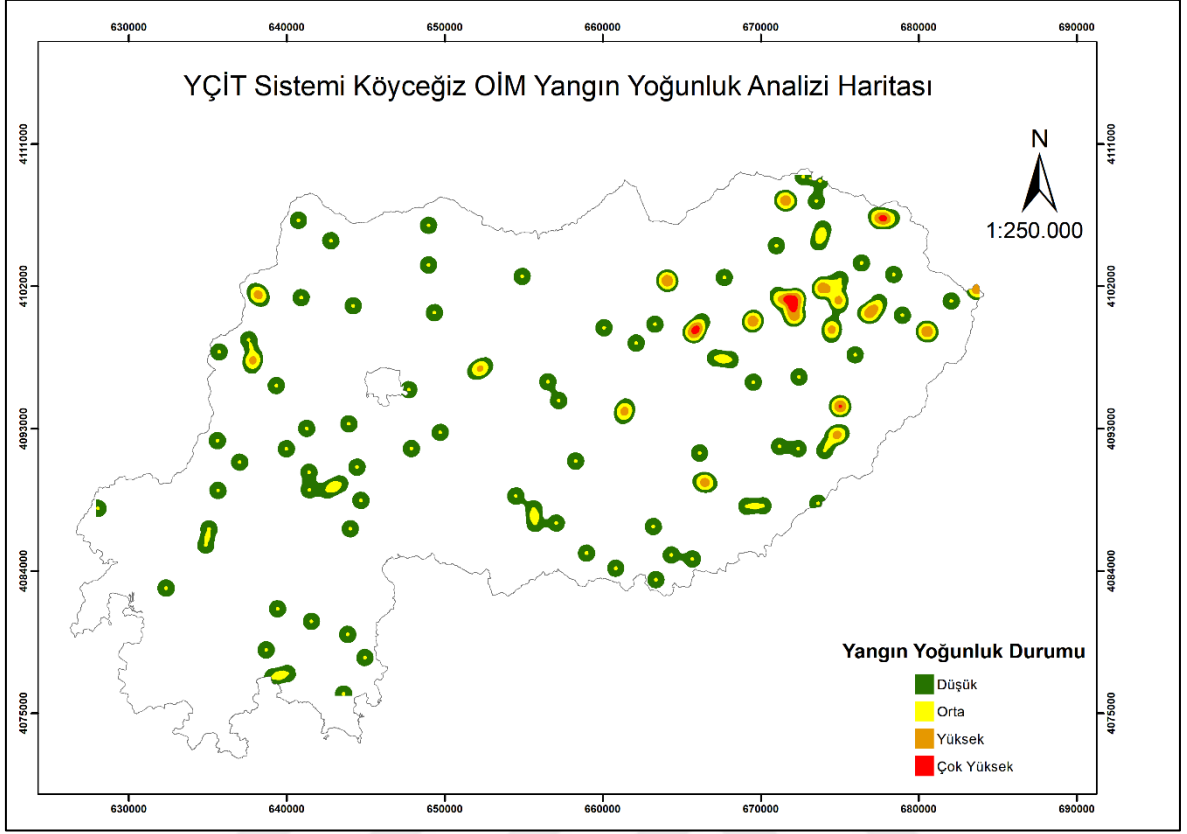
Şekil 40. Gazipaşa OİM 2013-2018 yılları arasında gerçekleşen yangınların yangın türüne göre dağılımı

Yangın sayılarında fazla bir artış meydana gelmemesine rağmen 2015 yılında alansal olarak meydana gelen artış göze çarpmaktadır. 2013 yılında gerçekleşen bir adet yangın 177,3 hektarlık orman alanı etkilemiştir. Doğanca İşletme Şefliğinde 13 Ekim 2013 tarihinde çıkan ve sebebi bilinmeyen yangın, soğutma çalışmaları dâhil 12 gün 13 saat sürmüştür ve toplam 5 adet bölme zarar görmüştür.

3.2.2. Köyceğiz ve Gazipaşa OİM Yangın Çıkma İhtimali Tahmin Sistemi Sonuçları

TOYTOS KDS, Köyceğiz ve Gazipaşa OİM için çalıştırılmış ve sistemin ikinci alt sistemi olan YÇİT sistemine ilişkin sonuçlar pilot OİM'lere göre sırasıyla aşağıda verilmiştir.

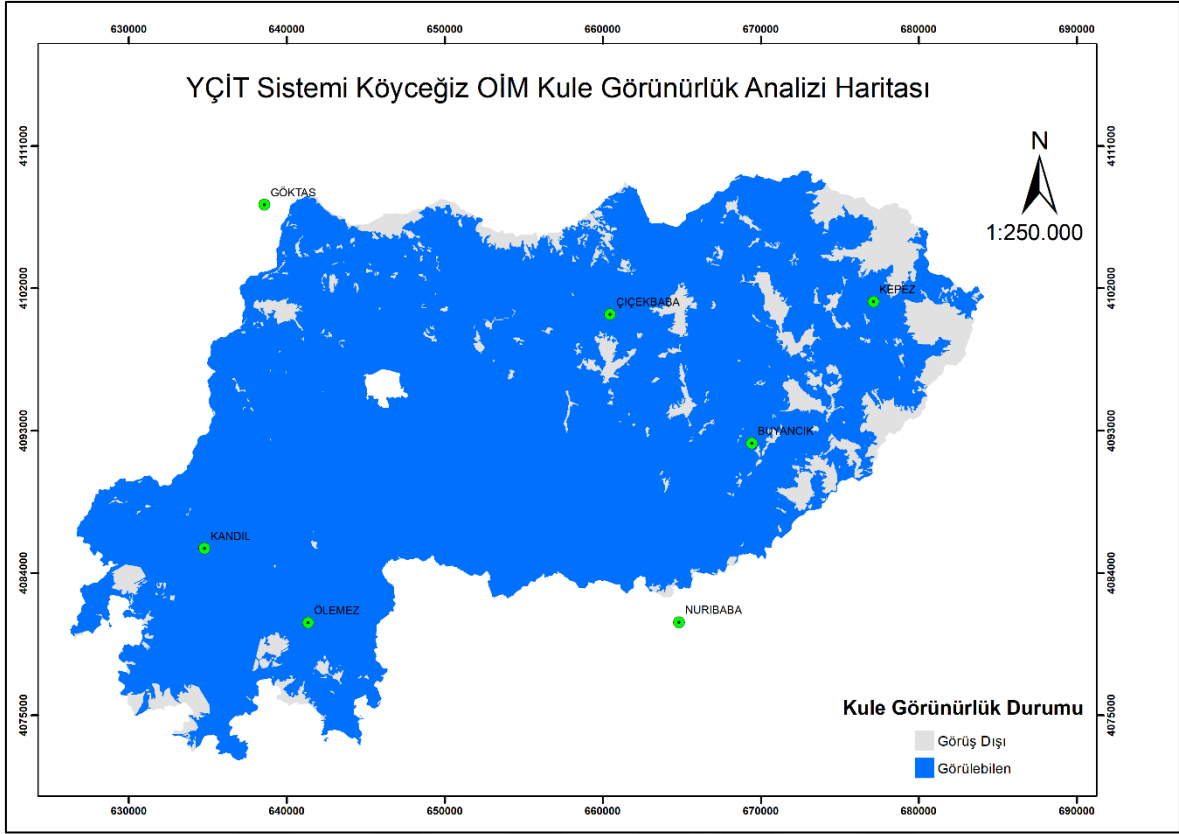
Köyceğiz OİM içerisinde gerçekleşen son 5 yıla ait yangınların mekânsal hassasiyet düzeyine ilişkin Kernel yoğunluk analiz sonuçları Şekil 41'de verilmiştir.



Şekil 41. YÇİT Sistemi, Köyceğiz OİM 2013-2018 yılları arasında gerçekleşen yangınlara göre gerçekleştirilen Kernel yangın yoğunluk analizi haritası

Kernel yoğunluk analizine göre 5 yıllık yangın verileri esas alındığında, Köyceğiz Orman İşletme Müdürlüğü'nde 8.388,3 ha Düşük, 1.829,9 ha Orta, 695,7 ha Yüksek ve 114,3 ha Çok Yüksek yoğunluk sınıfına giren alan tespit edilmiştir.

Köyceğiz OİM sınırlarındaki meşcereleri görebilen yangın gözetleme kulelerine ilişkin görünürlük analizi gerçekleştirilmiştir. Alanda yer alan 7 adet yangın gözetleme kulesine göre gerçekleştirilen görünürlük analizi (*viewshed analysis*) sonuçları Şekil 42'de verilmiştir.

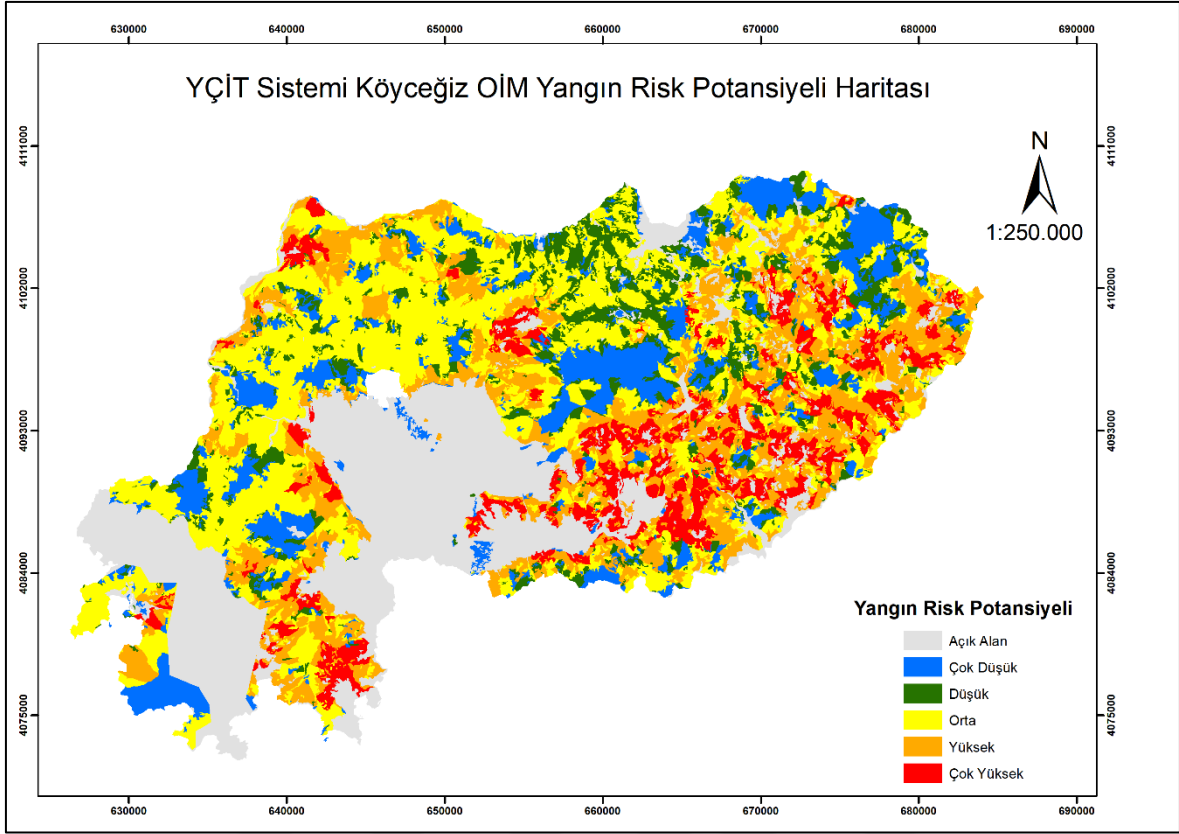


Şekil 42. YÇİT sistemi, Köyceğiz OİM kulelere ilişkin görünürlük analizi haritası

Analiz sonuçlarına göre, Köyceğiz OİM toplam alanının %90,2 kadarı kuleler tarafından görülebilmektedir. Ormanlık alanın ise %88,3'ü kulelerin görüş alanına girmektedir. Ayrıca, bazı alanlar sadece bir kule tarafından izlenebilirken, bazı alanlar 2 veya 3 kule tarafından görülebilmektedir.

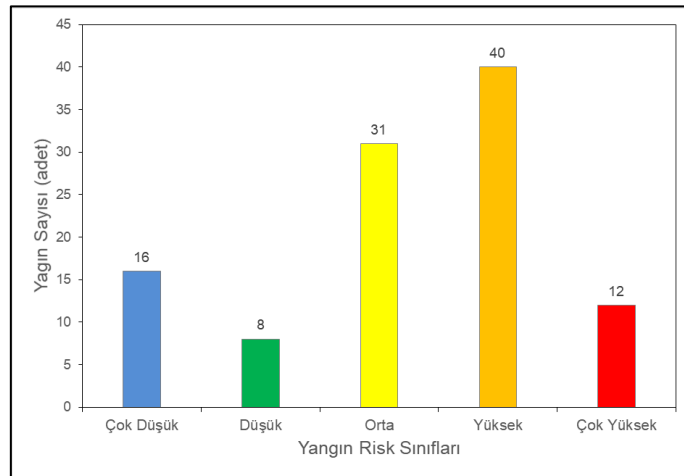
Yangın Risk ve Tehlike potansiyelinin belirlenmesi amacıyla belirlenen faktörlere bağlı olarak Yangın Çıkma İhtimalini Tahmin (YÇİT) Sistemi modellerinden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Köyceğiz OİM için demografik ve çevre faktörlerine bağlı olarak yapılan modelleme sonucunda 5 adet yangın risk potansiyeli sınıfı oluşturulmuştur. Yapılan analiz sonucunda toplam ormanlık alanın %15,4'ünü oluşturan 13.665,8 ha alanın orman yangınları açısından Çok Düşük, %11,4'ünü oluşturan 10.053,5 ha alanın Düşük, %37,0'ını oluşturan 32.738,1 ha alanın Orta, %24,6'sını oluşturan 21.765,3 ha alanın Yüksek ve %11,6'sını oluşturan 10.731,5 ha alanın ise Çok Yüksek risk potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Risk gruplarının haritası Şekil 43'te verilmiştir.



Şekil 43. YÇİT sistemi, Köyceğiz OİM'ye ilişkin Yangın Risk Potansiyeli analiz haritası

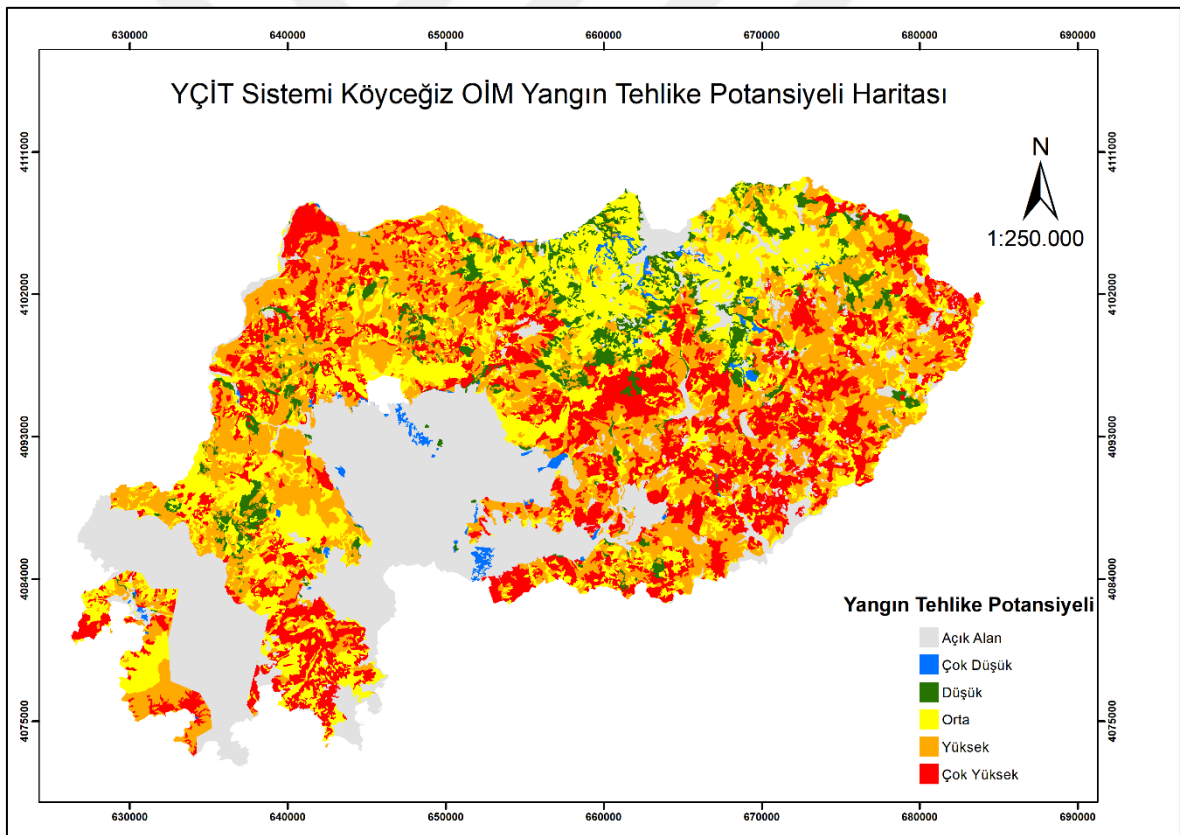
Sistem ayrıca, YBS'den elde ettiği geçmiş yangın verileri ile YÇİT yangın risk potansiyeli analiz sonuçlarını karşılaştırabilmeye imkân vermektedir. Yapılan analizde, ziraat alanları ve diğer açık alanlarda çıkmış olan 13 adet yangın analizden çıkartılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre 5 yılda gerçekleşen 107 adet yangının yangın risk sınıflarına dağılımı Şekil 44'de verilmiştir.



