

**NÜKLEER SANTRALLERDE YANGINDAN KORUNMANIN
ÖNEMİ VE COMPBRN III KODU KULLANILARAK TİPİK
BİR DİZEL JENERATÖR ODASINDA YANGININ
MODELLENMESİ**

**IMPORTANCE OF FIRE SAFETY IN NUCLEAR POWER
PLANTS AND MODELLING FIRE IN A GENERIC EDG
ROOM by COMPBRN III**

MİRAÇ BAHADIR ÖZTEMİZ

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

NÜKLEER ENERJİ Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2013

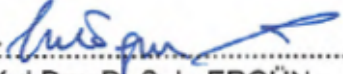
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **NÜKLEER ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan


Prof.Dr.Okan ZABUNOĞLU

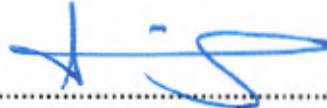
Üye (Danışman)


Yrd.Doç.Dr.Şule ERGÜN

Üye


Prof.Dr.Cemal Niyazi SÖKMEN

Üye


Prof.Dr.Füsün DEMİREL

Üye


Doç.Dr.Cemil KOCAR

ONAY

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri üyeleri tarafından 24/01/2013 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulunca tarihinde kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Fatma SEVİN DÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

NÜKLEER SANTRALLERDE YANGINDAN KORUNMANIN ÖNEMİ VE COMPBRN III KODU KULLANILARAK TİPİK BİR DİZEL JENERATÖR ODASINDA YANGININ MODELLENMESİ

Miraç Bahadır ÖZTEMİZ

ÖZ

Bu çalışma kapsamında Nükleer Güç Santrallerindeki (NGS) yangın güvenliği üzerinde durulmuş, yangına sebebiyet veren başlıca bileşenler anlatılarak, geçmişte NGS’lerde çıkan önemli yangınlar ve yangınların çıkma sebepleri incelenmiştir. Bu bağlamda NGS’lerde yapılması gereken Yangın Analizleri değerlendirilerek söz konusu analizler çerçevesinde gerçekleştirilen yangın modellemeleri ve geçmişten günümüze gelişim süreci değerlendirilmiştir. Tez kapsamında kullanılan modelleme kodu COMPBRN III ve kullandığı Sıcak Gaz Tabakası Modeli (SGTM) anlatılıp, oda yangınlarının temel özellikleri ele alınmıştır.

Uluslararası Ortaklaşa Yangın Modelleme Projesi (ICFMP) ve senaryo geliştirme süreci aktarılırken, seçilen COMPBRN III yangın modelleme kodu, bu projedeki deneyler uyarlanarak doğrulanmıştır. Nükleer güvenlik açısından NGS’lerde hayati önem taşıyan Acil Durum Dizel Jeneratörlere (EDG) ait yapısal bileşen ve sistemler tanıtılmış ve bina içindeki olası yangın bölgeleri ile içerdikleri yanıcı miktarları tipik bir Basıncılı Su Reaktörü (PWR) verileri kullanılarak verilmiştir.

Çalışmada oluşturulan yangın senaryosu için, geçmiş yıllara ait kaza istatistiklerinden faydalanılarak kablo yangınları seçilmiş, yangının çıktığı yer olarak da dizel jeneratör odası seçilmiştir.

Araştırma sonucunda dizel jeneratör odasında kablo yedekliliği ve rotalamanın doğru bir şekilde yapıldığında, oda içinde çıkacak bir yangının, jeneratör devamlılığına etki etmediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Nükleer Santrallerin Yangından Korunması, Yangın Güvenliği, Yangın Analizi, COMPBRN, Dizel Jeneratör

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Şule Ergün, Hacettepe Üniversitesi, Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümü

IMPORTANCE OF FIRE SAFETY IN NUCLEAR POWER PLANTS AND MODELLING FIRE IN A GENERIC EDG ROOM by COMPBRN III

Miraç Bahadır ÖZTEMİZ

ABSTRACT

This study emphasizes Nuclear Power Plant (NPP) fire safety, and discusses primary elements vulnerable to fire and fire accidents in NPP operation history including their causes. Fire Hazard Analysis, which has to be maintained on the design and operation phases of an NPP, is briefly addressed. Fire modeling; its evolution and standing in the literature are summed up, with respect to used approaches. Fire modeling code COMPBRN III, which is used in this study, and its Hot Gas Layer Model (HGLM) are also introduced while principal characteristics of room fires are discussed.

International Collaborative Fire Modeling Project (ICFMP) and its scenario development process are presented and COMPBRN III is validated by using the experiments of ICFMP. Structural elements and systems of Emergency Diesel Generators (EDG) are also introduced and their importance related to nuclear safety is mentioned. Potential Fire zones and combustible inventory they have are described using a generic Pressurized Water Reactor (PWR) data.

Cable fires are chosen using of fire events in history and fire scenario is adapted to an EDG room then fire modeling is performed.

As a conclusion of this study, when the redundancy and diversity principle is completely implemented on the cables of an EDG, a fire that breaks out on a cable tray would be insufficient to impact on the durability of EDG.

Keywords: Fire Protection of Nuclear Reactors, Fire safety, Fire Hazard Analysis, COMPBRN, EDG

Advisor: Assistant Prof. Dr. Sule ERGUN, Hacettepe University, Department of Nuclear Energy Engineering

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda bana danışmanlık yapmayı kabul edip, bu zorlu konuda bana cesaret olan, en karamsar anlarımda ışık tutan ve başarıya ulaşacak yollarda ben dahil birçok arkadaşımın önüne kırmızı halılar seren sayın Yrd.Doç.Dr. Şule Ergün'e hem kendi hem de diğer Nükleer Enerji Mühendisi arkadaşlarım adına teşekkür ederim.

Ve kendi akademik hayatıyla paralel geçen yoğun iş temposunda bana unuttuğum özgüveni hatırlatan, her türlü asabiyetimi çeken ve zorlu hayat patikasının keskin yamaçlarında bana omuz verip kolaylık sağlayan hayat arkadaşım, değerli eşim İrem Hanım'a özverisinden dolayı en derin şükranlarımı bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZ	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLOLAR.....	vii
KISALTMALAR	viii
1 GİRİŞ	1
1.1 Kapsam.....	2
1.2 Tezin Yapısı.....	2
2 LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ	4
2.1.1 Deneysel Çalışmalar	4
2.1.2 Korelasyon ve Modeller.....	6
3 NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİ VE YANGIN GÜVENLİĞİ	8
3.1 NGS'lerde Başlıca Yangın Çıkan Bileşenler	8
3.2 Geçmişte Nükleer Güç Santrallerinde Çıkan Önemli Yangınlar	9
3.2.1 Kablo Kaynaklı Çıkan Yangınlar	10
3.2.2 Kablo Kaynaklı Olmayan Diğer Yangınlar.....	16
4 YANGIN ANALİZLERİ VE BÜYÜME MODELLERİ.....	23
4.1 Yangın Modeli Yaklaşımları	28
4.1.1 Bölge Modelleri	29
4.1.2 Alan Modelleri	31
4.1.3 Kontrol Hacmi Modelleri.....	32
4.2 Çalışma Kapsamında Seçilen Model Türü ve Kod	33
4.3 COMPBRN ve Sıcak Gaz Tabakası Modeli (SGTM).....	35
4.3.1 Çözüm Metodu	35
4.3.3 Oda Yangınının Temel Özellikleri	41
4.3.3.1 Kütle Aktarım Modeli.....	43
4.3.3.2 Isıl Aktarım Modelleri	48
5 KOD DOĞRULANMASI.....	50
5.1 Uluslararası İşbirliğine Dayalı Yangın Modelleme Projesi	50
5.2 Senaryo Geliştirme İşlemi.....	50
5.3 Değerlendirme Çalışmalarının Tasarımı	51
5.4 COMPBRN III Uyarlaması	53
5.5 Sonuç.....	57
6 DİZEL JENERATÖR BİNALARI VE YANGIN	59
6.1 Dizel Jeneratör Binası	60
6.1.1 Yapısal Bileşen ve Sistemler.....	60
6.1.2 Bina İçindeki Yangın Bölgeleri.....	62

7	COMPBRN MODELLEMESİ	65
7.1	Senaryo A	67
7.2	Senaryo B	68
7.3	Senaryo C	69
8	SONUÇ VE TARTIŞMA	71
	KAYNAKLAR DİZİNİ	73
	EKLER DİZİNİ	79
	EK A: COMPBRN III için girdi hazırlanması	79
	EK B: Program Akışı	89
	EK C: ICFMP Uyarlaması	92
	EK D: COMPBRN Dizel Jeneratör Oda Modellemesi	94
	EK E: Diğer Yangınlar	96
	EK F: ICFMP Deney Uyarlaması	99
	ÖZGEÇMİŞ	100

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 4-1: Bölge Modeli Yaklaşımı [60]	29
Şekil 4-2: Alan Modeli Yaklaşımı [60]	31
Şekil 4-3: Örnek Kontrol Hacmi Yaklaşımı [60].....	33
Şekil 4-4: Program Akışı	40
Şekil 4-5: İki Bölge Modelli Oda Yangını [80]	42
Şekil 4-6: SGTm Özellikleri [80].....	47
Şekil 5-1: Uyarlama I	54
Şekil 5-2: Uyarlama II	55
Şekil 5-3: Uyarlama III	56
Şekil 5-4: ICFMP, Değerlendirme 1, hesaplanan hedef yüzey sıcaklık eğrileri	58
Şekil 6-1: Dizel Jeneratör Binası	60
Şekil 7-1: Senaryo A.....	67
Şekil 7-2: Senaryo B.....	68
Şekil 7-3: Senaryo C	69
Şekil 15: Program Akışı [80]	89
Şekil 16: HGL Sıcaklıkları	99

TABLULAR

Sayfa

Tablo 3-1: Kablo kaynaklı çıkan yangınlar	10
Tablo 3-2: ONTIKA'ya göre yangın sebepleri	20
Tablo 3-3: Teknik Toplantılarda Değınilen Kazalar	21
Tablo 3-4: XXI.yy'da gerçekleşmiş yangın kaynaklı kazalar	22
Tablo 7-1: Modelleme Senaryoları	70

KISALTMALAR

ANI	American Nuclear Insurers (Amerikan Nükleer Sigortacıları)
BRI	Building Research Institute (Yapı Araştırmaları Enstitüsü)
CSTB	Fransa Yapı Araştırmaları Merkezi
FDS	Fire Dynamics Simulator (Yangın Dinamiği Benzeştiricisi)
FHA	Fire Hazard Analysis (Yangın Analizi)
HMS	Hazard Mapping System (Risk Haritalama Sistemi)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik Elektronik Mühendisler Enstitüsü)
IITRI	Illinois Technology and Research Institute (Illinois Teknoloji ve Araştırma Enstitüsü)
INES	International Nuclear Event Scale (Uluslararası Nükleer Kaza Ölçeği)
LWR	Light Water Reactor (Hafif Sulu Reaktör)
NGAR	Nihai Güvenlik Analiz Raporu
NGS	Nükleer Güç Santrali
NIST	National Institute of Standards and Technology (Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü)
ONTIKA	Finlandiya Ulusal Kaza Veritabanı
ÖGAR	Ön Güvenlik Analiz Raporu
PRA	Probabilistic Risk Assessment (Olasılıklı Risk Değerlendirmesi)
PWR	Pressurized Water Reactor (Basıncılı Su Reaktörü)
SFPE	Society of Fire Protection Engineers (Yangından Korunma Mühendisleri Birliği)
SGT	Sıcak Gaz Tabakası
SGTM	Sıcak Gaz Tabakası Modeli
USNRC, NRC	U.S. Nuclear Regulatory Commission (ABD Nükleer Düzenleme Komisyonu)

1 GİRİŞ

NGS'lerde geçmişte meydana gelen yangınlardan edinilen işletim tecrübeleri ve yangın güvenliği değerlendirmeleri yangın ve patlamaların NGS güvenliği üzerinde azımsanamayacak etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Bir NGS'de yangın çıkma ihtimali her zaman devam ettiğinden, tasarım aşamasından işletilmesine ve işletmeden çıkarılmasına kadar geçen işletme ömrü boyunca NGS'lerin yangından korunması oldukça önemlidir [1].