Şekil 44. Köyceğiz OİM, yılda gerçekleşen yangınların, yangın risk sınıflarına dağılımı

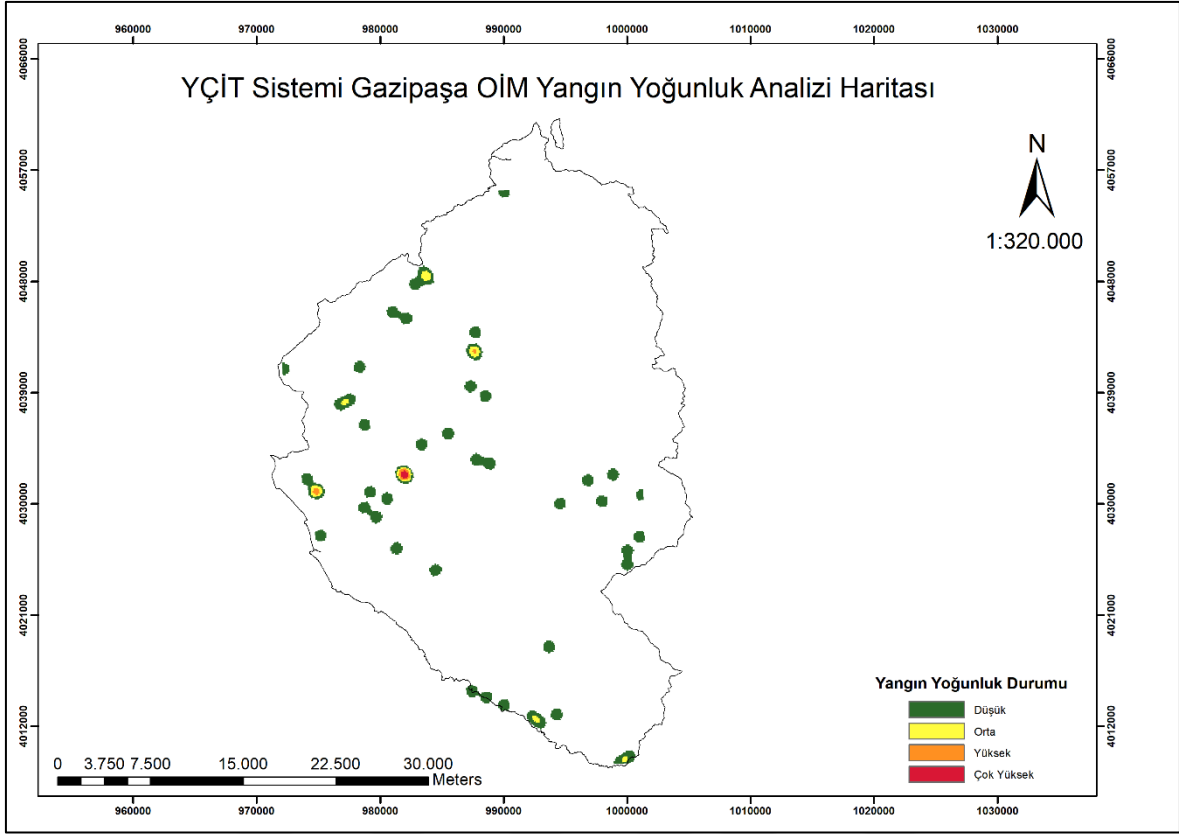
Analiz sonuçlarına göre, yangınların %48,6'sı Yüksek ve Çok Yüksek yangın risk potansiyel sınıfı meşcerelerinde gerçekleşmiştir. Köyceğiz OİM yangın yoğunluk analiz sonuçlarına bakıldığında yangınların mekânsal olarak bakıldığında, yangınların Yüksek ve Çok Yüksek yangın risk potansiyel sınıflarında yoğunlaştığı görülebilmektedir.

Köyceğiz OİM için meşcere, topoğrafik ve bazı alana özgü özelliklere bağlı olarak yapılan modelleme sonucunda 5 adet yangın tehlike potansiyeli sınıfı oluşturulmuştur. Yapılan analiz sonucunda toplam ormanlık alanın %1,2'sini oluşturan 1043,4 ha alanın orman yangınları açısından Çok Düşük, %6,8'ini oluşturan 5.978,9 ha alanın Düşük, %30,9'unu oluşturan 27.326,6 ha alanın Orta, %44,7'sini oluşturan 39.535,7 ha alanın Yüksek ve %16,5'ini oluşturan 14.609,6 ha alanın ise Çok Yüksek tehlike potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Köyceğiz OİM'yi oluşturan meşcerelere ilişkin Yangın Tehlike gruplarının haritası Şekil 45'de verilmiştir.



Şekil 45. YÇİT sistemi, Köyceğiz OİM'ye ilişkin Yangın Tehlike Potansiyeli analiz haritası

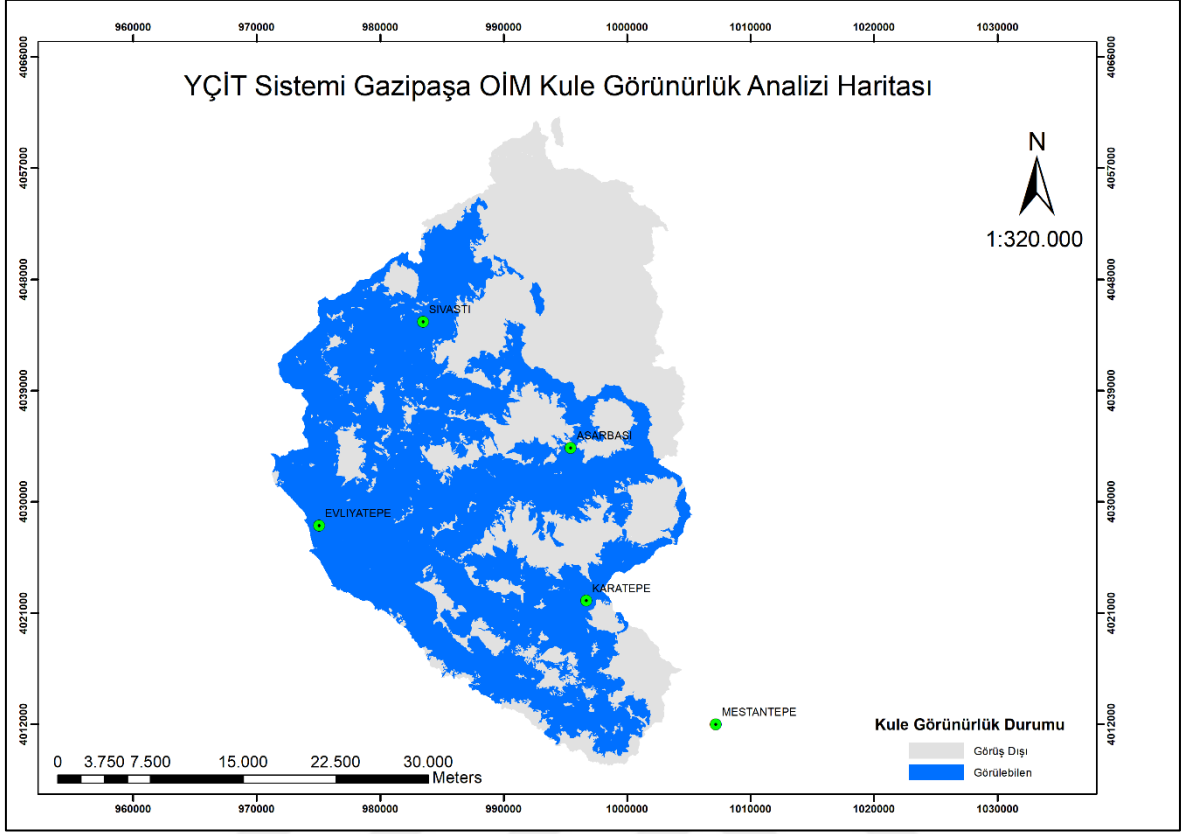
Gazipaşa OİM içerisinde gerçekleşen son 5 yıla ait yangınların mekânsal hassasiyet düzeyine ilişkin Kernel yoğunluk analiz sonuçları Şekil 45'de verilmiştir.



Şekil 46. YÇİT Sistemi, Gazipaşa OİM 2013-2018 yılları arasında gerçekleşen yangınlara göre gerçekleştirilen Kernel yangın yoğunluk analizi haritası

Kernel yoğunluk analizine göre 5 yıllık yangın verileri esas alındığında, Gazipaşa OİM’de 3.230,4 ha Düşük, 253,5 ha Orta, 66,5 ha Yüksek ve 28,2 ha Çok Yüksek yoğunluk sınıfına giren alan tespit edilmiştir.

Gazipaşa OİM sınırlarındaki meşcereleri görebilen yangın gözetleme kulelerine ilişkin görünürlük analizi gerçekleştirilmiştir. Alanda yer alan 5 adet yangın gözetleme kulesine göre gerçekleştirilen görünürlük analizi sonuçları Şekil 47’de verilmiştir.

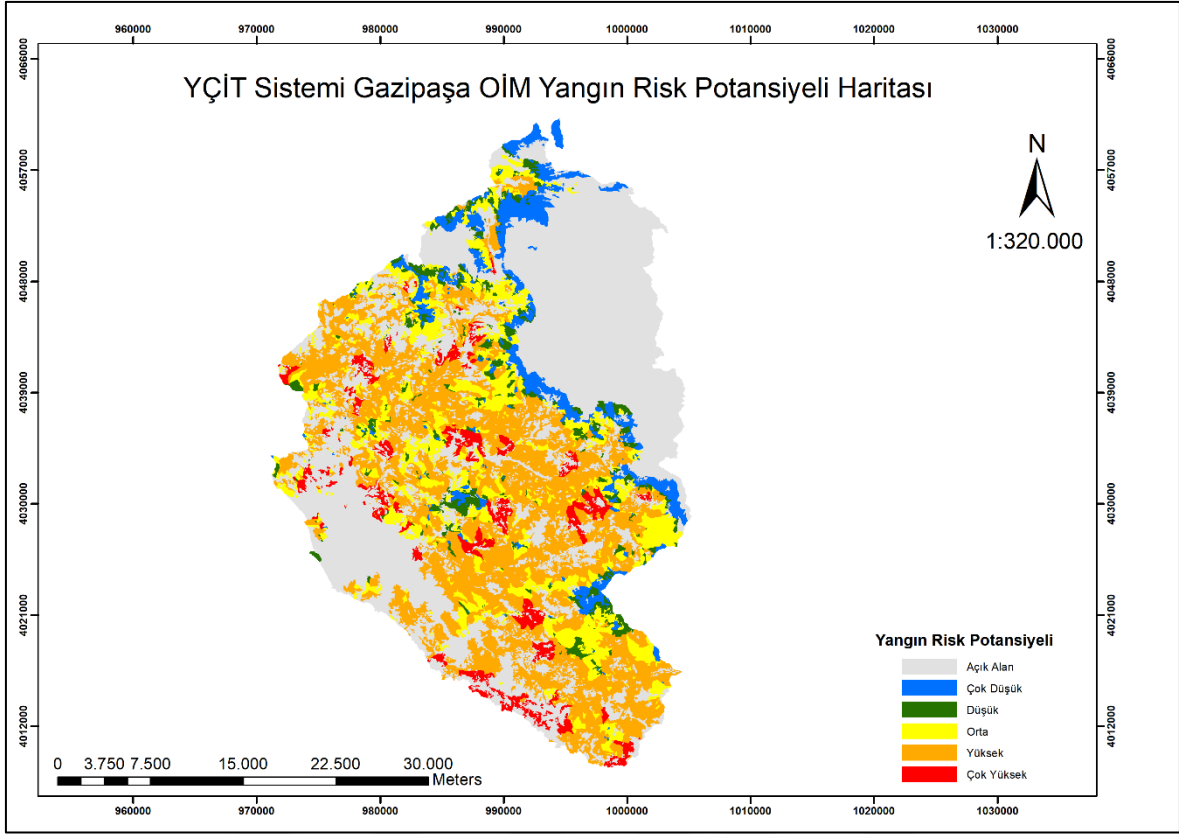


Şekil 47. YÇİT sistemi, Gazipaşa OİM Kulelere ilişkin görünürlük analizi haritası

Analiz sonuçlarına göre, Gazipaşa OİM toplam alanının, toplam alanın %56,6'sı kuleler tarafından görülebilmekte, %43,4'ü ise görülememektedir. Ormanlık alanın %67,7'si kulelerin görüş alanına girmektedir. Ayrıca, bazı alanlar sadece bir kule tarafından izlenebilirken, bazı alanlar 2 veya 3 kule tarafından görülebilmektedir.

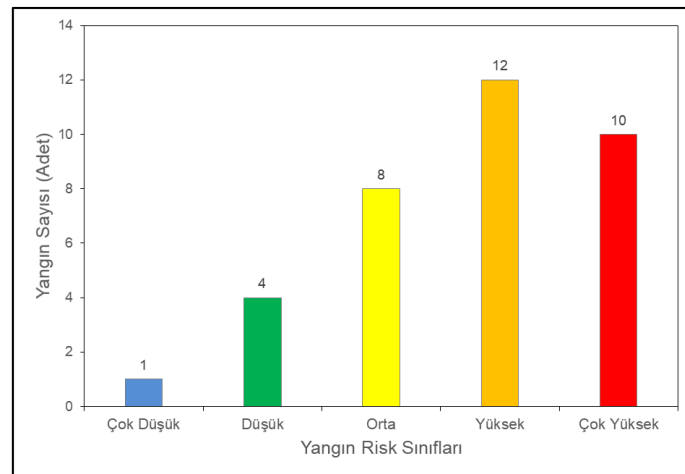
Yangın Risk ve Tehlike potansiyelinin belirlenmesi amacıyla belirlenen faktörlere bağlı olarak Yangın Çıkma İhtimalini Tahmin (YÇİT) Sistemi modellerinden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Gazipaşa OİM için demografik ve çevre faktörlerine bağlı olarak yapılan modelleme sonucunda 5 adet yangın risk potansiyeli sınıfı oluşturulmuştur. Yapılan analiz sonucunda toplam ormanlık alanın %10,2'sini oluşturan 6.259,6 ha alanın orman yangınları açısından Çok Düşük, %6,3'ünü oluşturan 3.860,8 ha alanın Düşük, %22,8'ini oluşturan 14.020,3 ha alanın Orta, %53'ünü oluşturan 32.560,2 ha alanın Yüksek ve %7,7'sini oluşturan 4.711,0 ha alanın ise Çok Yüksek risk potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Risk gruplarının haritası Şekil 48'de verilmiştir.



Şekil 48. YÇİT sistemi, Gazipaşa OİM'ye ilişkin Yangın Risk Potansiyeli analiz haritası

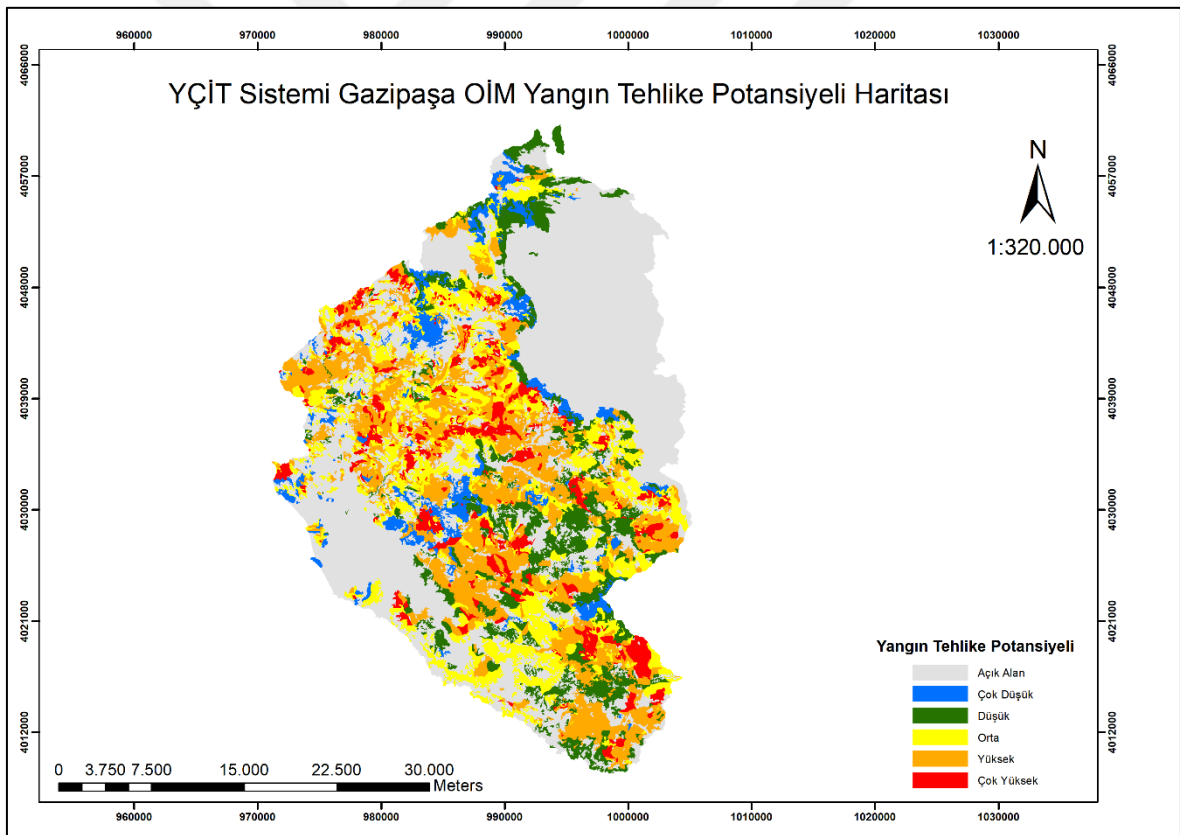
Köyceğiz OİM'de olduğu gibi, yangın risk analizi sonuçları ile geçmiş yangınların mekânsal dağılımı da Gazipaşa OİM için incelenmiştir. Yapılan analizde, ziraat alanları ve diğer açık alanlarda çıkmış olan 13 adet yangın analizden çıkartılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre 5 yılda gerçekleşen 35 adet yangının yangın risk sınıflarına dağılımı Şekil 49'da verilmiştir.



Şekil 49. Gazipaşa OİM, yılda gerçekleşen yangınların, yangın risk sınıflarına dağılımı

Analiz sonuçlarına göre, yangınların %62,9'u Yüksek ve Çok Yüksek yangın risk potansiyel sınıfı meşcerelerinde gerçekleşmiştir. Gazipaşa OİM yangın yoğunluk analiz sonuçlarına bakıldığında yangınların mekânsal olarak bakıldığında, yangınların Yüksek ve Çok Yüksek yangın risk potansiyel sınıflarında yoğunlaştığı görülebilmektedir.

Gazipaşa OİM için meşcere, topoğrafik ve bazı alana özgü özelliklere bağlı olarak yapılan modelleme sonucunda 5 adet yangın tehlike potansiyeli sınıfı oluşturulmuştur. Yapılan analiz sonucunda toplam ormanlık alanın %8,7'sini oluşturan 5347,7 ha alanın orman yangınları açısından Çok Düşük, %19,0'ını oluşturan 11.663,8 ha alanın Düşük, %26,5'ini oluşturan 16.292,6 ha alanın Orta, %34,8'ini oluşturan 21.358,5 ha alanın Yüksek ve %11,0'ini oluşturan 6.748,5 ha alanın ise Çok Yüksek tehlike potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Gazipaşa OİM'yi oluşturan meşcerelere ilişkin Yangın Tehlike gruplarının haritası Şekil 50'de verilmiştir.



Şekil 50. YÇİT sistemi, Gazipaşa OİM'ye ilişkin Yangın Tehlike Potansiyeli analiz haritası

3.2.3. Köyceğiz ve Gazipaşa OİM Meteorolojik Yangın İndeksi Sistemi Sonuçları

TOYTOS KDS, Köyceğiz ve Gazipaşa OİM için çalıştırılmış ve sistemin dördüncü alt sistemi olan MYİ sistemine ilişkin sonuçlar, pilot OİM'lere göre aşağıda sırasıyla verilmiştir.

MYİ analizi, 2018 yılı yangınları ve MYİ sisteminin ilgili OİM'lere ilişkin belirlediği Meteorolojik Yangın İndeksi Değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu analizde, sadece 2018 yılı yangınlarının kullanılma sebebi, MYİ sistemin 2018 yılında tam olarak kesintisiz kullanıma başlamasıdır. Analizde, 1 Mayıs 2018 tarihinde başlayan ve 31 Ekim 2018 tarihinde sonlanan resmi yangın sezonu arasındaki saatlik durum değerlendirilmiştir. MYİ sistemi, yangın sezonu boyunca her ilçe merkezi için 4205 adet yangın risk potansiyeli tahmini gerçekleştirmiştir.

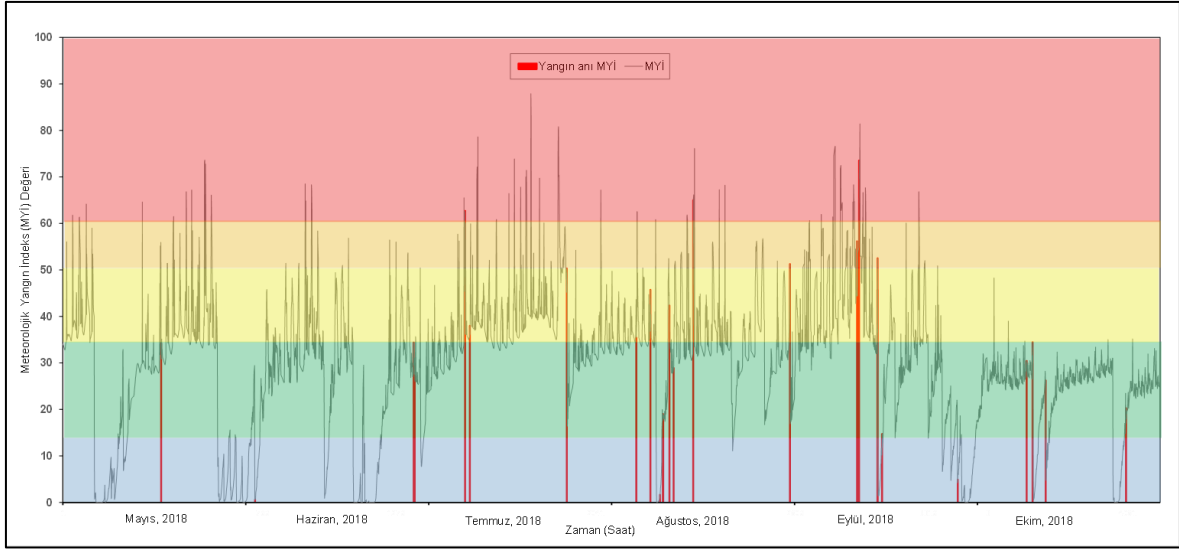
2018 yılı yangın sezonu boyunca, Köyceğiz OİM Sınırlarında toplam 27 adet yangın meydana gelmiştir. Bu yangınların %7,4'ü Mayıs, %7,4'ü Haziran, %11,1'i Temmuz, %33,3'ü Ağustos, %25,9'u Eylül ve %14,8'i Ekim aylarında gerçekleşmiştir. Yangınların çıkış nedenlerine bakılınca %70,4'ü Doğal/Yıldırım, %29,6'sı ise Meçhul nedenlerdendir.

Köyceğiz OİM için sezon boyunca yapılan saatlik 4205 tahminin meteorolojik Yangın Risk Sınıflarına dağılımı, çıkan yangınların yangın risk sınıflarındaki sayıları ve sınıflara ilişkin ortalama meteorolojik yangın risk indeks değerleri Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13. Köyceğiz OİM 2018 yılı yangın sezonuna ilişkin MYİ değerleri

MYİ Yangın Risk Sınıfları	Sınır Değerleri	MYİ Saatlik Tahmin Sayısı		Çıkan Yangınların Sınıflara Dağılımı		Yangın Anına İlişkin Ortalama MYİ değerleri
		Sayı (Adet)	Oran (%)	Sayı (Adet)	Oran (%)	
Çok Yüksek	60 <	95	2,3	3	11,1	62,7
Yüksek	51 - 59	186	4,4	5	18,5	52,7
Orta	35 - 50	1303	31,0	8	29,6	38,4
Düşük	15 - 34	2018	48,0	8	29,6	23,3
Çok Düşük	< 14	603	14,3	3	11,1	2,4
TOPLAM		4205	100	27	100	

MYİ sisteminde, sistem uyarısı “Çok Yüksek” ve “Yüksek” kategoriler için verilmektedir. Tablo incelendiğinde, çok yüksek ve yüksek yangın risk potansiyeli uyarıları toplam oranının, sezon boyunca yapılan saatlik uyarıların %6,7'sine karşılık geldiği görülmektedir. İlgili uyarıların verildiği saatlerde çıkan yangınların, tüm yangınlara oranlanması ile elde edilen değer ise %29,6'dır. Köyceğiz OİM için yangın sezonu boyunca MYİ değerlerinin değişimi ve yangın anlarına ilişkin MYİ grafiği Şekil 51'de verilmiştir.



Şekil 51. Köyceğiz OİM için yangın sezonu boyunca MYİ değerlerinin değişimi ve çıkan yangınlara ilişkin MYİ değerleri

2018 yılı yangın sezonu boyunca Gazipaşa OİM Sınırlarında toplam 7 adet yangın meydana gelmiştir. Bu yangınların %14,3'ü Haziran, %28,6'sı Temmuz, %14,3'ü Ağustos ve %42,9'u Eylül aylarında gerçekleşmiştir. Yangınların çıkış nedenlerine bakılınca %14,3'ü Kasıt, %57,1'i Meçhul, %14,3'ü kaza ve %14,3'ü ise ihmal ve dikkatsizliktir.

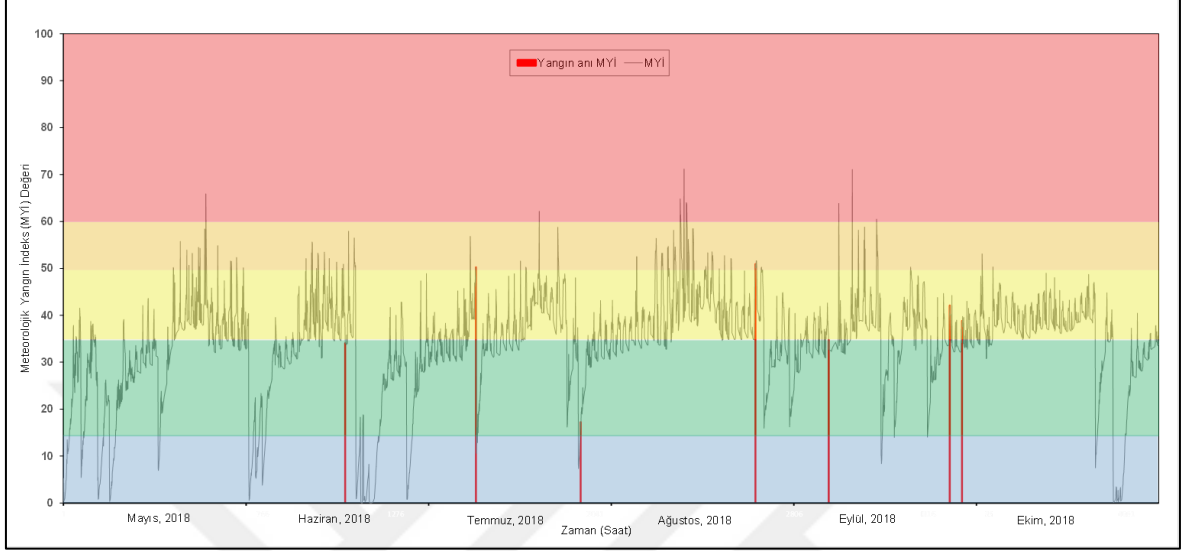
Gazipaşa OİM için sezon boyunca yapılan saatlik 4205 tahminin meteorolojik Yangın Risk Skalasındaki dağılımı, çıkan yangınların yangın risk sınıflarındaki sayıları ve sınıflara ilişkin ortalama meteorolojik yangın risk indeks değerleri Tablo 14'de verilmiştir.

Tablo 14. Gazipaşa OİM 2018 yılı yangın sezonuna ilişkin MYİ değerleri

MYİ Yangın Risk Sınıfları	Sınır Değerleri	MYİ Saatlik Tahmin Sayısı		Çıkan Yangınların Sınıflara Dağılımı		Yangın Anına İlişkin Ortalama MYİ değerleri
		Sayı (Adet)	Oran (%)	Sayı (Adet)	Oran (%)	
Çok Yüksek	60 <	13	0,3	0	0,0	0
Yüksek	51 - 59	126	3,0	2	28,6	50,6
Orta	35 - 50	2209	52,5	4	57,1	37,4
Düşük	15 - 34	1548	36,8	1	14,3	17,0
Çok Düşük	< 14	309	7,3	0	0,0	0
TOPLAM		4205	100	7	100	

Tablo 14 incelendiğinde, Gazipaşa OİM için çok yüksek ve yüksek yangın risk potansiyeli uyarıları toplam oranının, sezon boyunca yapılan saatlik uyarıların %3,3'üne karşılık geldiği görülmektedir. İlgili uyarıların verildiği saatlerde çıkan yangınların, çıkan

tüm yangın sayılarına oranlanması ile elde edilen değer %28,6'dır. Gazipaşa OİM için yangın sezonu boyunca MYİ değerlerinin değişimi ve yangın anlarına ilişkin MYİ grafiği Şekil 52'de verilmiştir.



Şekil 52. Gazipaşa OİM için yangın sezonu boyunca MYİ değerlerinin değişimi ve çıkan yangınlara ilişkin MYİ değerleri

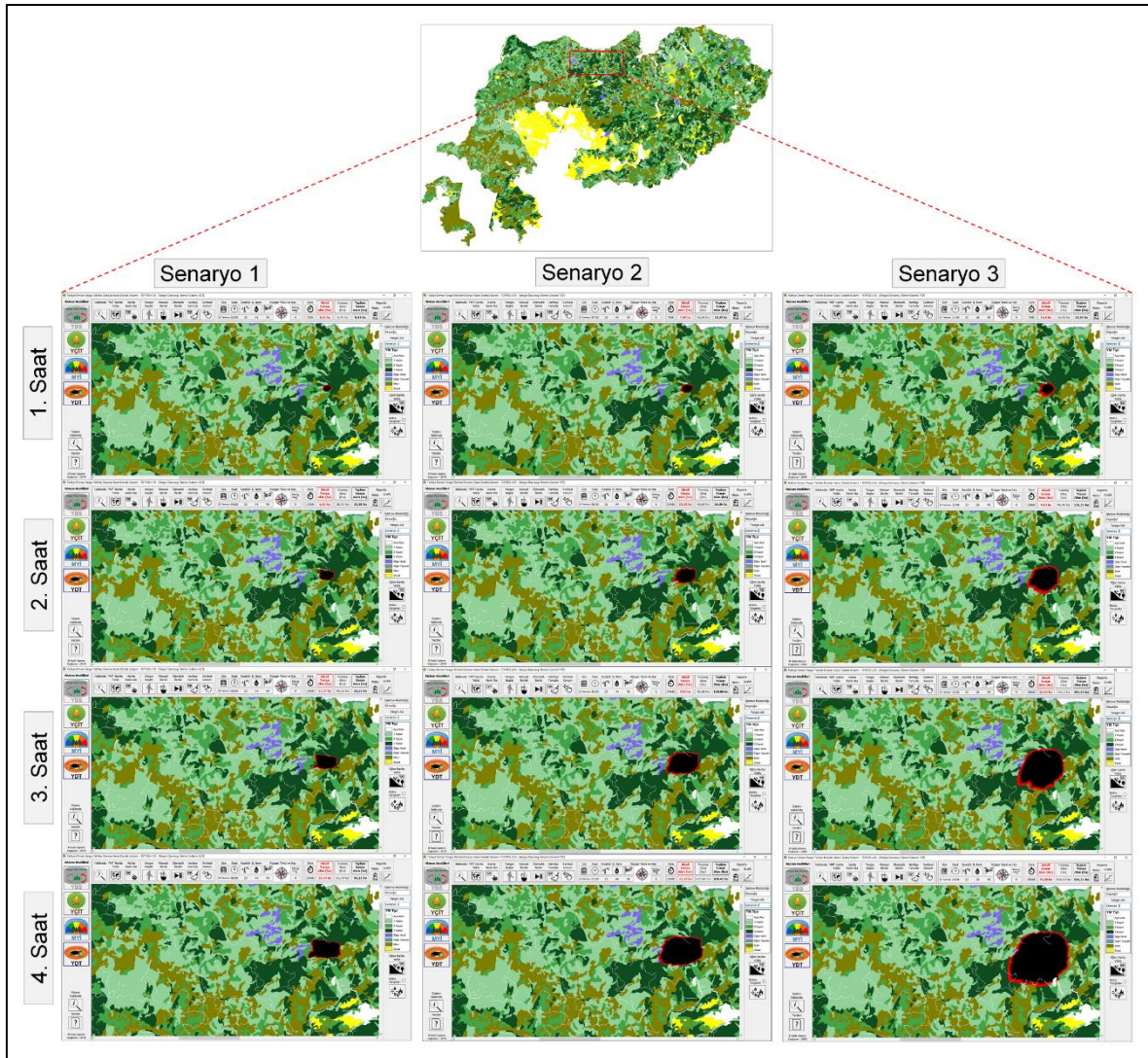
3.2.4. Köyceğiz ve Gazipaşa OİM Yangın Davranışı Tahmin Sistemi Sonuçları

TOYTOS KDS, Köyceğiz ve Gazipaşa OİM için çalıştırılmış ve sistemin dördüncü alt sistemi olan YDT sistemine ilişkin sonuçlar değerlendirilmiştir. YDT sistemi için hipotetik olarak 3 farklı hava halleri senaryosu hazırlanmıştır. Bu senaryolar ile pilot orman işletme müdürlüklerinde aynı alanlarda 4 saat sürecek yangınlar başlatılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Yangın senaryolarında yangının 1. Senaryo için 02:00-06:00 saatleri arası, 2. Senaryo için 06:00-10:00 saatleri arası, 3. Senaryo 10:00-14:00 için saatleri arası başladığı varsayılmıştır. Her iki OİM için 24 Temmuz 2018 gününün ilgili saatlerine ilişkin hava halleri ve yanıcı madde nemi değerleri alınmıştır. Her bir senaryoda yangının başlangıç yeri sabit tutulmuştur.