NGS'lerin yangından korunması kapsamında, reaktör işletme lisansı başvurusu ile birlikte, nükleer güvenliği etkileyebilecek yangınları hedef alan Yangın Analizlerini de içeren detaylı bir Yangından Korunma Programı ilgili lisans onayını almak üzere kurucu tarafından nükleer düzenleyici kuruluşlara sunulan belgelerden biridir.

Bilindiği üzere yakın zamanda Japonya'da gerçekleşen deprem ve depremi takip eden tsunami dalgaları bölgede bulunan NGS'lerden Fukushima Daiichi NGS'sinin dış şebeke ile bağlantısının kesilmesine ve dizel jeneratörlerin işlevini kaybetmesine neden olmuştur. Kaza durumlarında bile santralin nükleer güvenliğe etkileyen kısımlarının temel işlevlerini gerçekleştirebilmelerini sağlayacak dizel jeneratörler ve bataryalar, bu olaylar sonucunda reaktörü soğutmada yetersiz kalmıştır. Çalışmayan dizel jeneratörler ve sahada bulunan bataryalar, deprem nedeniyle durdurulan reaktördeki artık ısının çekilmesini ve kullanılmış yakıtların soğutulmasını sağlayacak sistemlerin, sadece belirli bir süre çalışmalarına olanak tanıyabilmişler, ancak bataryaların tükenmesi sonucu reaktör soğutulamaz hale gelmiştir. Neticede saha içi güç sağlayan sistemlerden dizel jeneratörler ile bataryaların ve saha dışı gücü sağlayan şebeke elektriğine erişilemediği, "santral kararması" adı verilen durum yaşanmıştır. Bu kaza, günümüzde bir NGS'de nükleer güvenlik önlemleri ne kadar üst düzeyde olursa olsun, dizel jeneratörlerin devre dışı kalmasının nükleer güvenliği ciddi bir şekilde sekteye uğratabileceğini göstermiştir.

Bahsi geçen dizel jeneratörler nükleer güvenliği doğrudan etkilemese de, arızalanmaları ya da kaybedilmeleri halinde acil durum soğutma sistemlerinin devreye girmesini etkilerler. Bir otomobil için el freni ne ise, bir dizel jeneratör de NGS için odur. "Omuz omuza" sistemler olarak isimlendirilebilecek olan bu

güvenlik araçları, diğer sistemlerde nükleer güvenliği etkileyecek bir sorun olduğunda devreye girmek üzere tasarlanmışlardır.

1.1 Kapsam

Bu çalışmada NGS'lere yönelik Yangın Analizlerinin gerçekleştirilmeleri için olgunlaşan şartlar ve geçmişte çıkan yangınların etkileri değerlendirilmiş, alınan dersler çerçevesinde yapılan iyileştirmelere ve yangın analizleri sırasında kullanılan modellemelerin önemine dikkat çekilmiştir. Çalışma kapsamında bir yangın modelleme programı olan COMBURN III kodu kullanılıp, nükleer santrallerde istatistiksel açıdan en büyük yangın kaynağı olan kablo kanalları üzerinde durulmuştur [2,3]. Kablo kanallarının teçhiz edildiği NGS bileşeni olarak da, geçmişteki birçok yangın düşünüldüğünde, öneminin sadece ihtiyaç duyulduğu anlarda ciddi şekilde hissedildiği dizel jeneratörlerin bulunduğu bina seçilmiştir. Dizel jeneratör binasında bulunan kablo kanallarında kısa devre kaynaklı çıkabilecek bir yangının, jeneratör çalışmasına etkisi ve yine aynı binada bulunan günlük yakıt tanklarına sıçrayıp sıçramadığı çalışmada mercek altına alınmıştır. Yangının söndürülmesinde görev alan otomasyon sistemlerine gerekli parametreleri sağlayan güç, iletişim ve güvenlik kablolarının tasarımlarındaki yedeklilik, farklılık ve rotalama gibi özelliklerinin yangın modellemesindeki ciddi rolü ortaya konulmuştur. Bu kablolardan yangın sırasında tasarımları gereğince yedeklilik, farklılık ve rotalama gibi özelliklerini koruyarak ait oldukları bileşenlerin görevlerini aksatmamaları, yangının başka bileşenlere yayılmasına olanak tanımamaları beklenmektedir. Ayrıca yangın çıkmasındaki tetikleyici nedenlerden biri olan yağlama sistemleri de göz önüne alınmış, tasarımda yapılacak iyileştirmeler ile bu sistemlerde gerçekleşebilecek olası sızıntıların önüne geçilebileceği varsayılmıştır. Bu kapsamda; NGS'ler her türlü kazaya karşı önlem zinciri içinde olsalar da, zafiyet gösteren bileşenlerinden birinde çıkabilecek bir yangının, diğer tüm tehlikelerin ortaya çıkma olasılığını artıracığı vurgulanmıştır.

1.2 Tezin Yapısı

Çalışmada ilk olarak, Giriş kısmının ardından, Yangın Güvenliği konusunda literatür değerlendirmesi yapılmış, tarihsel süreçte uzanan çalışma ve araştırmalar hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Literatür değerlendirmesi Deneysel Çalışmalar ile Korelasyon ve Modeller olarak iki kısımda gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın üçüncü kısmında NGS'lerde yangından korunmanın önemine değinilmiş, yangın nedeniyle reaktörün güvenliğini tehdit edebilecek başlıca bileşenlerden bahsedilmiştir. Ardından geçmişten günümüze yangın kaynaklı gelişen önemli kazalar üzerinde durulup, NGS'lerde yangının etkisinin altı çizilmiştir.

Tezin dördüncü kısmında, NGS'lerde hem Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA), hem de ulusal mevzuatlar kapsamında yapılması şart koşulan Yangın Analizleri ve bu analizlere nasıl hazırlandığı bilgisi verilirken, ilgili literatürde bu alanda yapılan çalışmalara değinilmiştir. Yangın Analizlerinin gerçekleştirilirken ihtiyaç duyduğu Yangın Modelleri kullandıkları yaklaşımlara göre tanıtılmış, tez kapsamında seçilen COMPBRN kodu, çözüm metodu ve analiz uygulamaları irdelenmiştir.

Bu alanda çalışılan ve halen geliştirilen projelerden Uluslararası İşbirliğine Dayalı Yangın Modelleme Projesi (ICFMP) hakkında tezin beşinci kısmında bilgiler verilmiş, bu projede gerçekleştirilmiş bir deney COMPBRN III koduna uyarlanıp, kod doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Aynı şekilde bu uyarlama öncesinde yapılan hazırlıklar üzerinde durulurken, ilgili girdi dosyasının hazırlanması, EK C: ICFMP Uyarlaması altında verilmiştir. Ayrıca modelleme ve benzeşimler dışında, ICFMP kapsamında bir odada gerçekleştirilen 3 numaralı deneyin de COMPBRNIII koduna uyarlaması yapılmış ve ortaya çıkan sonuçlar EK F: ICFMP kısmında verilmiştir.

Altıncı kısımda tez kapsamında seçilen modellemenin senaryosunu oluşturan ve yangın analizi yapılan bölge, yani dizel jeneratör binası hakkında gerekli bilgiler sunulmuştur. Bu bilgiler ışığında belirli bir santral için hazırlanan değil de genel tasarım özelliklerini betimleyen Güvenlik Analiz Raporları kullanılmıştır. Bina içindeki yangın bölgeleri, yapı – sistem ve bileşenler mercek altına alınmıştır. Analiz öncesinde yangın bölgesinin nasıl modelleneceği anlatılmıştır.

Yedinci kısımda ise oluşturulan 3 farklı senaryoda, dizel jeneratör binasındaki havalandırma odasının yangın karşısındaki davranışı değerlendirilip, zafiyetleri ortaya konulmuş ve sonuçlara yer verilmiştir.

2 LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ

Geçtiğimiz 40 yıl boyunca hücre yangınları üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar paralelinde, ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü tarafından ileri derece hücre yangınları konusunda teorik ve deneysel çalışmalara yönelik bir doküman oluşturulmuştur [20]. Bu doküman, geçmişte yapılan çalışmaları deneysel ve korelasyon – model çalışmaları olmak üzere ikiye ayırmaktadır.

2.1.1 Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalar 1928 yılında Binalardaki Yangınların Ciddiyet Testleri ile başlamış, ileri derece hücre yangınları için o zamandan bu zamana birçok deneysel veri elde edilmiştir [21]. Bu alandaki öncülerden olan Kawagoe, havalandırmanın hücre yangınlarına etkisini çalışmış ve küçük boşluklu ileri derece hücre yangınlarında, havalandırma parametresi $A_0\sqrt{H_0}$ ile yanma oranı arasındaki ilişkiyi kullanan ilk kişi olmuştur [22,23]. Gross üç farklı büyüklükteki bir ortamda bulunan yanıcı bir fiber levha üzerinde çalışma yapmış ve kütledeki azalma hızının havalandırma parametresi $A_0\sqrt{H_0}$ ile doğru orantılı olduğunu gözlemlemiştir [24].