Köyceğiz OİM için benzetim yangını, Ağla Orman İşletme Şefliği 110 nolu bölgede yer alan 2 kapalı kızılçam meşceresinde başlatılmıştır. Üç farklı hava halleri senaryosuna göre ilerleyen yangınlar için 4 saatlik benzetim süresince yangının seyri, YDT sistemi ekran görüntüleri alınarak, Şekil 53'de verilmiştir. Görselde benzetimin 1., 2., 3., ve 4. zaman dilimlerindeki durumu gösterilmektedir (Şekil 53). Senaryoya ilişkin hava halleri ve yanıcı madde nemine ilişkin değerler, Tablo 15'te verilmiştir.

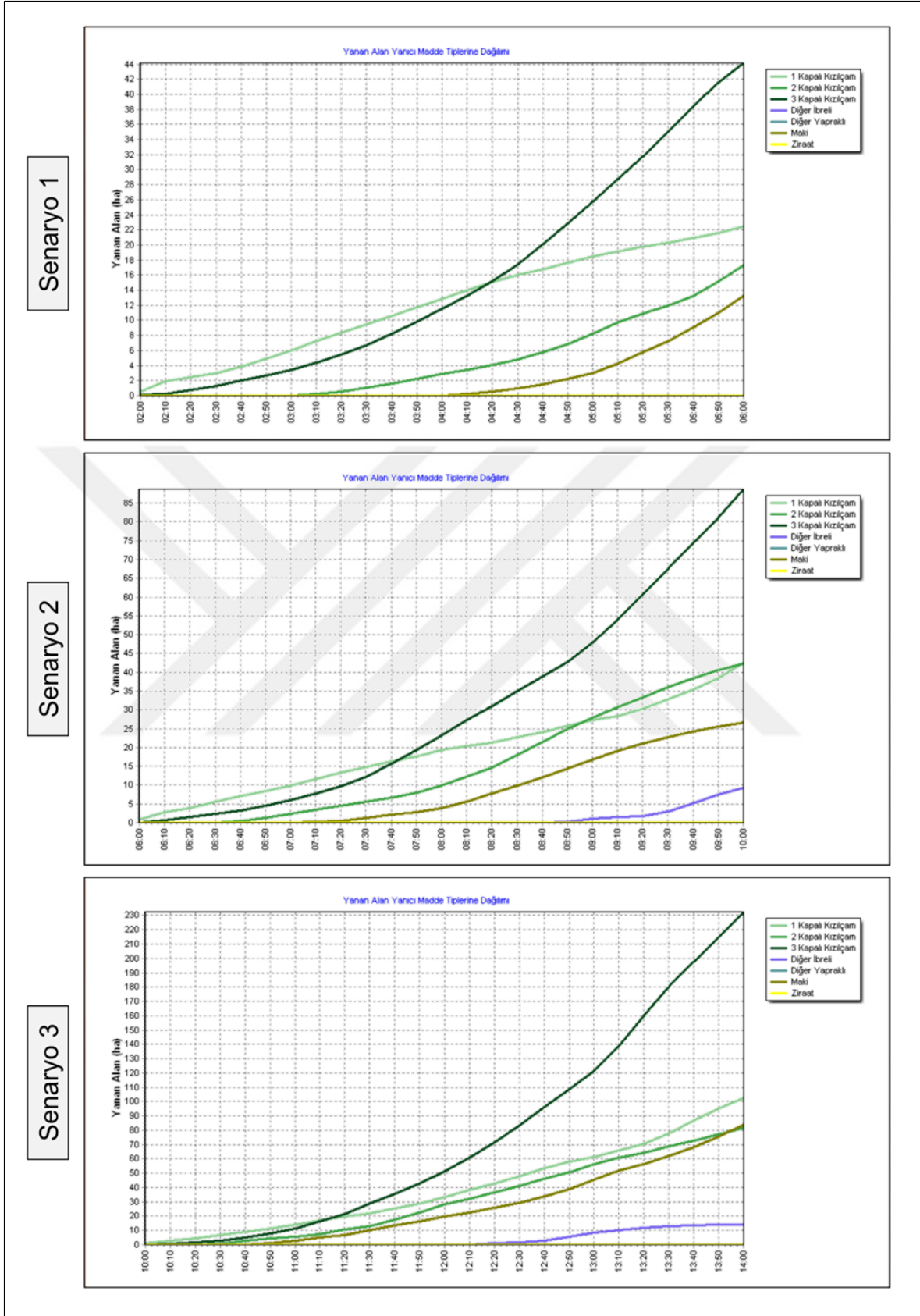
Tablo 15. Köyceğiz OİM, yangın senaryolarına ilişkin hava halleri ve yanıcı madde nemi değerlerine ilişkin ortalama değerler

Tarih	Senaryo No	Saat	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Rüzgâr Yönü (Derece)	Rüzgâr Hızı (km/s)	İnce Yanıcı Madde Nemi (%)
24.7.2018	1	02:00 - 06:00	23	48	90	4	12
	2	06:00 - 10:00	25	44	70	6	10
	3	10:00 - 14:00	33	28	45	9	8



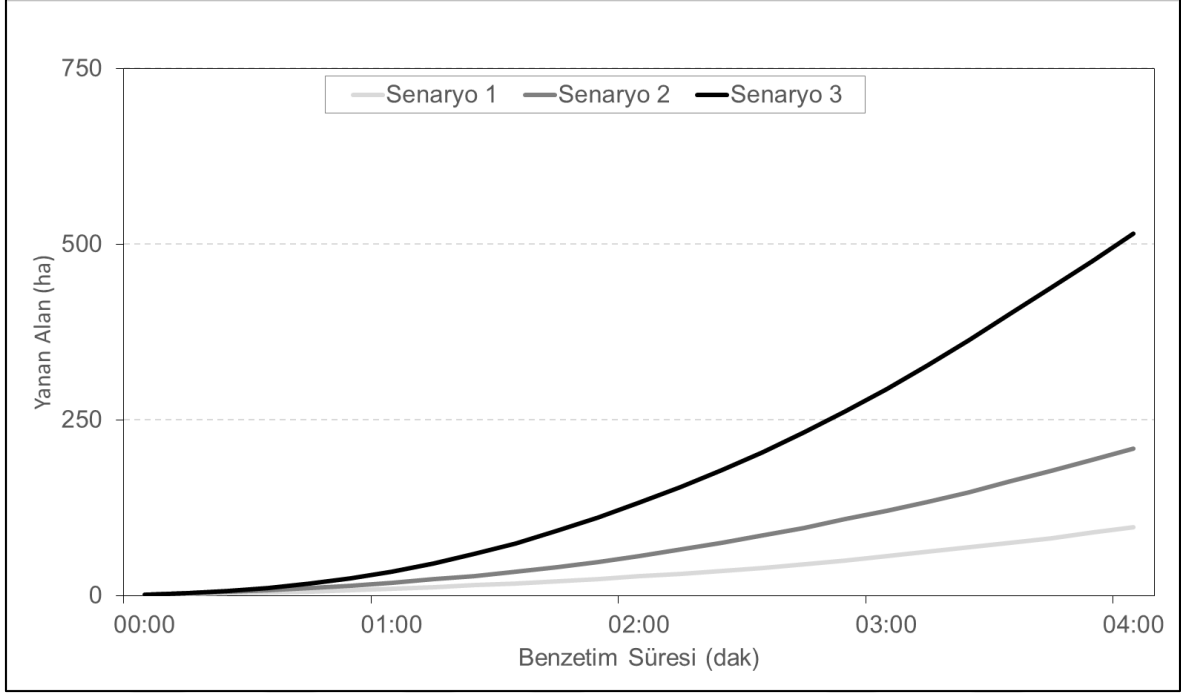
Şekil 53. YDT sistemi, Köyceğiz OİM içerisinde gerçekleştiren yangın senaryolarında yangın hattının zamana bağlı olarak değişimi

Senaryolara ilişkin yanıcı madde tiplerine göre yanan alanın benzetim süresince değişimine ilişkin, YDT Sistem ekran görüntüleri Şekil 54'te verilmiştir.



Şekil 54. YDT sistemi, Köyceğiz OİM içerisinde gerçekleştirilen yangın senaryolarına ilişkin yanan alanın yanıcı madde tiplerine dağılımı

Köyceğiz OİM’de gerçekleştirilen senaryo sonuçlarına göre; 1. Senaryoda ortalama toplam yanan alan 97,2 hektar; 2. Senaryoda toplam yanan alan 209,4 hektar; 3. Senaryoda ise toplam yanan alan 514,7 hektar olarak gerçekleşmiştir. Her bir senaryoda benzetim kesitlerine ilişkin sonuçları içeren grafikler Şekil 55’te verilmiştir.



Şekil 55. YDT sistemi, Köyceğiz OİM içerisinde gerçekleştiren yangın senaryolarına ilişkin toplam yanan alanın (ha) benzetim süresince senaryolara göre değişimi

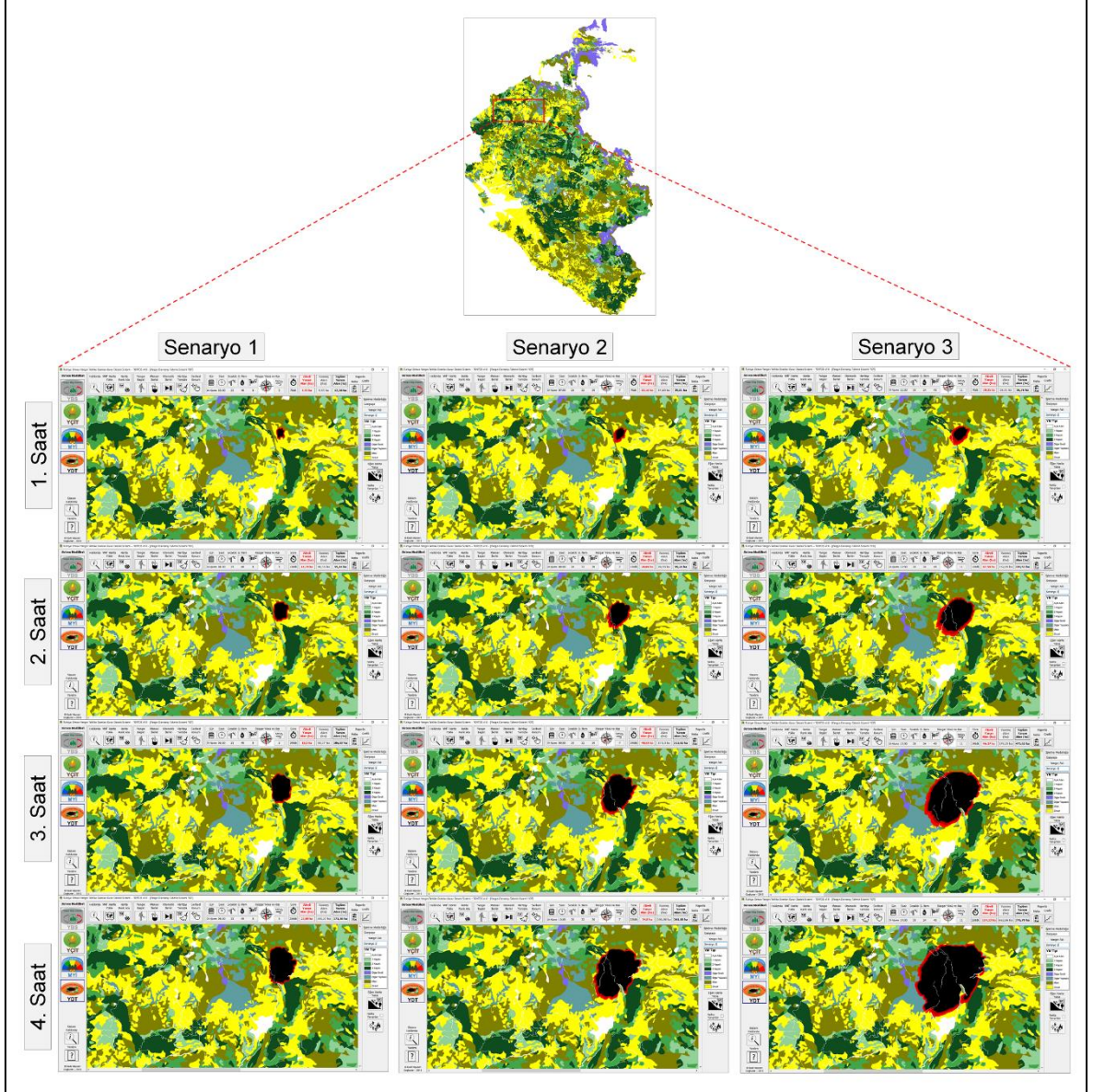
Grafik incelendiğinde toplam yanan alanın miktarının, benzetim kesitlerinde birden üçe doğru eksponansiyel biçimde bir artış gösterdiği görülmektedir. Bu durum, hava halleri ve yanıcı madde neminin yangın yayılma oranı üzerindeki etkisini göstermektedir.

Gazipaşa OİM için benzetim yangın, Doğanca Orman İşletme Şefliği 2 nolu bölmede yer alan 2 kapalı kızılçam meşceresinde başlatılmıştır. Üç farklı hava halleri senaryosuna göre ilerleyen yangınlar için 4 saatlik benzetim süresince yangının seyri Şekil 56’da yer almaktadır. Görselde benzetimin 1., 2., 3., ve 4. zaman dilimlerindeki durumu gösterilmektedir (Şekil 56).

Senaryolara ilişkin hava halleri ve yanıcı madde nemine ilişkin değerler, Tablo 16’da verilmiştir.