Thomas ve Heselden, 1958 yılında sekiz farklı laboratuvar tarafından gerçekleştirilen, tekli hücrelerdeki ileri derece yangınlar üzerinde oluşturulan işletimsel test programının sonuçlarını kapsamlı bir şekilde analiz etmiştir [25,26]. Bu testlerde odun kalaslarının yanmasına dair yapılan çalışma neticesinde, geniş menzilli hücre şekilleri ölçülmüştür. Ortalama yanma oranı, ortalama ısınım miktarı ve hücre ile yakıtın ortalama gaz sıcaklıkları arasındaki çeşitli ilişkiler deneysel olarak sunulmuştur. Yakıt kütlesindeki kayıp hızı $\dot{m} / A_0\sqrt{H_0}$ olarak verilmiştir. Bu alandaki birçok deneyde modellerdeki çeşitli katsayılara ulaşılmaya ve iyileştirilmeye çalışılmıştır [23, 27]. Bazı çalışmalar havalandırmanın dahil olduğu kapalı hücre yangınlarındaki yanma oranlarının, odadaki havalandırma ya da pencere boşluğu arttıkça ciddi miktarlarda değiştiğini göstermiştir [28,29,30].

Hücre içindeki odun kalası yangınlarının kapsamlı bir şekilde değerlendiren [31,32] Harmathy, deneylerinden birinde [33] havalandırma parametresinin farklı bir formunu kullanmış, daha sonra yakıt alanı ile normalize edip bu sayede yakıt akışı için müsait olan hava akış hızının oranını tanımlamıştır. Önceki deneylerden

edindiği verileri kullanarak yanma hızının iki ayrı rejimini ortaya koymuştur. Bu iki rejim yakıt yatağı kontrollü rejim ve havalandırma kontrollü rejim olarak bilinmektedir. Ayrıca çalışmalarında havalandırma kontrollü rejimlerinde yanmanın, hücrenin şekline ve boyutlarına bağlı olduğunun altını çizmiştir. Önceki çalışmalarına ek olarak, kömürleşen malzemelerin hava akımı arttığı müddetçe azami yanma hızlarına kadar çıkarken, kömürleşmeyen yakıtların havalandırma seviyesinden neredeyse tamamen bağımsız olduğunu göstermiştir [34].

Santo ve Delichatsios tarafından gerçekleştirilen propan havuzu yangın deneyleri ise bozulmuş hava deposunun alev ışınlamını önemli miktarlarda azalttığını ortaya koyarken, bu olayın alt kademe ısı değişimsiz alev sıcaklığına sebep olan duman oluşumundaki azalma sebebiyle gerçekleşebileceğini de belirtmişlerdir [35].

Tewarson plastik ve sıvı havuz yangınları için alevdeki ışınlımsal ısı akışının oksijen konsantrasyonu ile doğru orantılı olduğunu söylemiştir [36].

Peatross ve Beyler, havalandırmanın hücre yangını davranışındaki etkisine erişmek için doğal ve aşırı cebri havalandırmalar ile tam ölçekli hücre yangını deneylerini gerçekleştirmişlerdir [37]. Dizel yakıt, odun kalasları ve poliüretan levhalardan oluşan yakıt setleriyle tüm cebri havalandırma deneylerinde iyi bir oksijen konsantrasyonu karışımı elde etmişlerdir. Ayrıca alev tabanında azaltılmış oksijen konsantrasyonunun yakıt kütlesinin tükenme hızında bir azalmaya sebep olduğunu ve aralarındaki lineer ilişkiyi gözlemlemişlerdir.

Fleischann ve Parkes tarafından gerçekleştirilen 20 cm çapında heptan havuzu yangını deneyinde hacmin miktarı ayarlanarak havalandırma ile oynanmıştır. Isıl geri beslenimin iyileştirilmesi neticesinde kütle kayıp hızının serbest yanmaya oranla 7 kat daha fazla olduğu rapor edilmiştir [38]. Bozulmuş oksijen etkisinin dahil edilmediği tekli bölge modeli COMPF2 [39] yaklaşımı ile öngörüler belirlenmiş ve deneylerle karşılaştırma yapılmıştır. Öngörüler deneylere nazaran daha düşük gaz sıcaklıkları ortaya koymuştur. Karşılaştırmadaki çelişkinin model tarafından dikkate alınmayan oksijen bozulma etkisinden kaynaklandığı düşünölmüştür.

İki farklı havalandırma boşluğu için yapılan deneyde ise çapraz havalandırmanın gaz sıcaklığı ve yakıt kütlesi kaybı hızındaki etkisi değerlendirilmiştir [40]. Deneyde

büyük boyutlu yangınlar için çapraz havalandırma şartlarının tekil havalandırmaya nazaran daha yüksek sıcaklığa sebebiyet vereceği ortaya konmuştur.

ABD, Maryland Üniversitesinde gerçekleştirilen çalışmalarda, çeşitli çaptaki kaplar içinde 40 cm küp şeklindeki hücrelerde yanan heptan deneyleri üzerinde analizler yapılmıştır. Wakatsuki tekli tavan menfezlerini [41], Ringwelski duvarın tepesinde ve aşağısında bulunan eşit alanlı menfezleri [42], Rangwala duvardaki menfez durumunu bir bölge modeli için çalışmıştır [43]. Bunlara ek olarak Utiskul havalandırma etkilerine odaklanmış ve özellikle düşük havalandırmaya sahip heptan havuzu yangınları üzerinde durmuş, duvar koşulunu ilave aletler ile incelemiştir [44]. Bu deneyde ise Yangın Dinamiği Benzeştiricisi (FDS) kullanılarak kötü havalandırma koşulları altındaki hücre yangın dinamikleri karakterize edilmiştir [45, 46].

Tam ölçekli deneysel programların bazıları ise ICFMP kapsamında yangın modelleme için Benchmark değerlendirme serileri olarak kullanılmıştır. 4 adet tam ölçekli test serisi [47-50] gerçekleştirilmiştir.

2.1.2 Korelasyon ve Modeller

Kawagoe ve Sekine sabit hızlı ısı salımına sahip havalandırma kontrollü yangınlarda kullanılabilecek hücre yangınlarında sıcaklık – zaman eğrilerini hesaplamıştır [23]. Lie ise Kawagoe'nin hesapladığı sıcaklık – zaman eğrilerine uyan bir parametrik açıklama ortaya koymuştur [51]. McCaffrey, Quintiere ve Harkleroa hücrede parlama öncesi üst tabaka gaz sıcaklığını ön gören bir yöntemi çalışmalarında kullanmışlardır [52]. Bu yöntem daha sonra baş harflerinden yola çıkarak “*MQH korelasyonları*” olarak adlandırılmış ve basit enerji dengesine dayandırılmıştır. Bu korelasyonlar, yakıtların zeminin ortasında bulunduğu, 0.3 m ile 3 m arasındaki yüksekliklerdeki hücre yangınları için büyük bir veri tabanı kullanılarak geliştirilmiştir. Ayrıca bazı temel varsayımlarla enerjinin duvarlara ve menfezlere kaybını kestirmede işe yaramıştır. Birçok farklı kaynak ve araştırmacı tarafından ise çeşitli parametrik yöntem ve sıcaklık korelasyonları geliştirilmiştir. Bunlar; Eurocode [53], Tanaka [54], Magnusson ve Thelandersson [55], Harmathy [31], Babrauskas [39], Law [56] ve benzeri çalışmalarda bulunmaktadır. SFPE tarafından yayınlanan “Yapısal Bileşenlerin Yangından Etkilenmesi Kılavuzu” kapsamında bu korelasyonların kapsamlı bir özeti bulunmaktadır [57]. Ama bu

korelasyonlar yakıtın ısı geri beslenime ve bozulmuş oksijene olan tepkisini içermemektedir.

Tek bölge modeller ilk olarak 60'lı yıllarda geliştirilmiş, alev alma sonrası yangın safhasını modelleme maksadı taşımışlardır. Çift bölge modelleri ise hücre yangınlarını çözecek uygulamalar için 70'li yıllarda ortaya çıkmışlardır. Harvard Yangın Departmanı, NIST, BRI, IITRI, CSTB gibi birçok grup bu gelişmede pay sahibidir [20]. Neredeyse tüm durumlar için bu kodlar yangınları geniş hatlarıyla oda gazları ve yangın sütunundan oluşan homojen üst ve alt tabakaları şeklinde tanımlamaktadırlar.

Yangın modelleri hakkında başka bir rapor Friedman [58] tarafından yayınlanmış ve Olenick ve Carpenter [59] tarafından güncellenmiştir. Friedman ayrıca yangın modellerini özelleştirecek bazı yenilikler getirmiş ve daha gerçekçi yangın modellemeleri için bozulmuş oksijen ve ısı geri beslenime yakıt tepkisinin eklenmesi gerektiğini belirtmiştir.

Deneysel çalışmalar ile Korelasyon ve Modeller olarak gerçekleştirilen literatür değerlendirmesi sırasında geçmişte çıkan yangınlara ait tecrübelerin, yangın kodları ile yapılan analizlerin gelişim sürecinde ne denli etkili olduğu gözlenirken, ülkelerin yangın arşivlerinden en fazla faydayı elde etmeye çalıştıkları görülmüştür. Dolayısıyla ülkemizde de yangınlardan elde edinilen tecrübelerin aktarıldığı yangın arşivlerinin koşulsuz ihtiyaç olduğu düşünülmüştür.

Ülkemizde doktora tezi olarak sunulan bir çalışmada Altındaş [93], kapalı hacim özelliklerinin yangının şiddeti üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde analitik bir yöntem izlemiş, yangın şiddetine ve güvenli boşaltım sürelerine ait sayısal eşitlikler ile *OZone* bilgisayar modelini kullanmıştır. Modelin kapalı hacimlerden oluşan barınma, konaklama, kurumsal ve büro binalarında uygulanması amaçlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında ise, NGS'lerde yangın modellemesi gerçekleştirilmek üzere tasarlanmış ve NRC tarafından onay görmüş, geçmiş yangın tecrübeleri ışığında doğruluğu kabul edilmiş bir kod olan COMPBRN kodu kullanılmıştır.

3 NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİ VE YANGIN GÜVENLİĞİ

UAEA yayınlarında ve yapılan ülkeler arası çalışmalarda, yangın güvenliği değerlendirmeleri ile yangın güvenliği gözden geçirmelerinin, yangın analizlerinin başarılı olmasında oldukça önemli oldukları belirtilmiştir [4,5].

Yangınlardan edinilen deneyimlerin analiz edilebilmesi için yangın güvenliği gözden geçirmeleri ve değerlendirmeleri hakkındaki yayınlardan yola çıkılarak bu analizlerin başarılı olması için yakalanması gereken hedefler;

- ✓ İşletilen tesislerde güvenlik gözden geçirme prosedürlerinin yürürlüğe konması
- ✓ Tasarım ve işletim sırasında yangın güvenliği konularında periyodik olarak güvenlik gözden geçirmelerinin gerçekleştirilmesi
- ✓ Var olan ya da yeni tesislerin yangın güvenliği açısından daha iyi niteliklere sahip olmaları adına olasılıklı yangın analizlerinin desteklenmesi ve güvenlik gelişimi konularına öncelik verilmesi

şeklinde sıralanabilir.