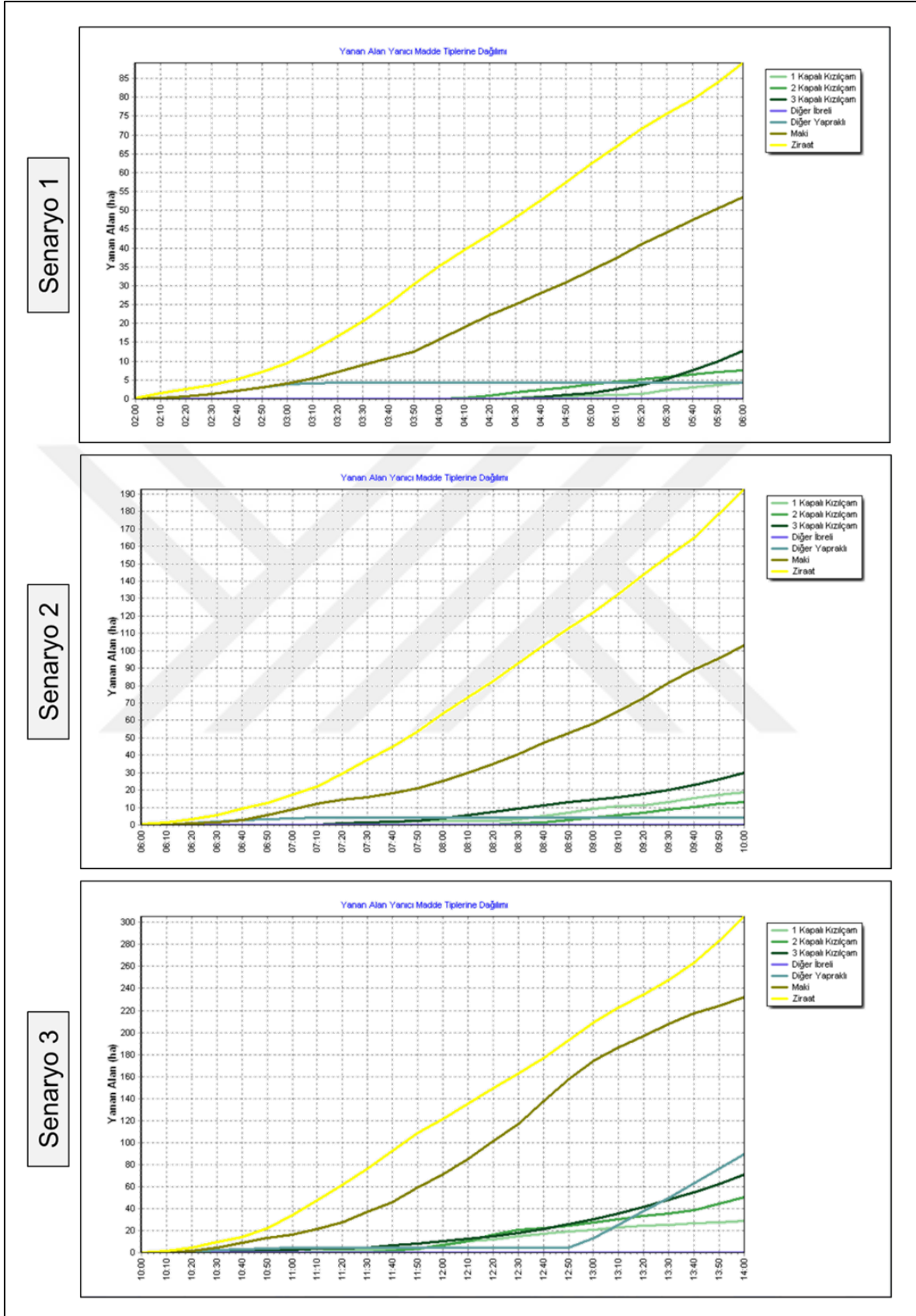
Tablo 16. Gazipaşa OİM, yangın senaryolarına ilişkin hava halleri ve yanıcı madde nemi değerlerine ilişkin ortalama değerler

Tarih	Senaryo No	Saat	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Rüzgâr Yönü (Derece)	Rüzgâr Hızı (km/s)	İnce Yanıcı Madde Nemi (%)
24.7.2018	1	02:00 - 06:00	25	40	0	3	11
	2	06:00 - 10:00	27	32	30	7	9
	3	10:00 - 14:00	38	24	45	11	7



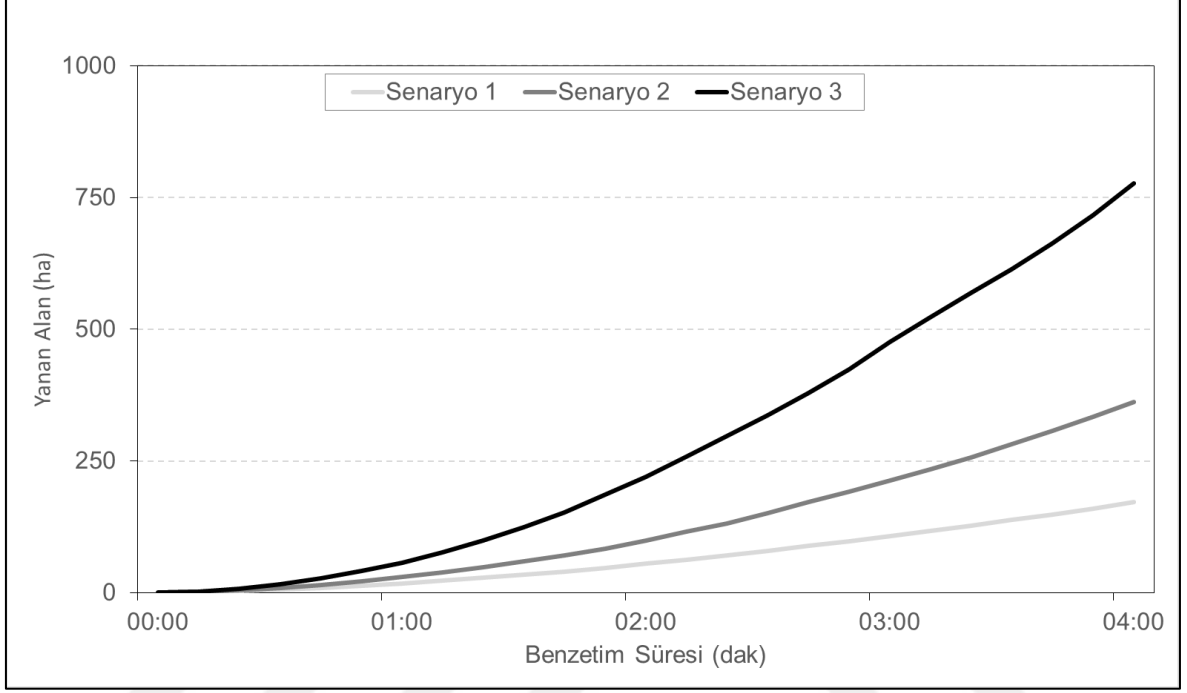
Şekil 56. YDT sistemi, Gazipaşa OİM içerisinde gerçekleştirilen yangın senaryolarına yangın hattının zamana bağlı olarak değişimi

Gazipaşa OİM yangın senaryolarına yanıcı madde tiplerine göre yanan alanın benzetim süresince değişimi Şekil 57’de verilmiştir.



Şekil 57. YDT sistemi, Gazipaşa OİM içerisinde gerçekleştirilen yangın senaryolarına ilişkin yanan alanın yanıcı madde tiplerine dağılımı

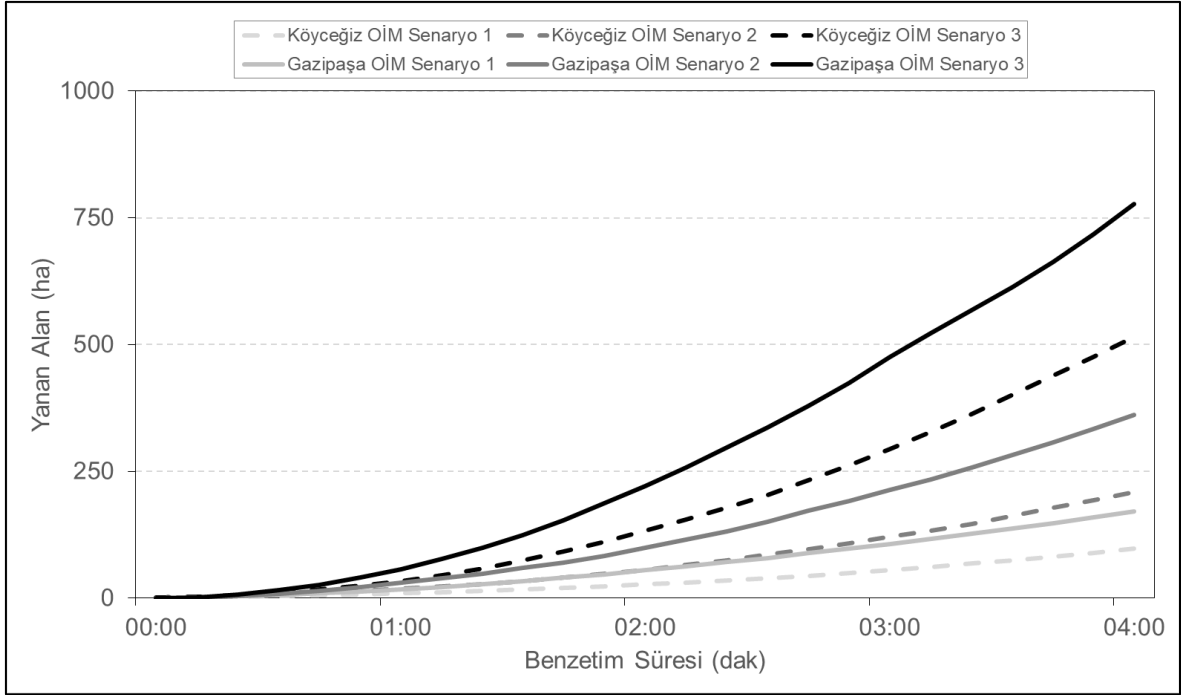
Gazipaşa OİM’de gerçekleştirilen senaryo sonuçlarına göre; 1. Senaryoda toplam yanan alan 171,4 hektar; 2. Senaryoda toplam yanan alan 361,7 hektar; 3. Senaryoda ise toplam yanan alan 776,8 hektar olarak gerçekleşmiştir. Her bir senaryoda benzetim kesitlerindeki sonuçları içeren ilişkin grafikler Şekil 58’de verilmiştir.



Şekil 58. YDT sistemi, Gazipaşa OİM içerisinde gerçekleştiren yangın senaryolarına ilişkin toplam yanan alanın (ha) benzetim süresince senaryolara göre değişimi

Gazipaşa OİM’ye ilişkin benzetim incelendiğinde toplam yanan alanın miktarının Köyceğiz OİM’de olduğu gibi eksponansiyel biçimde bir artış gösterdiği görülmektedir. Benzer hava halleri ve yanıcı madde özelliklerinde senaryolar koşturulduğunda, Köyceğiz ve Gazipaşa OİM’lerde meydana gelen yanan alan miktarlarının farklı olduğu görülmektedir (Şekil 57).

Gazipaşa OİM’de gerçekleştirilen yangınlar, Köyceğiz OİM’ye göre 1. Senaryoda %76,3, 2. Senaryoda %72,7, 3. Senaryoda ise %50,9 daha fazla alanda etkili olmuştur. Bu durum, yangınların her ne kadar aynı meşcere özelliklerinde başlatılsalar da, komşu meşcere özelliklerinin farklılığından kaynaklanmaktadır. Zira yanıcı madde özelliklerinin farklı olması, farklı yangın yayılma oranlarına neden olmuştur. Bu durum özellikle Gazipaşa OİM’de ziraat (anız) alanlarının fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum Şekil 56’da görülebilmektedir. Her iki pilot OİM’de gerçekleştirilen senaryolara ilişkin yanan alan miktarının karşılaştırmalı gösterimleri, Şekil 59’da verilmiştir.



Şekil 59. YDT sistemi, Köyceğiz ve Gazipaşa OİM içerisinde gerçekleştirilen yangın senaryolarına ilişkin toplam yanan alanın (ha) benzetim süresince senaryolara göre değişimi

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Orman yangınları gibi karar vermenin son derece zor ve riskli olduğu organizasyonlarda başarılı olabilmek için güvenilir, hızlı ve kullanılabilir bilgiye ihtiyaç duyulur. Bu bilgilerin yangın yönetici ve mücadele birimlerine sağlanması, yangın risk-tehlike potansiyeli ve yangın davranışı hakkında doğru ve hızlı bilgi verebilen köklü bir sistemin varlığı ile mümkün olabilir. Bu konuda orman yangın tehlike oranları sistemleri dünyanın birçok ülkesinde yangın yönetim planlamaları ve yangınla mücadele çalışmalarında karar vermeye yardımcı sistemler olarak uzun yıllardır kullanılmaktadır.

Orman yangın yönetim program ve mücadele çalışmalarına yardımcı olabilecek bir karar destek sisteminin oluşturulması için ülkemizde bugüne kadar birtakım çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar kendi içlerinde bir önem ve bütünlük arz etmesine rağmen, yangınlarla mücadelede kullanılabilecek bir karar destek sistemi yapısında değildir. Yapılan çalışmaların bir bütün halinde ele alınıp, yangın öncesi, yangınla mücadele ve yangın sonrası planlamalarda kullanılabilecek, çalışır bir karar destek sistemi yazılımı haline getirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışma kapsamında, orman yangınları ile mücadelede bir karar destek sistemi olarak kullanılabilecek, aynı zamanda yangınların mekânsal ve zamansal olarak belirlendiği, detaylı yangın bilgilerin işlendiği Yangın Bilgi Sistemi ile koordineli çalışacak komple bir sistemin oluşturulması hedeflenmiştir. Yapılan tez çalışması ile Türkiye Orman Yangın Tehlike Oranları Karar Destek (TOYTOS) Sistemi'nin kavramsal çerçevesi, sistem tasarımı, içeriği, parametreleri, yöntemleri, hiyerarşisi ve model yapıları oluşturulmuştur. TOYTOS KDS dört alt sistemden oluşmakta ve alt sistemler bireysel ve toplu olarak çalışabilmektedir.

TOYTOS KDS, orman yangınları ile mücadele ve yangın yönetim planlamalarında yangın öncesi, yangınla mücadele ve yangın sonrası çıktılar üretebilecek komple bir sistemdir. Bu sebeple KDS'nin kullandığı girdiler ile sistem yapı ve işleyişi, dünya genelinde kullanılan Kanada (Stocks vd., 1989; Alexander vd., 1996) ve ABD YTO (Deeming vd., 1972; Deeming vd., 1978; Burgan, 1988) sistemleri ile karşılaştırılabilir. Ancak ilgili sistemlerin ürettiği oransal veya sayısal çıktılar, orman yangınları ile mücadele ve yangın yönetim planlamalarındaki başarısının TOYTOS KDS ile karşılaştırması bu çalışmada yapılmamıştır. Zira böyle bir karşılaştırmanın yapılabilmesi için sistemlerin aynı yanıcı madde, hava halleri ve topoğrafik koşullarda çalıştırılması ve elde edilen sonuçların sayısal

olarak karşılaştırılması gerekmektedir. Bu tarz bir karşılaştırma, tezin amaçları dâhilinde değildir.

ABD YTO sistemi girdi olarak sıcaklık, bağıl nem gibi ölçülmesi ve elde edilmesi kolay hava halleri verilerinin yanında, bulutluluk ve yağış süresi gibi ölçülmesi ve elde edilmesi zor bazı verilere ihtiyaç duymaktadır. Bu durum sistemin basit bir şekilde farklı alanlarda kullanılmasını engellemektedir (Willis vd., 2001). Sistemin kullandığı girdiler ile ürettiği indeks çıktıları ile sayısal yangın davranış sonuçlarını, geliştirilen fiziksel tabanlı modeller (Rothermel, 1972) ile gerçekleştirmektedir. Modeller ise laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen küçük ölçekli deneme yangınları sonucunda geliştirilmiştir (Deeming vd., 1978). Modellerin dezavantajı ise son derece karmaşık bir yapıda olması ve ortaya çıkabilecek yeni durumlara karşı modellerin uyarlanabilmesinin zor olmasıdır. Sistem çıktı olarak, yayılma oranı, enerji salınımı, yanma, tutuşmaya insan etkisi, tutuşmaya yıldırım etkisi ve yangın şiddeti olmak üzere 6 adet indeks çıktısı ile verebilmektedir.

Sistemin kullandığı girdiler ve ürettiği çıktıları TOYTOS ile kıyaslandığında, ABD YTO sisteminin ölçülmesi ve elde edilmesi birtakım güç verilere ihtiyaç duyduğu görülmektedir. Sistemin elde ettiği sonuçlar değerlendirildiğinde, TOYTOS KDS'nin tutuşmaya yıldırım etkisi hariç, diğer çıktıları üretebildiği görülmektedir. Ancak, yapılacak çalışmalarla sistemlerin benzer hava halleri, yanıcı madde ve topoğrafik özelliklere sahip alanlarda çalıştırılması ve elde edilen sonuçların sayısal olarak karşılaştırılmaları yapılarak, indeks değerlerinin yangınla mücadele ve yönetim planlamalarındaki başarılarının değerlendirilmesi gerekmektedir.

Kanada YTO sistemi, dünyanın birçok ülkesinde gerek doğrudan gerekse bulunduğu ülkenin yanıcı madde, hava halleri ve topoğrafik koşullarına uyarlanarak kullanılmaktadır (Alexander vd., 1996; Viegas vd., 1999; GOFC-GOLD, 2003; Dimitrakopoulos vd., 2011). TOYTOS KDS'nin sistem yapısı ve bazı model yapılarının oluşturulmasında Kanada YTO sisteminden yararlanılmıştır. Bu sebeple sistemlerin kullandığı girdiler benzer olmakla birlikte TOYTOS KDS, Kanada YTO sisteminin sağladığı hemen hemen tüm çıktıları üretebilmektedir. Bu bağlamda ABD YTO sisteminden farklı olarak, Kanada YTO sisteminin, özellikle de Meteorolojik Yangın İndeksi sisteminin belirli alanlar için ürettiği çıktıları ile TOYTOS Meteorolojik Yangın İndeksi (MYİ) Sisteminin belirli alanlar için ürettiği çıktıları karşılaştırılabilir.

TOYTOS MYİ sisteminin, Köyceğiz ve Gazipaşa Orman İşletme Müdürlüklerinde uygulanması ile elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, sistemin görece başarılı olduğu

görülmektedir. Burada MYİ sisteminin Köyceğiz ve Gazipaşa ilçeleri için yapılan tek bir meteorolojik veri ile çalıştığı ve ilgili OİM'lerin sınırları içerisindeki tüm farklı alanlar için saatlik olarak yangın risk ve tehlike potansiyelini derecelendirdiği unutulmamalıdır. Alanlara ilişkin meteorolojik verilerin konumsal çözünürlükleri artırıldığında, sistemin başarısının artma potansiyeli bulunmaktadır. Zira MYİ sistemi ölü örtü yanıcı madde nemi değerlerine bağlı olarak çalışmakta ve yerel meteorolojik faktörler, yanıcı madde nemini önemli oranda etkilemektedir (Sağlam, 2002).

Pilot OİM'lerde gerçekleşen yıldırım yangınları ile ilgili olarak, cephe yağışları söz konusudur. Çıkan yangın, yağışın olmadığı alanlara doğru gelişebilmektedir. MYİ sistemi, tüm alan için genel değer ürettiğinden, yüksek ve çok yüksek yangın risk potansiyeli cephe yağışlarının olduğu alanlar için geçerli olmamaktadır. Bu durum düşünüldüğünde, sistemin tahmin gücünün tatmin edici olduğu söylenebilir (Şekil 51).

Kanada MYİ sisteminin farklı bölgelerde çıkan yangınlarla test edilmesi ve indeks sınıf belirlemelerine ilişkin yapılmış çalışmalar mevcuttur (Dimitrakopoulos vd., 2011; Sturm vd., 2012; Karali vd., 2013; de Jong vd., 2016). Kanada MYİ sistemi, günlük yangın risk derecelendirmesi yapan bir sistemdir (Turner ve Lawson, 1978). Yapılan çalışmalarda çoğunlukla uzun dönem (5-10 yıl) yangın verileri ile günlük veya aylık MYİ değerleri ile ortalama yangın sayıları analiz edilerek veriler arasında ilişki aranmıştır. Yapılan analizlerde uzun dönem MYİ değerleri ile yangın sayılarının ortalama değerlerinde %59'lara varan korelasyon elde edilmiştir. Yapılan çalışmalarda elde edilen veriler ile regresyon analizleri gerçekleştirilerek, yangın risk potansiyeli sınıf aralık değerleri, analiz yapılan coğrafyaya göre güncellenmiştir (Dimitrakopoulos vd., 2011; Sturm vd., 2012). Bu çalışmada geliştirilen MYİ sisteminde ise bahsedilen çalışmalara benzer bir analiz, yangın veri sayısındaki yetersizlik nedeniyle gerçekleştirilememiştir. Mevcut sistemde, Dimitrakopoulos vd., (2011) tarafından Yunanistan'ın bir bölgesi için belirlenen yangın risk potansiyel sınıf aralık değerleri kullanılmıştır. Sistemin takip eden yıllarda yeni veri temini ve yangına hassas farklı alanlarda test edilmesiyle, sınıf aralık değerlerinin güncellenmesi gerekmektedir. Bu sayede TOYTOS MYİ sistemin tahmin gücü önemli oranda artırılabilir.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen KDS yapısının oldukça kapsamlı olmasına rağmen, sistem hızlı ve kolay elde edilebilir girdiler ile çalışmaktadır. Bu girdileri, yangın yöneticilerinin elinin altında kolaylıkla bulunabilecek orman amenajman planlarının içerdiği yanıcı madde özelliklerine ilişkin veriler ile hava hallerine ilişkin veriler oluşturmaktadır. Sistemde, ilgili plan veri tabanlarının içerdiği topoğrafik özelliklere ilişkin öznelik verileri

de kullanılmaktadır. Ayrıca ilgili planların içerdiği detay verileri ile alana ilişkin yol durumu, su kaynakları gibi bilgiler de yanıcı madde haritalarına işlenebilmektedir. Böylelikle, sistem kullanımı, dış veriye bağımlılığı en aza indirebilecek şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Sistemin çalışabilmesi için ihtiyaç duyulan hava hallerine ilişkin veriler ise günümüz teknolojisinin yardımıyla kolay ulaşılabılır bir yapıdadır. Mevcut sistem, meteorolojik verileri çevrimiçi bir veri sunucusundan ücretsiz olarak sağlamaktadır. Bunun yanında sistem, diğer veri sunucularından kolaylıkla veri alabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Bu özellikler dikkate alındığında, TOYTOS KDS'nin, yangın yöneticileri tarafından operasyonel olarak kullanıldığında elde edilebilecek potansiyel sonuçlar aşağıda sıralanmıştır. TOYTOS KDS ile yangın yöneticileri;

- Orman yangınları ile mücadelede kullanılacak verileri depolayabilecek, veriler üzerinde analiz ve sorgulama yapabilecektir.
- Belirlenen alanda gerçekleşmiş geçmiş yangınlara ilişkin mekânsal değerlendirmeler yapabilecektir.
- Yangın risk ve tehlike potansiyelini, sabit ve değişken çevre faktörlerine bağlı olarak istenilen bir alan için derecelendirebilecek, mekânsal sorgulamalar yapabilecektir.
- Halkı çıkabilecek bir orman yangınına karşı uyarma veya orman içi faaliyetleri sınırlamak gibi önleyici tedbirlerin planlanması ve uygulanmasını kolaylıkla gerçekleştirebilecektir.
- Orman yangınlarına hazırlıklı olma faaliyetleri kapsamında, yangın tehlike potansiyelini azaltıcı aralama ve budama gibi silvikültürel faaliyetlere ilişkin potansiyel alanları önceden belirleyebilecektir.
- Yangın gözetleme faaliyetlerinin planlanması, eldeki kaynakların etkili ve verimli kullanılabilmesi için sayısal veri elde edebilecek ve raporlayabilecektir. Ayrıca potansiyel gözetleme noktaları ve rotalarını belirleyebilecektir.
- Hava halleri değişimlere göre, anlık olarak yangın potansiyelini tespit edebilecek, aynı zamanda yangınla mücadele ekipleri için güvenli mücadele yöntemlerini belirleyebilecektir.
- Yangın davranışını, hava halleri, topoğrafya ve yanıcı madde özelliklerine bağlı olarak doğru ve hızlı olarak tahmin edebilecektir. Ayrıca, yangının potansiyel etkilerini önceden kestirerek, kaynak tasarrufu konusunda yardım alabilecektir.

- Gerçekleşecek potansiyel bir yangına yapılabilecek ilk müdahale teknik ve taktiklerinin belirlenebilmesi konusunda ön bilgi edinebilecektir. Aynı zamanda, gelişmiş ve gelişmekte olan bir yangının söndürülebilmesi veya kontrol altına alınabilmesi için gerekli taktik ve stratejilerin belirlenebilmesinde yardım alabilecektir.
- Kontrollü ve amaçlı yakma çalışmalarının zamansal ve mekânsal planlanması konularındaki karar verme sürecinde yardım alabilecek ve yakma uygulamalarını yapabilecektir.
- Geçmiş bir yangına ilişkin verileri kullanarak, yangının tekrardan benzetimini yapabilecektir. Böylece, yangının potansiyel etkilerini raporlayabilecek ve yangın üzerinde analizler gerçekleştirilebilecektir.
- Orman yangın yönetimi konusunda ülkemizde henüz yapımına başlanan ve işletme ve şeflik bazında hazırlanabilen “Yangın Yönetim Planları” içeriğini kolaylıkla hazırlayabilecektir.
- Orman yangınları ile mücadelede teknik eleman, işçi ve diğer kurum ve kuruluşlardaki paydaşlara, yangınları anlama ve karar verme aşamalarında eğitimler gerçekleştirebilecektir.

5. ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen model TOYTOS v1.0 yazılımı, mevcut hali ile orman yangın yönetim planlamaları ve yangınla mücadele çalışmalarında kısmen kullanılabilir bir yapıda olmasına rağmen, geliştirilmesine ihtiyaç duyulan bazı önemli kısımları bulunmaktadır. Sistem bünyesinde bulunan alt sistemlerden Yangın Bilgi Sistemi ve Yangın Çıkma İhtimali Tahmin Sistemi ile ilgili yapılacak geliştirmeler, daha çok sistem yazılımının geliştirilmesi şeklinde olacağı için, bu geliştirmeler yazılım ve bilgisayar bilimlerinin araştırma konularına girmektedir. Ancak, sistem bünyesinde bulunan ve KDS sisteminin önemli alt sistemlerini oluşturan Meteorolojik Yangın İndeksi ile Yangın Davranışı Tahmin Sistemlerinde yapılması gerekli geliştirmeler, sistem başarısı açısından önem arz etmekte ve yapılacak geliştirmeler, Orman Mühendisliği Biliminin araştırma alanları içerisinde yer almaktadır. Bu açıdan, ilgili sistemlerde yapılması gerekli görülen birtakım geliştirmeler, öneriler halinde aşağıda sıralanmıştır.

Meteorolojik Yangın İndeksi Sistemi:

- Sistemin başarılı bir şekilde çalışabilmesi için, konumsal ve zamansal çözünürlüğü yüksek meteorolojik veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut sistem, meteorolojik verileri ilçe bazında anlık olarak saatlik ve 24 saat sonrası tahmin değeri olarak, yabancı bir web servis sunucusundan almaktadır. Meteorolojik verilerin konumsal çözünürlüğünün ilçe bazında olması ve en fazla 24 saatlik tahmin verisinin bulunması, sistem başarısını etkilemektedir. Bu açıdan sistemin operasyonel olarak kullanılmaya başlanması durumunda, meteorolojik veri sağlayıcısının güncellenmesi ve mümkün olması durumunda yüksek konumsal ve zamansal çözünürlüğe sahip verilerin, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'den sağlanması önem arz etmektedir.
- Mevcut sistem, hava hallerine bağlı olarak yangın risk ve tehlike potansiyelini, tüm Türkiye için, orta ağaçlık çağında Kızılçam ve Karaçam 3 kapalılığa sahip meşcereleri için geliştirilen yanıcı madde nem modelleri ile derecelendirmektedir. MYİ sistemi, genel bir yangın risk ve tehlike potansiyel derecelendirmesi yaptığı için, özel durumlarda YDT sistemine bilgi verebilme konusunda eksiklikleri bulunmaktadır. Bu sebeple Kızılçam ve Karaçam meşcerelerine ilişkin farklı

kapalılık, gelişme çağları, bakı gibi özelliklerin MYİ sistemine entegre edilmeli ve bu durumlar için YDT sistemine veri sağlanmalıdır.

- Ülkemizde orman yangınlarının önemli bir kısmının maki ve anız alanlarından çıktığı ve diğer alanlara sirayet ettiği bilinmektedir. Bu yanıcı madde tipleri MYİ sistemi açısından kritik öneme sahiptir. Yapılacak yeni çalışmalar ile maki ve anız yanıcı madde tiplerine ilişkin hava hallerine bağlı yanıcı madde nem modelleri geliştirilecek MYİ sistemine entegre edilmelidir. Böylelikle, yangının bir araç olarak kullanılması gerektiği durumlarda, anız ve makide kontrollü ve amaçlı yakmaların planlanması da kolaylıkla gerçekleştirilebilecektir. Mevcut MYİ sistemi yanıcı madde haritaları ile birleştirilerek, meteorolojik yangın risk ve tehlike potansiyelinin yanıcı madde tipleri açısından sınırlandırılması ile sistem başarısının önemli oranda artma potansiyeli bulunmaktadır.
- Mevcut sistemde kullanılan yangın risk ve tehlike potansiyeli sınıf aralıkları, ülkemiz iklim ve yanıcı madde özelliklerine benzer bir yapıda bulunan ve ülkemize komşu bir ülkede kullanılan aralık değerleridir. Bu aralık değerlerinin, ülkemizde uzun dönemli yangın verileri ile meteorolojik yangın indeksi ilişkisi analiz edilerek güncellenmesi gerekmektedir.

Yangın Davranışı Tahmin Sistemi:

- Orman yangın davranışını doğru tahmin etmek, yangınlarla başarılı bir şekilde mücadele edebilmenin temel unsurlarındandır. YDT sistem modellemesinde kullanılan verilerin elde edildiği deneme yangınları, bu amaca hizmet etmektedir. Ancak, yangınların parsel bazlı olması (0,05-0,5 hektar), yanıcı maddenin homojen ve rüzgar hızının belirli sınırlarda olması, modeller farklı hava halleri (ekstrem rüzgarlar), topoğrafya ve yanıcı maddelerde gerçekleşen yangınları tahmin etmede bazı durumlarda yetersiz kalmaktadır. Bu açıdan yangınların ülkemizde en çok gerçekleştiği alanlarda arazide izlenmesi ve bu yangınlardan, modellerde kullanılabilir veri elde edilmesi kritik öneme sahiptir. Farklı hava halleri, topoğrafya ve yanıcı madde tiplerinde gerçekleşen yangınlardan elde edilecek kullanılabilir veriler ile KDS sisteminde kullanılacak modellerin tahmin gücünün artırılması yanında, dünya literatürüne katkı da sağlanabilir. Bu kapsamda Orman Genel Müdürlüğü'nün sahip olduğu yeni teknolojiler (Termal ve normal kameralı helikopterler, İHA ve uçan gözler) kullanılmalıdır.

- Mevcut model yazılımında yangın benzetimi düz arazi (Eğim 0°) şartlarında gerçekleştirilmektedir. Arazinin eğim değişkeni, yangın davranışında kritik öneme sahiptir. Bu sebeple yapılacak modelleme çalışmaları ile eğimin yangın yayılma oranı üzerindeki etkisi modellenerek, yazılıma entegre edilmesi gerekmektedir.
- Sistem yazılımı, yangın davranışı özelliklerinden sadece yayılma oranı çıktısı verebilmekte ve çıktı olarak yangın hasarat raporunu, sadece yanıcı madde türlerine göre yanan alan miktarını temel alarak sağlayabilmektedir. Yangın davranışının tam olarak belirlenmesinde yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddetinin hesaplanması gerekmektedir. Yangın hasarat raporunun oluşturulmasında, yangın şiddeti ve yanıcı madde tüketimi değerlerine bağlı olarak hesaplanan şiddet sınıfları ve bu sınıflara ilişkin mekânsal haritaların oluşturulması, yanan alanda gerçekleştirilecek doğal ve yapay gençleştirme çalışmalarına yönelik öneriler sunulabilecektir. Nitekim yangın alanında yanıcı madde tüketimi farklı değerlere sahip olabileceğinden, farklı alanlarda yanıcı madde tüketimi değerlerine bağlı olarak belirlenmiş gençleştirme stratejileri, uygulayıcılara karar verme aşamasında yardımcı olabilecektir.
- Sistemde kullanılan yanıcı maddelere ilişkin yayılma oranı model katsayıları, benzetim sistemin çalışabilmesi için statik olarak tanımlanmıştır. Bu sebeple sistemde, meşcere tiplerine bağlı olarak bir yanıcı madde tip ayrımı yapılmak zorunda kalmıştır. Yayılma oranı model katsayılarının tepe altı yüksekliği, tepe ve ölü örtü yanıcı madde miktarı gibi yanıcı madde özelliklerine göre dinamik olarak hesaplanması modelin doğruluğu ve sistem başarısı açısından önemlidir.
- Orman yangınlarında, yangın şiddetine bağlı olarak kütle taşınımı ile yeni nokta yangınlarının başlaması, yangın atmaları olarak tanımlanmaktadır. Yangın anında muhtemel yangın atmalarının önceden belirlenebilmesi ise, yangının yayılması ve müdahale stratejilerinin belirlenmesinde önemlidir. Yapılan çalışmada, yangın atmalarına yönelik bir çalışma yapılmamıştır ve yangın benzetimi, yangın atmalarının olmayacağı varsayılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılacak yeni çalışmalarda, yangın atmaların modellenmesi ve sisteme entegre edilmesi gerekmektedir.
- Geliştirilen model yazılımda yangın yöneticilerinin eğitim amacı ile kullanabilecekleri “Teknik Eğitim Modülü” bulunmamaktadır. Yapılacak bu

modül ile orman yangınları ile mücadelede ihtiyaç duyulan uzman personelin eğitilmesine önemli katkılar sağlanabilir. Eğitim modülü yangın tehlikesi, yangın riski, yangın davranışı ve yangın etkilerini içine alan interaktif bir eğitim aracı olmalıdır.