Bahsi geçen hedeflere ulaşmak için dünya çapında, işletimde ya da tasarım aşamasında olan santrallerden elde edilebilecek ilgili deneyim ve yeni olayların tutulduğu bir veri tabanı, yangın uzmanlarının var olan ve planlanan tesisler üzerinde yapacakları tavsiyeleri güçlendirecek, istatistikî kapsamda daha olgun değerlendirmeler yapmalarına olanak sağlayacaktır [6].

3.1 NGS'lerde Başlıca Yangın Çıkan Bileşenler

ABD Nükleer Düzenleme Komisyonu (NRC) ve Amerikan Nükleer Sigortacılar Organizasyonu (ANI) tarafından hazırlanan raporlarda belirtildiği üzere 1955-1978 tarihleri arasında Hafif Sulu Reaktörler (LWR) 'de yaklaşık 37 adet raporlanmış yangın ortaya çıkmışken [3], 1978-1982 yılları arasında bu rakam 74'e ulaşmıştır [2]. Raporlanan bu yangınlardan ilk dönemde 10, ikinci dönemde ise 14'ü dizel jeneratör binasında gerçekleşmiştir.

Bu raporlar ve ülkelerin yangın güvenliği konusundaki tecrübeleri, yangın çıkma riski olan bölgelerin, işlevlerinden daha çok kapsadığı malzemeler yüzünden bu riske sahip olduğunu göstermiştir.

Yangın başlatıcı malzemenin sahip olduğu risk değeri, yangının sıçradığı malzemenin yangını sürdürebilirliği, devam eden süreçte bölgesel yayılım, nükleer güvenliği doğrudan ya da dolaylı etkileyebilecek sistemlere ulaşma süresi ve bu sistemlere ulaşan kabloların yapısal dayanıklılığı gibi konular ile geçmiş dönem tecrübelerine dayanarak hazırlanan raporlar göz önünde bulundurularak;

- ◆ Kabloların yangına dayanıklılık seviyeleri ve tabi oldukları standartlar
- ◆ Fiziksel yedeklilik
- ◆ İletim hatlarındaki çeşitlilik (rotalama)

gibi faktörler yangın analizlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca;

- ◆ Tesis türü
- ◆ Tesisin durumu
- ◆ Yangın derecesi
- ◆ Başlatıcı bileşen
- ◆ Yangın bölgesi
- ◆ Yangın sebebi
- ◆ Algılama yöntemi
- ◆ Söndürme yöntemi
- ◆ Söndürücü madde

gibi derecelendirmeler ile somut verilerin bu analizler için elde edilmesi sonucunda zafiyet gösteren yer ve bileşenler ortaya konulmaktadır.

Analizlerin çoğunda uzmanlar kabloların yedeklilik prensibini göz önünde bulundurarak, bir ya da bir kaçının arıza vermesi ve/veya yanması durumunda, santrallerin güvenlik sistemlerinin sürdürebilirliğini sorgulamışlardır.

3.2 Geçmişte Nükleer Güç Santrallerinde Çıkan Önemli Yangınlar

Tezin bu kısmında NGS'lerde geçmişte çıkmış belli başlı yangınlar anlatılmıştır.

3.2.1 Kablo Kaynaklı Çıkan Yangınlar

NGS'lerden edinilen uluslararası deneyimler neticesinde kablo kaynaklı yangınların nükleer güvenliği ciddi ölçülerde tehdit ettiği görülmüştür [7]. Kablo kaynaklı çıkan yangınlardan en çok iz bırakanları Tablo 3-1'de özetlenmiştir.

Tablo 3-1: Kablo kaynaklı çıkan yangınlar

Etkilenen Tesis Ünitesi	Olay Tarihi	Yangın Türü
San Onofre, ünite 1 (ABD)	12.03.1968	Kablo tasarım boyutundaki değişiklik nedeniyle kablolarda kendiliğinden tutuşma
Brown's Ferry, ünite 1 ve 2 (ABD)	22.03.1975	İnsan kaynaklı kablo yangını
Greifswald, ünite 1 (Almanya, DDR)	07.12.1975	Ana şalterde ve kablolarda çıkan yangın
Beloyarsk, ünite 2 (Rusya, SSCB)	31.12.1978	Türbin binasında kablolarda çıkan yangının diğer tesis alanlarına yayılması yedekli ekipmanlarda ciddi hasara sebebiyet vermiştir
Güney Ukrayna, ünite 2 (Ukrayna, SSCB)	14.12.1984	Korunak binasında çıkan kablo yangını çeşitli bölgelere yayılmıştır
Zaporoshye, ünite 1 (Ukrayna, SSCB)	27.01.1984	18 saat süren geniş çaplı kablo yangını farklı tesis alanlarında hasara sebep olmuştur
Kalinin, ünite1 (Rusya, SSCB)	18.12.1984	Türbin binasındaki bir güç kablosunda çıkan birden fazla başlatıcı yangın
Ignalina, ünite 2 (Litvanya, SSCB)	05.09.1988	Çeşitli kabloların hasar görmesine sebebiyet veren büyük kablo yangını
Waterford, ünite 3 (ABD)	10.06.1995	Dikey kablolar ve yangın bariyerleri üzerinden yatay kablo kanallarına yayılan ana şalter yangını

1968 San Onofre, ABD

Kaliforniya eyaleti, San Clemente Bölgesine yakın bir alanda kurulu, 436 MW(e) kapasiteli, Westinghouse Tipi Bir PWR olan San Onofre NGS'si, 1980 yılında tamamen kapatılmıştır [8].

Isıl ve mekanik olarak stres altında kalan kabloların üstüne üstlük 340 voltluk üç fazlı devrelerin her bir fazındaki hataları düzeltmek için tekil sigortalar ile kullanılması sonucunda yangın kaçınılmaz olmuştur. Ayrıca kabloların, tasarımdaki geçerli yükleri güncel kurulum koşullarında kaldırabilecek boyutların altında kaldığı da göze çarpmıştır.

Bir NGS'de kablo kaynaklı olarak çıkan ilk yangın olmasından dolayı San Onofre yangını, literatürde önemli bir olay olarak kabul edilmiştir. Yangın üç adet kablo kanalına sıçramış ve 5 metreye yakın kablo yanmasına sebep olmuştur. Bu olay nedeniyle yapılan araştırmalar endüstride kablo yeterliliklerinin hızlı bir şekilde araştırılmasına yönelik bir adım olmuş ve izin verilen akım şiddeti limitlerini belirleyen standartların ve kabloların alev alma davranışlarının geliştirilmesine olan ihtiyacın önemine dikkat çekilmiştir. Neticede kabloların izin verilen akım şiddeti standartları endüstride benimsenmiş ve uygulanmıştır. Alev alma standartları genel nükleer kablo yeterlilik standartları kapsamında, IEEE-383 içinde yer almıştır [9].

Kazada yangın kor soğutma kapasitesinin tamamının kaybolmasına, kor hasarına, herhangi bir radyasyon salımına ya da tesis personeli ile halkın yaralanmasına sebep olmamıştır.

1968 yılında çıkan bu yangın doğrultusunda yapılan değişiklikler, günümüz Olasılıklı Risk Analizlerinde tam olarak uygulanabilir durumda değildir. Bunun en büyük nedeni ise San Onofre santralının bazı açılardan günümüz koşullarındaki NGS'leri temsil etmemesidir. Bu kaza NGS'lerde kendiliğinden tutuşan kablo yangınlarının çıkabileceğini, büyüyüp ciddi sonuçlara sebebiyet verebileceğini göstermiştir. Olasılıklı Risk Analizlerinde kendiliğinden tutuşabilen kablo yangınlarının “kalifiye olmayan” kablolardan kaynaklı çıktığı ortak bir uygulama iken, bu tür yangınların IEEE-383 alev alma standartlarına sahip kablolarda çıkmasının mümkün olmadığı kabul edilmiştir. San Onofre kazasından sonra

ortaya çıkmış olan kendiliğinden tutuşmuş ciddi kablo yangınlarındaki herhangi bir zafiyet bu kabulleri desteklemektedir.

1975 Brown's Ferry, ABD

İki adet 2000 MW(e)'lık üniteden oluşan bu reaktörde, kontrol odasının hemen altından kablo dağıtım odası geçmektedir. İki üniteyi de kontrol eden kablolar, birbirlerinden ayrı ve farklı rotalara sahip tünellerle ünitelere ulaşmaktadır. Bu kazada ise, reaktör tam güçte çalışırken, kablolar arasındaki hava akımını kontrol eden iki teknisyen, kablolar arasında hava akımını engelleyen köpük kauçuğu yanlışlıkla tutuşturmuşlardır. Teknisyenlerin operatörleri zamanında uyaramamalarını takip eden hatalar zinciri de bu kazayı şekillendirmiştir. Bu kazada yangın ile başlayan olaylar silsilesi, reaktörün diğer güvenlik sistemlerindeki zafiyetlere sebep olduğu gibi, planlı bir yangından korunma programının olmadığını da ortaya koymuştur.

Kaza sonucunda alınabilecek tedbirler arasında yangın algılama, söndürme ve mücadelede izlenecek adımların geliştirilmesi, tek bir hatanın yol açabileceği kazaların analizleri ve yedeklilik ile üniteler arasındaki fiziksel ayrılığın, kablo rotalamanın sağlanması gelebilir. Ayrıca yapılan ilgili analizlerde insan faktörünün sonuca etkileyen parametrelerden birisi olduğu da göz önüne alınabilir.

Kazada yangınların Olasılıklı Risk Değerlendirmesi ile ön görülemeyecek durumlar da bulunmaktadır. Hali hazırda bu çalışma kapsamında olmasa da Olasılıklı Risk Analizleri, güvenliği etkileyen alanlara yaklaşan alevlerin geçerli tesis prosedürleri ile engellenebileceklerini varsaymamaktadır. Bunun dışında, daha önce de belirtildiği üzere insan faktörü bu analizlerde bir parametre değildir. Ayrıca manüel yangın söndürme çabalarının sonuçsuz kalması, reaktör binası yangınına su tedarik edilme sürecinin 7 saatlik bir gecikmeye uğraması, çoğu Olasılıklı Risk Analizinde algılanamayacak şekilde yapının yedekli kablolarla göre tasarlanmaması gibi konular olaylara tamamen olasılıklı analizler kapsamında bakmanın zafiyetlere sebep olacağını göstermiştir [10].

1975, Greifswald, Almanya

Greifswald Nükleer Güç Santrali, Sovyet tasarımına sahip olup Almanya'nın Baltık denizi kıyısında inşa edilmiştir. 5 adet VVER-440 tipi reaktörün ilk dört ünitesi birinci nesil V-230 tipi tasarımıdır. Şu an bu beş ünitenin tamamı işletmeden çıkarılmıştır.