Sonuç olarak söylenilebilir ki; ülkemiz orman varlığının yaklaşık yüzde altmışlık kısmı, orman yangınlarına hassas bir yapıda bulunmakta ve gerçekleşen yangınlar ekolojik, ekonomik ve sosyo-kültürel birçok etkilere neden olmaktadır. Bu sebeple ülkemizde orman yangınları konusunda karar vericiler, yangınlarla etkili mücadele edebilmek için yapacakları planlamalara katkı sağlayacak her türlü kaynak, bilgi ve programdan faydalanmak durumundadırlar.

Yangınların zararlı etkilerinden korunmak, yangın zararını en aza indirebilmek ve yangınları bir yanıcı madde yönetim aracı olarak kullanabilmek için karar destek sistemi olarak kullanılan Yangın Tehlike Oranları Sistemleri, gelişmiş ülkelerde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında oluşturulan Türkiye Orman Yangın Tehlike Oranları Sistemi (TOYTOS) gibi karar destek sistemlerinin, ülkemizde resmi olarak kullanımın kısa vadede sağlanması, ülkemiz orman yangın yönetim planlarının oluşturulması ve yangınlarla mücadele çalışmalarına önemli katkılar sağlayacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Alexander, M., E., Stocks, B., J. ve Lawson, B., D., 1996. The Canadian Forest Fire Danger Rating System, Bombardier Inc., Canadair, Montreal, PQ, 4, 6-9.
- Angström, A., 1942. The Risks for Forest Fires and Their Relation to Weather and Climate, Svenka skogårdsföreningens Tidskr, 4, 18.
- Bachmann, A. ve Allgöwer, B., 1998. A Framework for Wildfire Risk Analysis, III International Conference on Forest Fire Research, 14th Conference on Fire and Forest Meteorology, November, Coimbra, 2177-2190.
- Baş, R., 1965. Türkiye’de Orman Yangınları Problemi ve Bazı Klimatik Faktörlerin Yangınlara Etkileri Üzerine Araştırmalar, Ankara 32 s.
- Başaran, M., E., Sarıbaşak, H. ve Cengiz, Y., 2004. Yangın Söndürme Temel Esaslarının Belirlenmesi (Manavgat Örneği), Çevre ve Orman Bakanlığı, 4, 3-12.
- Başkent, E., Z., 2018. A Review of the Development of the Multiple Use Forest Management Planning Concept, International Forestry Review, 20, 3, 296-313.
- Baysal, İ., 2014. Orman Yangınlarının Orman Amenajman Planlarına Entegrasyonu, Doktora Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bilgili E., 1991. Analysis of the Simple Ellipse as a Basic Fire Growth Model, MScF Thesis, University of New Brunswick, Forests Resources, Canada.
- Bilgili E., 1995. Fuel Characterization and Fire Behavior Prediction in Even-Aged Conifer Stands, PhD Thesis, University of New Brunswick, Forest Resources, Fredericton, NB, Canada.
- Bilgili E., 1997. Forests and Forest Fires in Turkey, FAO, 15-21.
- Bilgili E., 1999. The Use of Decision Support Systems in Fire Management Planning, Orman Yangınlarının Önlenmesi ve Mücadelesi Semineri, Ağustos, Fethiye.
- Bilgili, E., 2016. Need For Fire Danger Rating System, International Forestry Symposium, December, Kastamonu, Turkey, 2 s.
- Bilgili, E. ve Coşkun, K., A., 2015. Towards Turkish National Fire Danger Rating System as a Decision Support System, International Wildland Fire Conference, September, Pyeongchang, Korea.
- Bilgili, E., Coşkun, K., A., Usta Y. ve Goltaş M., 2018. Modeling Surface Fuels Moisture Content in *Pinus brutia* Stands, Journal of Forestry Research. online, 1-11.

- Bilgili, E. ve Küçük, Ö., 2009. Estimating Above - Ground Fuel Biomass in Young Calabrian Pine (*Pinus brutia* Ten.), Energy & Fuels, 23, 1797-1800.
- Bilgili, E. ve Methven, I., R., 1990. Simple Ellipse as a Basic Fire Growth Model, I. International Conference on Forest Fire Research, Coimbra, Portugal, 14-18.
- Bilgili, E. ve Sağlam, B., 2003. Fire Behavior in Maquis Fuels in Turkey, Forest Ecology and Management, 184, 1-3, 201-207.
- Bilgili, E., Sağlam, B. ve Başkent, E., Z., 2001. Yangın Amenajmanı Planlamalarında Yangın Tehlike Oranları ve Coğrafi Bilgi Sistemleri, KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 4, 2, 288-297.
- Boer, M., M., Sadler, R., J., Wittkuhn, R., S., McCaw, L. ve Grierson, P., F., 2009. Long-Term Impacts of Prescribed Burning on Regional Extent and Incidence of Wildfires - Evidence from 50 Years of Active Fire Management in SW Australian Forests, Forest Ecology and Management, 259, 1, 132-142.
- Burgan, R., E., 1988. Revisions to the 1978 National Fire-Danger Rating System, Forest Service U.S. Department of Agriculture, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, NC, 39 s.
- Carlson, J., D., Bradshaw, L., S., Nelson, R., M., Bensch, R., R. ve Jabrzemski R., 2007. Application of the Nelson Model to Four Timelag Fuel Classes using Oklahoma Field Observations: Model Evaluation and Comparison With National Fire Danger Rating System Algorithms, International Journal of Wildland Fire, 16, 2, 204-216.
- Cattell, R., 2011. Scalable SQL and NoSQL Data Stores, SIGMOD Rec., 39, 4, 12-27.
- CFDG, 1992. Development and Structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System, Information Report ST-X-3, Ottawa, 64 s.
- Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L. ve Williams, D., 1983. Fire in Forestry, Volume 1. Forest Fire Behavior and Effects, John Wiley & Sons, Inc, 36 s.
- Cheney, P. ve Gould, J., S., 1995. Separating Fire Spread Prediction and Fire Danger Rating, Journal of Conservation and Land Management, 4, 3-8.
- Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Salas, J., Martin, M., P., Vilar, L., Martinez, J., Martin, S., Ibarra, P., De la Riva, J., Baeza, J., Rodriguez, F., Molina, J., R., Herrera, M., A. ve Zamora, R., 2010. Development of a Framework For Fire Risk Assessment Using Remote Sensing and Geographic Information System Technologies, Ecological Modelling, 221, 1, 46-58.
- Chuvieco, E. ve Congalton, R., 1989. Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping, Remote Sensing of Environment, 29, 2, 147-159.

- Countryman, C., M., 1966. Rating Fire Danger by the Multiple Basic Index System, Journal of Forestry, 64, 8, 531-536.
- Çanakçioğlu, H., 1985. Orman Koruma, İstanbul Üniversitesi, 479 s.
- Çanakçioğlu, H., 1988. Yangın Tehlike İndekslerinden Yararlanılan Alanlar, Orman Koruma ve Yangınla Mücadele Dairesi Başkanlığı OGM, Ankara, 153-162.
- Çinko H., 2018. Anızda Yangın Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- De Groot, W., J., Field R., D., Brady, M., A., Roswintiarti, O. ve Mohamad, M., 2006. Development of the Indonesian and Malaysian Fire Danger Rating Systems, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 12, 165–180.
- De Groot, W. J., Goldammer, G., J., Keenan, T., Brady, M., Lynham, T. J., Justice, C. O., Csiszar, I., A. ve O'Loughlin, K., 2006. Developing A Global Early Warning System for Wildland Fire, 5th International Conference on Forest Fire Research, November, Figueira da Foz, Portugal, 12 s.
- De Jong, M., C., Wooster M., J., Kitchen , K., Manley, C., Gazzard, R. ve McCall, F., F., 2016. Calibration and Evaluation of the Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System for Improved Wildland Fire Danger Rating in the United Kingdom, Natural Hazards and Earth System Sciences, 16, 5, 1217-1237.
- Deeming, J., E., Burgan, R., E. ve Cohen, J., D., 1978. The National Fire-Danger Rating System, INT-39, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, INT-39.
- Deeming, J., E., Lancaster, J., W., Fosberg, M., A., Furman, R., W. ve Schroeder, M., J., 1972. The National Fire-Danger Rating System, RM-84, U.S. For. Serv, Fort Collins, Colorado., 165.
- Del Hoyo, L., V., Isabel, M. P. M. ve Vega, F. J. M., 2011. Logistic Regression Models for Human-Caused Wildfire Risk Estimation: Analysing the Effect of the Spatial Accuracy in Fire Occurrence Data, European Journal of Forest Research, 130, 6, 983-996.
- Delphi, 2009. Embarcadero Technologies, Austin, Texas, USD.
- Dimitrakopoulos, A., P. ve Bemmerzouk, A., M., 2003. Predicting Live Herbaceous Moisture Content From a Seasonal Drought Index, International Journal of Biometeorology, 47, 73–79.
- Dimitrakopoulos, A., P., Bemmerzouk, A., M. ve Mitsopoulos, I., D., 2011. Evaluation of the Canadian Fire Weather Index System in an Eastern Mediterranean Environment, Meteorological Applications, 18, 1, 83-93.

- Durmaz, B., D., 2014. Aralama Görmüş Genç Kızılçam Ağaçlandırma Alanlarında Yangın Davranışı, Doktora Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Eker, Ö. ve Abdurrahmanoğlu, D., M., 2018. Orman Yangınlarıyla Mücadele Harcamalarının Analizi: Kahramanmaraş Orman Bölge Müdürlüğü Örneği Turkish Journal of Forest Science, 2, 1, 34-48.
- ESRI, 2011. ArcGIS Desktop: Release 10, Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA.
- Fernandes, P., M., Davies, G., M., Ascoli, D., Fernández, C., Moreira, F., Rigolot, E., Stoof, C. R., Vega, J., A. ve Molina, D., 2013. Prescribed Burning in Southern Europe: Developing Fire Management in a Dynamic Landscape, 11, 1, 4-14.
- Finney, M., 2004. FARSITE: Fire Area Simulator: Model Development and Evaluation.
- Fogarty, L., G., Pearce, H., G., Catchpole, W., R. ve Alexander, M., E., 1998. Adoption vs Adaptation: Lessons from applying the Canadian Forest Fire Danger Rating System in New Zealand. Paper presented at the III International Conference on Forest Fire Research, 14th Conference on Fire and Forest Meteorology November, Luso, Portugal.
- Fosberg, M., A. ve Micheal, A., 1971. Moisture Content Calculations for the 100-Hour Timelag Fuel in Fire-Danger Rating, Forest Service U.S. Department of Agriculture, Forth Collins, CO., 7.
- Fosberg M., A., Micheal, A. ve Deeming, J., E., 1971. Derivation of The 1- And 10- Hour Timelag Fuel Moisture Calculations for Fire-Danger Rating, Forest Service U.S. Department of Agriculture, Fort Collins, CO., 8.
- Fox-Hughes, P., Matthews, S., Jakob, D., Sauvage, S., Kenny, B., Su, C. H., Hollis, J., Grootemaat, S., Eizenberg, N. ve Steinle, P., 2018. Reanalysis of Climatology of Australian Prototype Fire Danger Rating System, Paper Presented at the 8th International Conference of Forest Fire Research, November, Coimbra, Portugal.
- GOFC-GOLD, 2003. Monitoring Global Change: Canada's Contribution. Natural Resources Canada, Canadian Forestry Service, Edmonton, AB.
- Göлтаş, M., 2016. Farklı Kapalıdaki Kızılçam ve Karaçam Meşçerelerinde Hava Hallerine Bağlı Olarak Ölü Yanıcı Madde Neminin Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Griffiths, D., 1999. Improved Formula for The Drought Factor in McArthur's Forest Fire Danger, Aust. For., 62, 2, 202-206.
- Hardy, C., C., 2005. Wildland Fire Hazard and Risk: Problems, Definitions and Context, Forest Ecology and Management, 211, 1-2, 73-82.

- Hirsch, K., G., 1996. Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System: User's Guide, Special Report 7 , Edmonton, Alberta, 122 s.
- Huygens, C., 1962. Treatise on Light (S.P. Thompson, Translator), Dover Publ., New York. (Original work published 1912.), 128 s.
- Jaiswal, R., K., Mukherjee, S., Raju, K., D. ve Saxena, R., 2002. Forest Fire Risk Zone Mapping from Satellite Imagery and GIS, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 4, 1, 1-10.
- Kalabokidis, K., Ager, A., Finney, M., Athanasis, N., Palaiologou, P. ve Vasilakos, C., 2016. AEGIS: A Wildfire Prevention and Management Information System, Natural Hazards and Earth System Sciences, 16, 3, 643-661.
- Karali, A., Roussos, A., Giannakopoulos, C., Hatzaki, M., Xanthopoulos, G. ve Kaoukis, K., 2013. Evaluation of the Canadian Fire Weather Index in Greece and Future Climate Projections, Berlin, Heidelberg.
- Keetch, J., J. ve Byram, G., M., 1968. A Drought Index for Forest Fire Control, SE-38, USDA Forest Service, 32.
- Keleş, S., Başkent, E., Z., Karahalil, U. ve Günlü, A., 2012. Ormanların Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlanmasında Karar Destek Sistemleri: Edremit-Gürgendağ Planlama Birimi Örneği, I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Ekim Kahramanmaraş, Bildiriler kitabı, 3-12.
- Kourtz, P., H. ve Todd, J., B., 1991. Predicting the Daily Occurrence of Lightning-Caused Forest Fires, Information Report PI-X-112, Chalk River, Ontario, 18.
- Koutsias, N., Kalabokidis, K. ve Allgöwer, B., 2004. Fire Occurrence Patterns at Landscape Level: Beyond Positional Accuracy of Ignition Points With Kernel Density Estimation Methods, Natural Resource Modeling, 17, 4, 359-375.
- Köseoğlu, K., 2004. Programcılık Mantığı, Pusula Yayıncılık, İstanbul, 448 s.
- Kucuk, O., Topaloglu, O., Altunel, A., O. ve Cetin, M., 2017. Visibility Analysis of Fire Lookout Towers in The Boyabat State Forest Enterprise in Turkey, Environmental Monitoring and Assessment, 189, 7.
- Kuter, N., Yenilmez F. ve Kuter S., 2011. Forest Fire Risk Mapping by Kernel Density Estimation, Croatian Journal of Forest Engineering, 32, 2, 599-610.
- Küçük, Ö., 2000. Karaçamda Yanıcı Madde Miktarının Tespiti ve Yanıcı Madde Özelliklerine Bağlı Yanıcı Madde Modelleri, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Küçük, Ö., 2004. Yanıcı Madde Tipleri ve Yangın Davranışına Bağlı Yangın Potansiyelinin Belirlenmesi ve Haritalanması, Doktora Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü Trabzon.

- Küçük, Ö., Bilgili, E., Bulut, S. ve Fernandes, P., M., 2012. Rates of Surface Fire Spread in a Young Calabrian Pine (*Pinus brutia* Ten.) Plantation, Environmental Engineering and Management Journal, 11, 8, 1475-1480.
- Küçük, Ö., Bilgili, E. ve Karadoğan, E., 2010. Moisture content of dead fuels in relation to meteorological parameters in Anatolian black pine in northwest Turkey. Paper presented at the VI. International Conference on Forest Fire Research, 15-18 November, Coimbra, Portugal.
- Küçük, Ö., Bilgili, E. ve Sağlam, B., 2008. Estimating Crown Fuel Loading for Calabrian Pine and Anatolian Black Pine, International Journal of Wildland Fire, 17, 1, 147-154.
- Küçük, Ö., Bilgili, E., Sağlam, B., Durmaz, B., D. ve Baysal, I., 2007. The Studies to Support a Fire Danger Rating System in Turkey, Kastamonu University, Journal of Forestry Faculty, 7, 1, 104-109.
- Lawson, B., D., Stocks, B., J., Alexander, M., E. ve Van Wagner, C., E., 1985. A System for Predicting Fire Behavior in Canadian Forests. Paper presented at the Proceedings of the 8th Conference on Fire and Forest Meteorology, Detroit, Michigan, USA.
- Lee, B., S., Alexander, M., E., Hawkes, B., C., Lynham, T., J., Stocks, B., J. ve Englefield, P., 2002. Information Systems in Support of Wildland Fire Management Decision Making in Canada, Computers and Electronics in Agriculture, 37, 1-3, 185-198.
- Lopez, A., S., San-Miguel-Ayanz, J. ve Burgan, R., E., 2002. Integration of Satellite Sensor Data, Fuel Type Maps and Meteorological Observations for Evaluation of Forest Fire Risk at The Pan-European Scale, International Journal of Remote Sensing, 23, 13, 2713-2719.
- Marques, S., Garcia-Gonzalo, J., Botequim, B., Ricardo, A., Borges, J., G., Tome, M. ve Oliveira, M., M., 2012. Assessing Wildfire Occurrence Probability in *Pinus Pinaster* Ait. Stands In Portugal, 21, 1, 10.
- Martell, D., L., 2001. Chapter 15 - Forest Fire Management, Forest Fires, Edward A. Johnson ve Kiyoko Miyaniishi (Ed.), Academic Press, San Diego, 527-583.
- Martell, D., L., Bevilacqua, E. ve Stocks, B., J., 1989. Modeling Seasonal-Variation in Daily People-Caused Forest Fire Occurrence, Canadian Journal of Forest Research- Revue Canadienne De Recherche Forestiere, 19, 12, 1555-1563.
- Matthews, S., Fox-Hughes, P., Grootemaat, S., Heemstra, S., Hollis, J., Kenny, B., Sauvage, S., Shackleton, C., Short L. ve Sparkles, D., 2018. Building The Prototype for a New National Fire Danger Rating System for Australia. Paper presented at the 8th International Conference on Forest Fire Research, Coimbra, Portugal.
- McArthur, A., G., 1958. The Preparation and Use of Fire Danger Tables, Fire Weather Conference, Melbourne, Australia, 12 s.

- McArthur, A., G., 1960. Fire Danger Rating Tables for Annual Grasslands, Forestry and Timber Bureau, Mimeograph, Australia, 15 s.
- McArthur, A., G., 1962. Control Burning in Eucalypt Forests, Forestry and Timber Bureau, Leaflet, Australia, 7 s.
- McArthur, A., G., 1966. Weather And Grassland Fire Behaviour, Forestry and Timber Bureau, Leaflet, Australia, 16 s.
- McArthur, A., G., 1967. Fire Behaviour in Eucalypt Fuels, Forestry and Timber Bureau, Leaflet, Australia, 13 s.
- McRae, D., J., Conard, S., G., Ivanova, G., A., Sukhinin, A., I., Baker, S., P., Samsonov, Y., N., Blake, T., W., Ivanov, V., A., Churkina, T., V., Hao, W., M., Koutzenogij, K. P. ve Kovaleva, N., 2006. Variability of Fire Behavior, Fire Effects, and Emissions in Scotch Pine Forests of Central Siberia, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 11, 1, 45-74.
- Merrill, D., F. ve Alexander, M., E., 1987. Glossary of Forest Fire Management Terms, Canadian Committee on Forest Fire Management, National Research Council of Canada, Ottawa, 57 s.
- MGM, 2017a. Antalya Meteoroloji İstasyonu 1926 - 2017 Yılları Meteorolojik Değerleri, Ankara.
- MGM, 2017b. Muğla Meteoroloji İstasyonu 1926 - 2017 Yılları Meteorolojik Değerleri, Ankara.
- Mol, T., 1988. Yangın Tehlike Oranları, Türkiye Ormanlarını Yangından Koruma Semineri, Ağustos, Ankara, 33-45.
- Moreira, F., Viedma, O., Arianoutsou, M., Curt, T., Koutsias, N., Rigolot, E., Barbati, A., Corona, P., Vaz, P., Xanthopoulos, G., Mouillot, F. ve Bilgili, E., 2011. Landscape - Wildfire Interactions in Southern Europe: Implications for Landscape Management, Journal of Environmental Management, 92, 10, 2389-2402.
- Nelson, R., M., 2000. Prediction of Diurnal Change in 10-H Fuel Stick Moisture Content, Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere, 30, 7, 1071-1087.
- Nesterov, V., G., 1949. Flammability of the Forest and Methods of its Determination, USSR State Industry Press, Moscow, 76 s.
- Neyişci, T., Ayaşlıgil, Y. ve Sönmezşık, S., 1999. Yangına Dirençli Orman Kurma İlkeleri, Yayın No: 21, TMMOB Orman Mühendisleri Odası, Ankara 54 s.
- OGM, 1995. Orman Yangınlarının Önlenmesi ve Söndürülmesinde Uygulama Esaslarına Orman Genel Müdürlüğü, 133 s.

- OGM, 2016a. Orman Yangın Eylem Planı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, 260 s.
- OGM, 2016b. Türkiye’de Yüksek Koruma Değerine Sahip Akdeniz Ormanlarının Entegre Yönetimi Projesi (GEF V). Ankara.
- OGM, 2017. Orman Yanginlari ile Mücadele Faaliyetleri 2017 Yili Değerlendirme Raporu, Ankara, 130 s.
- Owens, M., 2006. The Definitive Guide to SQLite, Apress, 440 s.
- Öymen, T., 1989. Yangın Davranış Tehlike Sinyalleri ve İnterpretasyonları, Orman Yangınlarıyla Savaş Semineri, Ağustos, Ankara, 671, 31-35.
- Pearce, H., G. ve Alexander, M., E., 1994. Fire Danger Ratings Associated with New Zealand’s Major Pine Plantation Wildfires. Paper Presented at the 12th Conference on Fire and Forest Meteorology, Bethesda, MD 12 s.
- Pettinari, M., L., 2015. Global Fuelbed Dataset, PANGAEA , University of Alaca, Spain, 32 s.
- Postnikov, M., M., 1982. Analytic Geometry, Mir Publishers, 46 s.
- Pyne, S., J., 1984. Introduction to Wildland Fire - Fire Management In The United States, John Wiley & Sons, New York, 384 s.
- Richards, G., D., 1990. An Elliptical Growth Model of Forest Fire Fronts and Its Numerical Solution, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 30, 6, 1163-1179.
- Rothermel, R., C., 1972. A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels, INT-115, USDA Forest Service, 48 s.
- Rowe, J., S., 1972. Forest Regions of Canada, Can. For. Serv. Ont. Publ., Ottawa, 76 s.
- Saglam, B., Bilgili, E., Kucuk, O. ve Durmaz, B., D., 2006. Determination Of Surface Fuels Moisture Contents Based on Weather Conditions, Forest Ecology and Management, 1, 234.
- Sağlam, B., 2002. Meteorolojik Faktörlere Bağlı Yanıcı Madde Nem İçerikleri ve Maki Tipi Yanıcı Maddelerde Yangın Davranışı, Doktora Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sağlam, B., Bilgili, E., Durmaz, B., D., Kadiogullari, A., İ. ve Küçük, Ö., 2008. Spatio-Temporal Analysis of Forest Fire Risk and Danger using Landsat Imagery, Sensors, 8, 6, 3970-3987.
- Salis, M., Ager, A., A., Finney, M., A., Arca, B. ve Spano, D., 2014. Analyzing Spatiotemporal Changes in Wildfire Regime and Exposure Across a Mediterranean Fire-Prone Area, Natural Hazards, 71, 3, 1389-1418.

- San-Miguel-Ayanz, J., Moreno, J., M. ve Camia, A., 2013. Analysis of Large Fires in European Mediterranean Landscapes: Lessons Learned and Perspectives, Forest Ecology and Management, 294, 11-22.
- Sanderlin, J., C., S., 1975. A Simulation for Wildland Fire Management Planning Support (FIREMAN). Vol. 2. Prototype Models for FIREMAN (Part II): Campaign Fire Evaluation., Spec., 222-249.
- Shim, J., P., Warkentin, M., Courtney, J., F., Power, D., J., Sharda, R. ve Carlsson, C., 2002. Past, Present and Future of Decision Support Technology, Decision Support Systems, 33, 2, 111-126.
- Škvarenina, J., Mindáš, J., Holécy, J. ve Tuček, J., 2004. An Analysis of The Meteorological Conditions during Two Largest Forest Fire Events in The Slovak Paradise National Park, Meteorological Journal, 7, 167-171.
- Sol, B., 1992. Risque Numérique Météorologique in-Cendies De Forêt En Région Méditerranéenne: Dépouille-Ment Du Test De Lété 1988 et Propositions De Améliorations, 12 s.
- Stocks, B., J., Lawson, B., D., Alexander, M., E., Van Wagner, C., E., McAlpine, R., S., Lynham, T., J. ve Dube, D., E., 1989. The Canadian Forest Fire Danger Rating System - an Overview, Forestry Chronicle, 65, 6, 450-457.
- Sturm, T., Fernandes, P., M. ve Sumrada, R., 2012. The Canadian Fire Weather Index System and Wildfire Activity in The Karst Forest Management Area, Slovenia, European Journal of Forest Research, 131, 3, 829-834.
- Taylor, S., W., 2001. Considerations for Applying the Canadian Forest Fire Danger Rating System in Argentina, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre: Victoria, BC, 7 s.
- Taylor, S., W. ve Alexander, M., E., 2003. Considerations in Developing a National Forest Fire Danger Rating System. Paper Presented at the XII World Forestry Congress, Quebec, Canada, 9 s.
- Taylor, S., W., Pike, R., G. ve Alexander, M., E., 1996. Field Guide to the Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System, Canadian Forest Service, British Columbia, Canada, 83 s.
- Thornthwaite, C., W., 1948. An Approach Toward a Rational Classification of Climate, Geographical Review, 38, 94.
- TOGTAG, 2008. Farklı Eğitim Grubu ve Nem Koşullarında Maki Tipi Yanıcı Maddelerde Yangın Davranışının Belirlenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Haritalanması (TOGTAG 3501), TÜBİTAK.

- TOVAG, 2007. Genç Kızılcım Meşcereleri ve Maki Tipi Yanıcı Maddelerde Yangın Davranışının Belirlenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Haritalanması (TOVAG 3375), TÜBİTAK.
- TOVAG, 2011. Türkiye Ulusal Yangın Tehlike Oranları Sistemi (TUYTOS)'ne Doğru. Bölüm I: Yangın Davranışı Tahmin Sistemi (TOVAG 1080327), TÜBİTAK.
- TOVAG, 2015. Türkiye Orman Yangın Tehlike Oranları Sistemi (TOYTOS)'ne Doğru. Bölüm II: Meteorolojik Yangın İndeksi Sistemi (TOVAG 1120809), TÜBİTAK.
- Trigo, R., M., Pereira, J., M., C., Pereira, M., G., Mota, B., Calado, T., J., Dacamara, C., C. ve Santo, F., E., 2006. Atmospheric Conditions Associated with the Exceptional Fire Season of 2003 in Portugal, International Journal of Climatology, 26, 13, 1741-1757.
- Turner, J., A. ve Lawson, B., D., 1978. Weather in the Canadian Forest Fire Danger Rating System. A User Guide to National Standards and Practices, Information Report BC-X-177, Victoria, BC, 40 s.
- Tymstra, C., B., Wotton, B., M., Taylor, S., W., Armitage, O., B., 2010. Development and Structure of Prometheus: the Canadian Wildland Fire Growth Simulation Model, Canadian Forest Service Northern Forestry Centre, 102 s.
- URL-1, <http://forest.jrc.ec.europa.eu/effis/applications/current-situation/>. 10/11/2018.
- URL-2, <http://gwis.jrc.ec.europa.eu/>. 09/10/2018.
- URL-3, <https://www.wfas.net/nfdrs2016/index.php/en/nfdrs2016>. 09/10/2018.
- URL-4, tfwi.ktu.edu.tr. 09/10/2018.
- URL-5, www.wunderground.com. 09/10/2018.
- URL-6, <http://www.ktu.edu.tr/ormankoruma-toytos>. 09/10/2018.
- Usta, Y., 2018. Normal Kapalı Kızılcım Meşcerelerinde Ölü Örtü Nem Dinamikleri, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Van Nest, T., A. ve Alexander M., E., 1999. Systems For Rating Fire Danger and Predicting Fire Behavior Used in Canada, National Interagency Fire Behavior Workshop, March 1-5, 1999, Phoenix, Arizona, 1-13.
- Van Wagner, C., E., 1969. A Simple Fire - Growth Model, Forestry Chronicle, 45, 103 - 104.
- Van Wagner, C., E., 1974. Structure of The Canadian Forest Fire Weather Index, Ottawa, Ontario 12 s.

- Van Wagner, C., E., 1987a. Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System, Canadian Forestry Service, Ottawa, Ontario, 35 s.
- Van Wagner, C., E., 1987b. A Moisture Content Model for Medium-Sized Logging Slash, Ninth Conference on Fire and Forest Meteorology, October, California, USA, 13 s.
- Van Wagner, C., E., 1993. Prediction of Crown Fire Behavior in Two Stands of Jack Pine, Canadian Journal of Forest Research, 23, 3, 442-449.
- Van Wagner, C., E., 1998. Modelling Logic and The Canadian Forest Fire Behavior Prediction System, Forestry Chronicle, 74, 1, 50-52.
- Van Wagner, C., E. ve Pickett, T., L., 1985. Equations and FORTRAN Program for the Canadian Forest Fire Weather Index, FTR-35, Canadian Forestry Service, Chalk River, Ontario, 3-11.
- Van Wilgen, B., W. ve Burgan, R., E., 1984. Adaptation of The United States Fire Danger Rating System to Fynbos Conditions, Part II, Historic Fire Danger in the Fynbos Biome, South African Forestry Journal, 129, 66-78.
- Venevsky, S., Thonicke, K., Sitch, S. ve Cramer, W., 2002. Simulating Fire Regimes in Human-Dominated Ecosystems: Iberian Peninsula Case Study, Global Change Biology, 8, 10, 984-998.
- Vieagas, D., X., Sol, B., Bovio, G., Nosenzo, A. ve Ferreira, A. (1994, November 17–21). Comparative Study of Various Methods of Fire Danger Evaluation in Southern Europe. Paper presented at the II. International Conference on Forest Fire Research, November, Coimbra, Portugal, 42-49.
- Viegas, D., X., Bovio, G., Ferreira, A., Nosenzo, A. ve Sol, B., 1999. Comparative Study Of Various Methods Of Fire Danger Evaluation in Southern Europe, International Journal of Wildland Fire, 9, 4, 235-246.
- White, R., A. ve Rush, M., F., 1990. The Jiagedaqui Fire Management Project (Jiapro): An Example of International Assistance, Northern Forestry Centre Forestry Canada, Edmonton, AB, 287–296.
- Willis, C., Wilgen, V., W., Tolhurst, K., Everson, C., D'Abreton, P., Pero, L. ve Fleming, G., 2001. The Development of a National Fire Danger Rating System for South Africa, Environment and Forestry Technology CSIRO Water, 36-49.
- Wybo, J., L., Guarnieri, F. ve Richard, B., 1995. Forest-Fire Danger Assessment Methods and Decision-Support, Safety Science, 20, 1, 61-70.
- Xanthopoulos, G., 2007. Forest Fire Policy Scenarios As a Key Element Affecting the Occurrence and Characteristics of Fire Disasters, in Proceedings of the 4th International Wildland Fire Conference, October, Sevilla, Spain, 33-39.

Yıldırım, R., E., 2016. Acil Durum Birimlerinin CBS ile Vaka-Konum Analizi: Samsun Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun.



ÖZGEÇMİŞ

Orman Yüksek Mühendisi Kadir Alperen COŞKUNER, 13 Şubat 1988'de Bolu'da doğdu. İlköğretimi Muğla Atatürk İlköğretim Okulu, lise eğitimini ise Muğla Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2011 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Mühendisliği bölümünden dönem birincisi olarak mezun oldu. Eylül 2011'de Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Eylül 2011'de Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Entomolojisi ve Koruma Anabilim Dalına, Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı (ÖYP) ile Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2014 yılı ocak ayında "Yanan Alanların Rehabilitasyonu ve Yangına Dirençli Ormanların Tesisi Projelerinin (YARDOP) Değerlendirilmesi: Muğla-Gökova YARDOP Örneği" adlı yüksek lisans tezini tamamlayarak, Yüksek Mühendis unvanı almaya hak kazandı.

15 Ekim 2015 tarihinde Güney Kore'de düzenlenen 6. Uluslararası Orman Yangınları Konferansında gerçekleştirilen lisansüstü öğrenci tez yarışmasında finale kalarak, katılım desteği ile ödüllendirildi. Finale kalan 18 katılımcı arasından "Turkish Fire Weather Index System as an Early Warning System" isimli çalışması ile 3'lük derecesi elde etti.

Yüksek Lisans ve Doktora öğrenimi süresince bilim dalı ile ilgili konularda ele alınmış, 28 bildirisi ve 7 makalesi bulunan COŞKUNER, halen KTÜ Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Entomolojisi ve Koruma Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak görevine devam etmekte ve İngilizce bilmektedir.