1973 Aralık tarihinde işletmeye alınan 1.Ünitede bulunan 6kV'lık şalter odasında 1975 Aralık ayında bir yangın çıkmıştır. Yangın hakkındaki raporlardan birine göre [11], bir elektrik teknisyeninin hatasından dolayı kablolardan birkaç dakika boyunca geçen yüksek akım kısa devreye, devamında otomatik devre kesicilerin arızalanmasına yol açmıştır. Yangın 1.5 saate yakın sürmüş ve kabloların büyük bir kısmını tahrip etmiştir. Başka bir rapora göre, yangın hemen hemen bir santral kararmasına sebebiyet vermiştir [12]. Buharla çalışan soğutucu pompaların bulunmadığı tesiste, yangın nedeniyle tüm ünitelerin ana soğutucu pompalarında güç kaybı yaşanmıştır. Dolayısıyla tesis doğal devir daimle soğutulmuş ve reaktör soğutması için buhar üreticinin ikinci tarafındaki güvenlik vanaları boyunca buhar salımı gerçekleşmiştir. 4-5 saat sonra, ikinci kısımda bulunan su tükenmiş ve reaktör sıcaklığı ve basıncı yükselmeye başlamıştır. Bu durum basınçlandırıcı güvenlik vanalarının otomatik olarak açılmasına sebep olmuş, açılan vanaların düzgün bir şekilde tekrar kapanması mümkün olmamış reaktör soğutucusu kaybı yaşanmaya devam etmiştir ve olay soğutucu kaybı kazasına dönmüştür. Sonuç olarak reaktör basıncı alçalmış ve düşük basınç pompası girişinde alçak basınç noktasına ulaşılmıştır. Bu durum operatörlerin düşük basınç acil durum soğutma pompalarını devreye sokarak reaktöre soğutucu tedarik edebilmelerini sağlamıştır.

İkinci kısmın soğutulması, alternatif bir kaynaktan alınan yedek güç kablusunun direk olarak bir yardımcı besleme suyu pompasına iletilmesi ile sağlanmıştır. Eldeki raporlara göre kor hasarı yaşanmamış ve öngörülen limitler dahilinde, atmosfere radyoaktif madde salımı gerçekleşmiştir.

Bu kaza, Soğutucu Kaybı Kazasına sebebiyet veren tek yangın kazası olarak bilinmektedir. Raporlardan varılan kanıya göre kabloların yedekliliğindeki yetersizlik yangının boyutlarının bahsedilen aşamaya gelmesine neden olmuştur.

1984, Kalinin, Rusya

Her biri Sovyet VVER-1000 tipi reaktör olan 4 adet üniteden oluşan Kalinin Nükleer Güç Santralinde 1984 yılında türbin binasında çıkan yangın oldukça ciddi olarak değerlendirilmiştir. İki saate yakın bir sürece uzanan yangın, aşırı miktarda duman üretmiş, yangınla mücadele ekiplerinin zor şartlarda çalışmalarına sebep olmuştur. Yangının daha fazla büyümemesinde kontrol odası operatörlerinin zamanında yaptıkları müdahaleler de etkili olmuştur. Bu yangının ortaya koyduğu diğer bir durum ise, her zaman geniş alanlara yayılan ya da uzun süren yangınların ciddi sonuçlara sebep olmayacağı, bazen kritik noktalarda çıkan ufak çaplı ve kısa süreli yangınların da nükleer güvenliği etkileyebileceğidir.

Kazayla ilgili ilginç bir nokta ise, üç farklı yerde çıkan üç farklı yangının ortak sebepli olmasıdır. Bu üç farklı yer hizmet su pompası, elektrik mekanizması kabini ve bir 6 kV'lık kablodur. Ortak bağlantı ise hepsinin aynı elektrik devresi üzerinde bulunmasıdır. Üç yangından en ciddiisi türbin binasında çıkan, kendiliğinden tutuşan kablo yangınıdır. Kablo boyunca bir den fazla tutuşma olsa da, her biri türbin binası içinde kalmıştır. Kaza sonucunda görülmüştür ki yangınlar birbirlerinden bağımsız olarak gelişebilir ve bundan dolayı aynı anda gerçekleşme durumu çok da uzak değildir.

1995, Waterford, ABD

PWR tipi tasarıma sahip Waterford'da, 3.ünite sahadaki tek nükleer güç ünitesidir. Ana şalter odasında gerçekleşen ve çok ciddi olmayan kaza, güvenliği ilgilendiren işlevler üzerinde çok az bir etki bırakmıştır. Ana şalter yangınları bir NGS'de gerçekleşme ihtimali en yüksek yangınlardan biridir.

Kaza nedeniyle ilgilenilen noktalardan biri ana şalter kabinine ve kabin üzerindeki kablolar ne olduğudur. Üç kabinde ağır derecede hasar gerçekleşmiş ve dördüncü az miktarda hasara maruz kalmıştır. Dahası, yangın çelik panel üzerinden dikey kablo kanalına sıçramış, oradan 3 metre yukarıdaki başka bir dikey kanala ve 2,5 metre ötedeki bir yatay kanala gidene kadar herhangi bir yangın bariyeri tarafından engellenmemiştir. Kapalı elektrik panellerindeki dışarıya yayılma potansiyeli bu zamana kadar bu denli bir önem arz etmemiştir. Fakat bu kaza böyle bir ihtimalin varlığını açıkça ortaya koymuştur.

Değinilen ikinci nokta ise yangınla mücadelenin oldukça geç başlamasıdır. Gecikme nedeni olarak birbirinden ilgisiz üç faktör ve tesis personeli tarafından verilen iki ilgili karar gösterilmiştir.

İlgisiz üç faktörden ilki görevli operatörün yangın alarmı verip yangınla mücadele ekibini haberdar etmek için alevleri gözle görmek istemesi ve bu konuda ısrar etmesidir. Operatörlerin ilgili yangın bölgesine ulaşip gözle teşhis etmeleri yangının başladığı andan itibaren yarım saat almıştır. Fakat yangın Olasılıklı Risk Analizlerinde, yangınla mücadele ekibinin haberdar edilip yangın alarmı verilmesi için geçen sürede bu olay düşünülmemiştir. Bu da insan faktörünün önemini göstermektedir.

Bu faktörlerden ikincisi ise yangınla mücadele stratejisinin belirlenmesi sırasında ortaya çıkmıştır. Yangınla mücadele ekibi elektrik devrelerinin üzerine su sıkmakta ısrar etmiş, sonuç olarak yangının söndürülmesi zaman almıştır. Eğer verimli bir yangın bastırma sistemi uygulanırsa idi, gözlemlenene hasarın daha az olacağı belirtilmiştir.

Gecikmeye sebep olan son faktör ise yangın acil durumunu bildiren sistemlerin yanlış pozisyon almasıdır. Kontrol odası operatörlerinin alarmı rahatça görebileceği bir yerde bulunmayan görsel ikazlar ve bant ile kaplanmış sesli ikaz sistemi nedeniyle müdahalede gecikme kaçınılmaz olmuştur.

Yangın hasarının komşu kabinlere ulaşması da dikkat çekici başka bir ayrıntıdır. Kazada yalnızca iki komşu kabin ciddi bir şekilde hasar görürken diğer dört kabin yüzeysel hasar görmüştür. Bu durum da ilgili alanda teftiş yapan elemanların ışınlı ısı aktarımını göz ardı etmiş olma ihtimallerini artırmaktadır. Tekrar ışınlı ve yansıma gibi konular COMPBRN III gibi modeller ile mercek altına alınabilmekte iken, iki taşıyıcıyı işlevlerine göre ayırıp, ısı kalkanı (kısmi duvar) ile korumak da gerekli tedbirlerden sayılabilmektedir [14].

NGS'lerde geçmişte kablo kaynaklı çıkan diğer yangınlara ait bazı sebepler EK E: Diğer Yangınlar kısmında anlatılmıştır

3.2.2 Kablo Kaynaklı Olmayan Diğer Yangınlar

1993 Narora, Hindistan

NAPS 1.Ünitesinin türbin binasında çıkan yangın 17 saatlik bir güç kaybına sebep olmuştur. Kazada, düşük basınçlı türbinin son aşamasındaki iki adet türbin kanadının arızalanması sonucu, turbo jeneratörde ciddi bir dengesizlik baş göstermiş ve bu dengesizlik neticesinde kopan hidrojen contaları ile motor yağı hatları yangına sebebiyet vermiştir. Yangın kısa bir süre zarfında birçok kablo kanalı, röle paneli gibi bileşenlere sıçramıştır. İşletim ekibi manüel tetikleme ile birinci durdurma sistemini kullanarak reaktörü aniden durdurmuş ve hızlı soğutma sürecini başlatmıştır. Yangın Türbin binası içindeki jeneratör dağıtım kanalı ve kablolar üzerinden ekipman kontrol odasına yayılmıştır. Havalandırma sistemi boyunca kontrol odasına dolan duman, operatörleri odayı boşaltmaya zorlamıştır. Destekleyici kontrol odasında bulunan yedek göstergeler de kontrol kablolarının yanmasından dolayı kullanılamaz hale gelmiştir. Kontrol kablolarında olduğu kadar güç kablolarında da geniş çaplı hasarlar meydana gelmiştir. Dolayısıyla güç kaynakları erişilebilir olsalar dahi, gerekli ekipmanlara şebekeden ya da dizel jeneratörler ile bataryalardan güç aktarımı gerçekleşmemiştir. Bu durumda da kaza yaşandıktan sadece 7 dakika sonra 17 saatlik bir süre zarfında güç desteği kaybına sebebiyet vermiştir. Bu uzun kararma süresince, operatörler buhar üreteçlerinin ikincil tarafına yangın söndürücü su sıkmışlardır. Kaza neticesinde radyolojik bir etki meydana gelmemiştir. Esas yangın ise yaklaşık 1.5 saat sonra etkisiz hale getirilmiştir. Kaza, INES Ölçeğine göre seviye 3 olarak belirlenmiş, yani vaka olarak kalmıştır [INES ölçeği],[15].

Sebep

- Türbin kanatlarında stres birikimi
- Jeneratör birimi yağlama tankının türbinin üzerinde yer alıyor olması
- Yangın geciktirici ya da dayanıklı malzeme ile güç kablolarının yalıtılmamış olması

Çözüm

- Kademeli savunma felsefesinin daha iyi uygulanması

- Yangın analizleri neticesinde türbin binası içindeki teçhizatların uygunlaştırılması
- Kontrol odası havalandırması için kaza durumlarında kullanılacak temiz hava kaynağının bulunması

2010 Kalinin, Rusya

3 adet 1000 MW(e) gücünde VVER 1000 tipi bir NGS olan ve 4.ünitesi yakınlarda işleme geçen Kalinin 1.Ünite'sini besleyen dış mekanda bulunan trafonun ana şalterinde meydana gelen yangın neticesinde reaktör durdurulmuştur. Kamuoyuyla paylaşılan yangın sebebi olarak da yağ ile beslenen şalterin hasar görmesi ve yağ sızdırması olarak belirtilmiştir. Böyle bir durum trafonun işlevini sekteye uğratması için yeterli bir sebeptir ve yakınındaki reaktöre güç iletimini mümkünat dışı bırakmaktadır.

Aynı santralin yaklaşık 3 yıl önce de aynı türden bir patlamaya sahne olduğu bilinmektedir.

Bu durum göstermiştir ki trafolarda meydana gelen kazalar NGS'leri ciddi manada etkilemektedir ve bu kazaların başlıca sebepleri arasında elektrikle çalışan ekipmanlardan yağ sızıntısı ve akabinde tutuşma neticesinde yangın başlamasıdır.

2010 yılının Şubat ayında Rusya'nın Murmansk bölgesindeki Kola NGS'sinde meydana gelen bir trafo patlaması sonucunda havaya dağılan parçalar tesiste bulunan diğer ekipmanların hasar görmelerine sebep olmuştur. Aynı kaynaktan edinilen bilgi doğrultusunda Kola NGS'sinde meydana gelen patlama sadece iki üniteye giden güç hatlarını kesmekle kalmamış aynı zamanda sahada bulunan kullanılmış yakıt deposuna ait soğutmayı da sekteye uğratmıştır.

Rus kaynaklar bu tür kazaları Uluslararası Nükleer Olay Ölçeğinde (INES) 0 düzeyli vakalar olarak tanımlamaktadır [16].

Sebepler:

- Yağ ile çalışan elektrikli ekipmanlardan yağ sızıntısı (hasar sebepli vs.) neticesinde yağ maddesinin alev alması

Çözüm:

- Ünitelere güç taşıyan kabloların yangına dayanıklı bir şekilde yalıtılması
- Yağ ile çalışan ekipmanların çatlamalara, sızıntılara ve darbelere karşı korunaklı olması, periyodik bakımlarının aksatılmaması

1979 Barseback, İsveç

Türbin kanatlarında meydana gelen kırılma neticesinde yağ sızıntısı yüzünden tutuşma meydana gelmiştir. Fıskiye sistemindeki püskürtücüler fırlayan parçacıklar tarafından darbeye maruz kalmış, yangın etrafa yayılmış ve bu durum diğer sistemleri etkilemiştir.

Sebepler:

- Türbin kanatlarında hasar
- Türbin binasında yetersiz havalandırma neticesinde görüş kaybı

Çözüm:

- Yangına sebep olan akışkanın yayılma ihtimali olan bölgenin izolasyonu
- Türbin binasında daha iyi havalandırma sağlanması neticesinde yangına elle müdahale imkanı
- Isıya duyarlı kameralar ile geniş hacimlerde nispeten küçük boyutlu yangınların tespiti

1989 Vandellos, İspanya

Türbin binasında yağlama borularında meydana gelen bir kırık sonucunda kısa bir süre zarfında ortama yağ sızıntısı gerçekleşmiştir. Sızan yağın tutuşması neticesinde zincirleme sistem arızaları yaşanmış ve bu arızalara özellikle alt katların yangını söndürme suları ile olduğu kadar çeşitli devrelerden gelen suların altında kalması etkili olmuştur. Tüm bunlar da elektrik sistemlerine ciddi zararlar vermiştir.

Sebepler:

- Yağlama borularında kırık

Çözüm:

- Yağlama borularının periyodik kontrolü
- Diğer sistemlerin olası yağ sızacak bölgelerden ayrı tutulması
- Türbin binasının su altında kalma riskine karşı değerlendirilmesi

Japonya

Japonya’da 1966-1999 yılları arasında kayıtlı, yangın kaynaklı vaka sayısı 9 adettir. Bunlardan ilki 1966 yılında Tokai NPP’de periyodik bakımlar sırasında, kullanılan aletlerin iyi yalıtılmamış olması sebebiyle bir çalışanın kısa devre meydana getirmesini takip eden yangın vakasıdır. Yine aynı santralde 1967 yılında gerçekleşen vakada ise, türbin binasında bulunan gaz sirkülatörünün yağ değişimi sırasında tutuşma sebepli bir yangın çıkmıştır. Bu durum da çalışanlar arasındaki iletişimsizlik kaynaklı bir vakadır. 1977 ve 1985 yıllarında Fukushima Daiichi 1.ünite, 1986 2.ünite, 1988 6.ünite’de gerçekleşen yangınlar da benzer senaryolar neticesinde ortaya çıkmıştır. Periyodik bakımlar, yangına dayanıklı olmayan kablolar, bakım işlerinin teknik ekipmana etki edip tutuşma meydana getirmesi, yağlama sıvısının yeterince tecrit edilememesi, bakımlar sırasında verimli çalışma ortamının sağlanmaması vs... Tüm bu eksikliklere rağmen bu yangınlar sırasında sadece 2 çalışanın etkilenmesi, yangın vakalarının acil durum müdahale ayağında Japonya’daki santrallerin başarılı olduğu gerçeğini göstermiştir. Günümüze yakın tarihlerde, 1995 yılında Tomari 1.Ünite, 1996 yılında Hamaoka 3.Ünite ve 1999 yılında ise Fukushima Daiini santrallerinde yangın kaynaklı gerçekleşen vakalar, teknoloji ilerledikçe, üzerinde titizlikle durulması gereken bileşenlerin azalmayacağı, yıllar geçse de yangın güvenliği ilkesinin çalışanlar tarafından devamlı bir gelişim dahilinde takip edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Teknolojinin ilerlemesiyle sayıca ve işlevce artan elektronik ekipmanların, eski tip santrallere nazaran günümüz santrallerini yangın riskine daha duyarlı hale getirdiği enteresan bir gerçektir. Daha fazla elektronik daha fazla kabloya işaret ederken, daha fazla kablonun getireceği ve yüklenmesi gereken sorumluluk, yangın güvenliğini her yönüyle düşünülmesi gereken bir unsur yapmaktadır.

Finlandiya

Finlandiya Ulusal Kaza Veritabanı olan ONTIKA [91], 1994 ve 1995 yılları arasında rapor edilen elektrik kaynaklı yangın kazalarının %70'inden fazlasının kısa devrelerden ve kabloların yerleşim hatasından kaynaklandığını göstermektedir.

Tablo 3-2: ONTIKA'ya göre yangın sebepleri

Yangın sebebi	1994		1995	
	sayı	%	Sayı	%
Kısa devre ya da topraklama hatası	870	75	984	72
Zayıf bağlantı	36	3	56	4
Aşırı ısınma	54	5	73	5
Yanlış kurulum	17	1	11	1
Diğer	186	16	236	17
TOPLAM	1163	100	1360	100

Bahsi geçen kazalar geçmişte NGS'lerde çıkan yangınlar sonucu meydana gelenlerden sadece bir kaçıdır [17]. Yangın sebepli nükleer kazaların geçmişine bakıldığında Almanya'da 1971-2001 yılları arasında, 594 reaktör yılı geçmiş olup, rapor edilen 4860 vakanın 25 tanesi yangın vakası iken temel sebepleri de şu şekilde verilebilir;

- Makine yağı kaynaklı yangınlar
- Hidrojen yangınları
- Elektriksel ekipman yangınları
- Mekanik / diğer ekipman yangınları

Bu yangınların çoğu türbin binasında ve şalter binasında ortaya çıkmış, % 52 kadarı elektriksel ekipmanlardan dolayı başlamıştır [92].

1994-2001 yılları arasında UAEA bünyesinde, üye ülkeler tarafından geçmişte yaşanan yangınların masaya yatırıldığı teknik toplantılarda [17], bu kazaların genel özelliklerinin yangın algılama sistemlerindeki eksiklikler, yedekli kabloların yetersiz ayrılması ve tutuşabilir materyallerin sık kullanılması üzerine ortak kaniya varılmıştır. 2004 yılında hazırlanan bu dokümanda, UAEA/NEA tarafından

hazırlanan Olay Raporlama Sistemi (IRS) içindeki bilgiler ve 2001 yılında UAEA tarafından Viyana’da düzenlenen teknik toplantılarda katılımcı ülke raporları kullanılmıştır. Elde edilen teknik bilgiler ışığında, 2200 adet nükleer güvenliği ilgilendiren olay raporlandığı ve bunlardan 66 tanesinin doğrudan yangın kaynaklı olmak üzere, 119 tanesinin yangın kazası olduğu belirtilmiştir. Teknik toplantılarda ise aşağıdaki tabloda yer alan yangınlara yer verilmiştir.

Tablo 3-3: Teknik Toplantılarda Değınilen Kazalar

YIL	NGS	Ülke
1975	Brown’s Ferry	ABD
1975	Greifswald - 1.Ünite	Almanya
1979	Barsebeck	İsveç
1982	Ermenistan - 1	Ermenistan
1985	Rajasthan - 2.Ünite	Hindistan
1987	Fort St.Vrain	ABD
1989	Vandellos	İspanya
1991	Çernobil - 2.Ünite	Ukrayna
1991	Salem - 2.Ünite	ABD
1993	Enrico Fermi	ABD
1994	Biblis A	Almanya
1995	DCPP	ABD
1996	Palo Verde	ABD
1999	Bugey	Fransa
2001	Rovno	Ukrayna

Bu raporlarda henüz yer almayan ve XXI.yy'de gerçekleşmiş ve yangınların başrol oynadığı kazalar ise şu şekildedir:

Tablo 3-4: XXI.yy'da gerçekleşmiş yangın kaynaklı kazalar

YIL	NGS	Ülke
2002	Onagawa	Japonya
2003	Bridgman	ABD
2004	Cattenom - 2	Fransa
2006	Forsmark	İsveç
2012	Penly	Fransa
2013	Texas Project	ABD

4 YANGIN ANALİZLERİ VE BÜYÜME MODELLERİ

Nükleer Güç Santrali Lisanslama sürecinde, reaktöre inşaat lisansı alınması için kurucu tarafından nükleer düzenleyici kuruluşa Ön Güvenlik Analizi Raporu'nun (ÖGAR) sunulması gerekir. Bu rapora ek olarak sunulan Yangından Korunma Programı, reaktöre işletme lisansı alabilmek için sunulan Nihai Güvenlik Analizi Raporu (NGAR) ile birlikte son halini almaktadır. Yangından Korunma Programı kapsamında yer alan Yangın Analizlerinin amacı ise, reaktörü güvenli bir şekilde kapatabilecek ve oluşan artık ısıyı çekip, radyoaktif maddeleri muhafaza edebilecek güvenlik sistemlerinin, olası bir yangın durumunda dahi işlevlerini yerine getirebileceklerini göstermektir. Dolayısıyla bir tesiste ortaya çıkma olasılığı bulunan her türlü yangın, nükleer güvenliği tehlikeye düşürebileceği kabul edilerek, yangın analizleri ile mercek altına alınmaktadır.

Yangın Analizleri reaktöre ilk yakıt yüklemesinden önce gerçekleştirilmeli ve işletim süresince tasarımda yapılacak değişiklikleri kapsayacak şekilde güncellenmelidir. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansına üye ülkelerin bazıları tasarımda değişiklik olsun ya da olmasın, bu güncelleme periyodunu 5 ila 10 yıl arasında kabul etmekte iken, kalan ülkeler de konu hakkında mevzuatları uyarınca tedbir alırlar [5].

Yangın Analizleri için gerekli adımlar;

- i. Veri toplanması → Güvenliğe etkiyen sistemlerin tanımlanması
- ii. Yangın büyüme analizi → Öngörülen yangın büyümesinin analiz edilmesi
- iii. Sonuç analizi → Bariyerlerin yangına dayanıklılık seviyelerinin belirlenmesi
- iv. Yeterlilik değerlendirmesi → Yangından korunma ve algılama türlerinin belirlenmesi
- v. İyileştirme çalışmaları → ilave yangın ayırma ya da yangından korunma sistemlerinin gerektiği durumların tanımlanması
- vi. Analizlerin tekrarı → Nükleer Güvenlik Standartları [18] 216. paragrafı gereklerinin “*Reaktörü kapatacak, artık ısıyı çekecek ve radyoaktif maddeleri muhafaza edecek güvenlik sistemleri, bahsi geçen görevleri yerine getirebilecek şekilde olası yangınların etkilerine karşı korunmalıdır*” sağlanması.

Veri toplanması

Veri toplama aşamasında yangın riskleri ve güvenlik sistemleri tanımlanır, nükleer güvenlik açısından zafiyet göstermeyecek belirli bölgeler değerlendirme kapsamı dışında bırakılır ve ardından analiz gerçekleştirilir. Daha sonra mevcut tesis dokümantasyonunun içeriği aşağıdaki başlıklar etrafında gözden geçirilir;

- Ekipman düzenleme taslakları
- Tasarım ve inşaat taslakları
- Yangına dayanıklı bariyerlerin yerleri
- Havalandırma sistemi düzenlemeleri
- Kablo yönlendirme taslakları
- Yangından korunma sistem dokümantasyonu
- Diğer tesis prosedürleri

Bu dokümanların gözden geçirmesi kapsamında elde edilmesi gereken bilgiler 7 kategoriye ayrılır:

1. Yangın bölmesi envanteri;
 - a. fiziksel boyutlar,
 - b. güvenlikle ilgili tüm sistemlerle birlikte her bir bölmenin inşa ve ana hatları (planları)
2. Yanıcı envanteri
3. Kıvılcım kaynakları
4. Pasif yangından korunma tedbirleri
5. Aktif yangından korunma tedbirleri
6. Yangın bölmesinin dışındaki öğeler;
 - a. komşu yangın bölmelerini ayıran bariyerlerin yangına dayanıklılık düzeyleri,
 - b. yangın bölmesinin bir dış duvarı var ise, dışarıdan oluşabilecek yangın ve patlama potansiyeli
 - c. yangın bölmesi kaçış rotalarında koridor ya da merdiven bulunuyorsa bunların yangına dayanıklılıklarının derecelendirme detayları
7. Tesisin detaylı incelenmesi

Analizler sırasında kullanılacak verilerin doğruluklarını ve bütünlüklerini gözlemlmek adına belirli yangın bölmelerinin gözle teftişi yapılmalıdır.

Yangın büyüme analizi

Yangın büyüme analizi yangın bölmesinde gerçekleşmesi beklenen yangın riskine bağlı olarak, analizde ilgili bölmenin karmaşıklığı doğrultusunda tekli ya da çoklu yaklaşımlar şeklinde gerçekleştirilebilir. Araştırılan yangın riskleri detaylı bir şekilde tanımlanır ve farklı metodolojiler için benzer yangın risklerine “referans” olarak yardımcı olurlar. Öngörülen yangının her bir yangın bölmesi ya da hücresi için tanımlanması gerekir. Aynı şekilde yangının güvenlik sistemleri üzerindeki beklenen sonuçlarının her bir yangın bölmesi ya da hücresi için kayıt altına alınıp dokümanlaştırılması gerekir.

Yangın senaryosunun bütününde;

- Yangının doğası ve tipi,
- Sınır koşulları,
- Isı, duman ve metaller üzerindeki kimyasal etkileri,
- Havalandırma da dahil olmak üzere ısı transferi ve yangın dinamikleri,
- Yanma değerleri, yangının etkilerine tesir eden sınırlandırıcı değerler gibi fiziksel ve kimyasal özellikler,
- Yangına karışabilecek materyallerin bileşimleri,
- Yapıların hasar tahammülleri ve bütünlüklerini koruyucu sınırlar,
- İlgili ayırma bileşenleri ve yangın bariyerleri,
- Söndürme sistemlerinin işletim ve arıza koşulları,

gibi etkiler söz konusu olmakta iken, yangın büyüme analizinde bu değerler doğrultusunda kullanılabilecek uygulanabilir metotların da değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu metotlar ise mühendislik muhakemesi ile konservatif öznel değerlendirmeler, elle yapılan hesaplamalar ve bilgisayar modellemeleri şeklinde sıralanırlar.

Bilgisayar modellemeleri; özellikle yangın algılama ve söndürme sistemlerinin üst sınır sıcaklıkları, sıcaklık artışının en yüksek değerleri ve dedektörlerin devreye girme sürelerini kullanmaktadır. Bilgisayar modellerini uygularken; modelin sınırları bilinmeli, deneysel veriler ile karşılaştırmaların ve geçerlilik çalışmalarının doğrulanmaları mevcut ve kabul edilebilir olmalı, modelin hesaplanması en önemli

ve en zor değer olan kütlesel yanma hızı için yeterli düzeyde parametre çalışmalarına sahip olduğu doğrulanmalıdır.

Geçmiş uygulamalardan edinilen tecrübeler göstermiştir ki, bilgisayar modelleri yangın güvenliği tasarım ve değerlendirmesinde; özellikle tepe sıcaklıklarını, sıcaklık artışlarının en yüksek hızlarını ve yangın algılama - söndürme sistemlerinin devre girme sürelerini belirlerken önemli bir rol oynamaktadır.

Modellere girdi oluşturacak değerler elde edilirken belirsizliklerden uzak durulması oldukça önemlidir. Modeller yangının büyümesine ve yangın ürünlerinin dağılımına tesir edebilecek tüm olası fiziksel parametreleri belirlemelidir. Hesaplamalar, yakın civardaki ve yangından uzak alanlardaki güvenlik sistemleri üzerine etkilerin tümünü ortaya koymalıdır.

Yangın Modelleme Amaçlarının belirlenmesi

- ◆ Senaryodan beklentiler
- ◆ Tasarımda değişikliğe mi gidilecek?
- ◆ Zafiyet gösteren malzemeler mi belirlenecek?
- ◆ Sadece raporlama mı yapılacak?
- ◆ Deneysel verilere mi ulaşılacak?

Yangın Senaryolarının Karakterize edilmesi

- Ortam detayları
- Yangının yeri
- Yangından korunmanın çalışabilirliği (dedektörler, spreylere vs.)
- Havalandırma şartları
- Hedef yerleri
- İkincil yangınlar
- Yangının kaynağı

Yangın büyümesi analizinde kullanılacak metod ne olursa olsun, analiz sonuçları kurulu yangın yükünün mevcut yangından korunma tedbirleri ile kıyaslamasını yapmalıdır [19]

Sonuç analizi

Büyüme analizi sonrasında gelinen noktada ise sonuç analizi başlamalı ve bu aşamada

- Güvenlik sistemleri ve bu sistemlerin yerleri tanımlanmış,
- Yangının olası kıvılcım kaynakları kataloglanmış,
- Her bir yangın bölmesinin yangından korunma özellikleri yerine getirilmiş,
- Her bir bölmedeki yangın büyümesi yanıcı maddeler kapsamında ve her bir bölmenin fiziksel karakteristiği doğrultusunda kestirilmiş olmalıdır.

Yeterlilik değerlendirmesi

Bir sonraki adım ise yangının sonuçlarının mercek altına alınmasıdır. Buradaki amaç olası bir yangının, sistemin güvenli kapatmaya ulaşma ve artık ısı bertarafını gerçekleştirme hakimiyetini, aynı anda yedekli ekipmanların devreden çıkartılmasıyla bile, tehdit edemeyeceğine emin olabilmektir.

Yedekli sistem ekipmanlarının yangından korunmasının değerlendirilmesinde kullanılmak üzere iki farklı yaklaşım bulunmaktadır;

- Yangın bölmesi yaklaşımı
- Yangın tesiri yaklaşımı

Yangın bölmesi yaklaşımında, yedekli sistemlerin fiziksel olarak farklı yangın bölmelerinde bulunduğu düşünülmekte ve aynı zamanda bölmelerin etrafında dışarıya bu yangının sıçramasını engelleyebilecek bariyerler bulunduğu ön görülmektedir.

Yangın tesiri yaklaşımında ise yedekli sistemlerin aynı yangın bölmesi içinde, farklı yangın hücreleri içinde bulunduğu düşünülürken, yangının içinde bulunan nesnelerin aynı anda hasar görmeleri bazı tedbirler ile önlenir. Bu tedbirler fiziksel ayırma, yerel pasif koruma ve aktif yangından korunma gibi uygulamalardan oluşur.

Tasarım, inşaat, bakım ve belirli bir NGS'nin tasarımında değişiklik geçmiş hakkında bilgi olmaksızın, program çıktısı üzerinde yangın bölmesi ya da yangın tesiri yaklaşımının uygulanabilirliği hakkında bir şey söylemek mümkün değildir.

Her bir yangın bölmesi için ulaşılan sonuçların doğrulanmış ve dokümanlaştırılmış olması oldukça önemlidir.

İyileştirme çalışmaları

Yangın analizleri sonunda duvarlar, zemin ve tavan arasından sızmaları engellemek için yangına dayanıklı izolasyonlar gibi pasif koruma önlemlerinden (yangın tesiri yaklaşımı), halihazırdaki tesis planının bölmeler arasında sıçramayı engelleyecek düzeyde olduğuna, yangın algılama ve sabit yangın söndürme sistemlerinin yeterliliğinden, yangından korunmanın geliştirilebilirliğinin kararına kadar birçok sonuç ortaya çıkabilir.

Yangın Analiz sonuçları yangından korunma gereksinimlerine ulaşamadığını gösterdiği takdirde yangın riskini düşürmek adına kabul edilebilir düzeylere kadar değişiklikler ve müdahaleler gerçekleştirilir.

4.1 Yangın Modeli Yaklaşımları

NGS'lerde çıkan yangınlar, doğrudan ve dolaylı yoldan (başka kazaları tetikleyerek) tesisin güvenlik sistemlerini tehdit edebilmektedirler. Yangınların oluşturacağı olumsuz ortamsal faktörler ile bu faktörlerin tesis üzerindeki benzeşiminin yapılması ve reaktörün güvenli çalışması üzerindeki yangın risklerinin değerlendirilmesi de bu modeller sayesinde gerçekleştirilir. Yangın modelleri bileşenlerin hasar görebileceği ya da arızalanabileceği ortamsal sınırlar hakkında bilgiler ile birlikte kullanıldığında; güvenlikle ilgili bileşenlerin yangınların etkisiyle işletim dışı kalıp kalmayacaklarını, kalmaları halinde ilgili yangının yeri, boyutu ve süresini öngörebilir. Sonrasında tüm bu sonuçlar tesisin güvenlik sistemlerinin hasara karşı dayanıklılığını değerlendirmede kullanılır [60].

Yangın modellerinde ısı transferi, akışkanlar mekaniği ve yanma kimyası gibi birçok değişken aynı anda hesaba katılır. Bu modeller çeşitli bileşenlerin hasar sürecini ve bu bileşenleri etkileyen yangın büyümesi, sıcaklık artması, duman üretimi ve taşınması gibi parametreleri ortaya koyar. Bazı modeller diğer odaları da hesaba katmakta iken bazı modeller ise yangının başladığı oda sınırları içinde kalır.

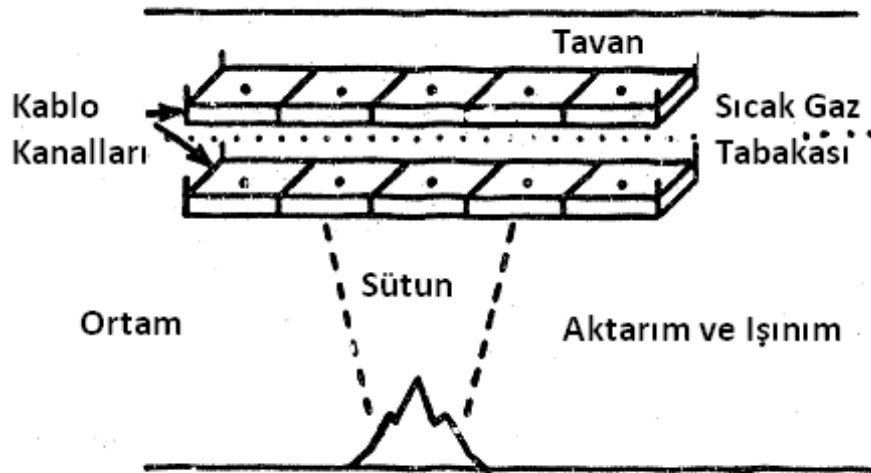
Yangın modelleri çözüm metodu yaklaşımlarına göre belirlenimci ve olasılıklı olmak üzere ikiye ayrılabilir.

Olasılıklı modellerde yangın büyümesi bir dizi olay ya da durumun neticesi olarak düşünülüp, olaylar arasındaki geçişi matematiksel modeller belirler. Örneğin yangının tetiklenmesinden başlamasına kadar uzanan aralıkta birçok değişken ortaya çıkabilir. Ayrıca bu geçişlerin her birinde deneysel veriler ve geçmiş yangınlar önemlidir. Genel anlamda olasılıklı modeller fiziksel ve kimyasal denklemlerin çözüldüğü türden modeller değildir.

Belirlenimci modellerde ise işin fizik ve kimyası ön plandadır. Uygulanabilirlik ve karmaşıklıklarına göre birçok tür belirlenimci yangın modeli bulunur. Belirlenimci model yaklaşımındaki en temel üç yangın modeli türü ise karmaşıklıklarına göre sırasıyla bölge modelleri, kontrol hacmi modelleri ve alan modelleridir.

4.1.1 Bölge Modelleri

En basit yangın modellerinden olan bölge modelleri yangın ortamını Alev, Alev sütunu, Sıcak Gaz Tabakası ve Ortam olmak üzere 4 temel kısma ayırmaktadır.



Şekil 4-1: Bölge Modeli Yaklaşımı [60]

Bölgelerin ısı koşullarını ve aralarındaki etkileşimi belirlemede deneysel korelasyonlar ve temel ısı aktarım modelleri kullanılır. Belli bir bölgedeki nesnenin (kablo kanalı, bariyer vs.) ortamla arasındaki ısı alışveriş de bu sayede belirlenmektedir. NGS'lerde yangın benzeşimleri oluşturan bölge modellerine örnek olarak COMPBRN [61], Harvard Yangın Kodu [62] ve MAGIS [63] kodları verilebilir. Bu modeller bilgisayarlarda kısa sürede sonuca ulaşabilirken kullanım

maliyetleri de oldukça düşük seviyelerdedir. Bundan dolayı bir NGS'de yangın risk analizi yapılırken olası yüzlerce yangın senaryosunu da değerlendirilebilirler.

Özellikle Kuzey Amerika kıtasında Yangın Analizlerinde en sık kullanılan model türü olan bölge modelleri, genelde kontrollü bir hacmi, belirli bölgelere ayırıp hesaplamalar yaparlar. Bu modellerin en baskın özelliği ise odayı, sıcak üst katman ve soğuk alt katman olarak ikiye ayırıp, her bir katmanı da zamanın fonksiyonu olarak belirlemeleridir. Bu sayede zaman içinde katmanların oluşum ve değişimleri kod dahilinde dikkate alınabilmektedir.

Bölge modellerinin birkaç tane de dezavantajı bulunmaktadır. Öncelikle sınırlı ölçüde geçerliliğe sahip deneysel korelasyonlara dayandırılan bölge modelleri, 70'li yıllarda özellikle bu alandaki deneylerin yetersizliği nedeniyle korelasyonların oluşturulmasında sıkıntılar yaşamıştır. Birden fazla olası yangın senaryosunu uyarlamada çoğu zaman hatalı sonuçlar ortaya çıkabilmekte iken, bazen de hiç sonuç alınamamıştır. Dolayısıyla her bir analiz için bir senaryo çalışılması modelin doğru sonuçlar vermesinde önemlidir. Örnek olarak sıcak gaz tabakasının sıcaklığı; oda yüksekliği, tavan alanı, ısı aktarım hızı, kapı yolu yüksekliği ve cebri havalandırma hızı gibi birçok parametreye bağlı iken bölge modellerinin çözüm sırasında birden farklı senaryo için bu parametreleri zamana ya da sıcaklığa bağlı korelasyonlar ile elde etmesi oldukça güçtür.

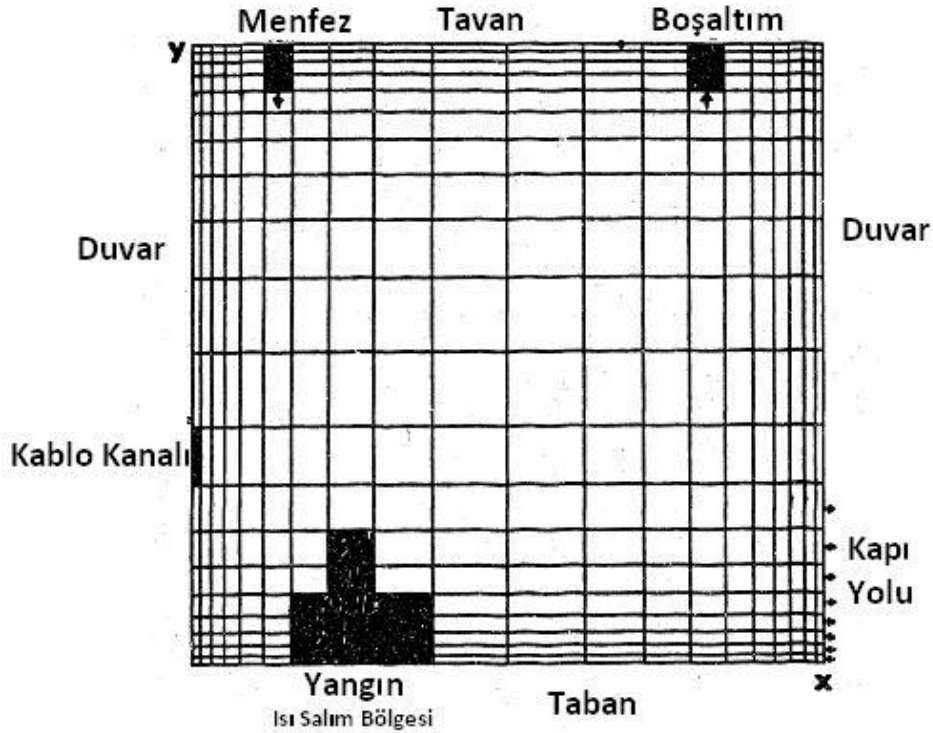
Bölge modellerinin ikinci dezavantajı ise tipik olarak bir bölge hakkında, sıcak gaz tabakası boyunca, sıcaklık katmanlaşmasına dair yerel bilgiye ulaşamamalarıdır. Örneğin; bazı problemlerde tavana monte edilmiş yangın söndürücü kafasındaki eriyebilir bağlantının erimeden önce ne kadar zamana ihtiyaç duyduğu hakkındaki yerel bilgi, analizi yapan kişi için kritik olabilir. Bu durumda bölge içinde üst tabakadan alt tabakaya geçen sıcak gaz kütlesi, üst tabaka sıcaklığını düşürecek ve bu da tavandaki yangın söndürücü kafasının erime süresini uzatacaktır. Katmanlaşma hakkında bilgi olmaması da, bu detayın atlanmasına sebebiyet verecektir.

Kullanıcısını basit bir yangın senaryosu için bile yüksek miktarlarda giriş parametresi tanımlamak zorunda bırakan bölge modellerinde, bazı kritik parametrelerin seçimi de azımsanmayacak derecede mühendislik yargısı

gerektirir. Dolayısıyla parametrelerin modele uygun seçilmesi gerekir. Tüm bunlardan dolayı, kullanıcının sahip olduğu deneyim, sonuçlara etkiyen önemli bir unsur olarak kendini göstermektedir.

4.1.2 Alan Modelleri

Modeller arasında en karmaşık yapıda olanı alan modelleridir. Bu modeller, yanma odasının tamamı ya da kapalı bir hat boyunca belirli bir sayıda kütle, ısı ve momentum aktarımına ait diferansiyel denklemleri içeren ayrılaşmış formları çözerler. Dolayısıyla sıcak gaz tabakasında sıcaklık katmanlaşması ve hız profili gibi yangın ortamına dair detaylı bilgi sunabilmektedirler. Alan modellerinin temel fiziksel denklemleri çözmelerinden dolayı yalnızca birkaç deneysel korelasyon gerekmektedir. Tipik bir bölge modeline kıyasla daha doğru bir şekilde çeşitli senaryolarda yangın ortamını öngörebilmektedirler. Örnek olarak oda yüksekliği, tavan alanı, ısı salım hızı, kapı yolu yüksekliği ve cebri havalandırmanın etkisi bir alan modelinin çözmüş olduğu denklem ve sınır koşullarının doğasında hali hazırda bulunmaktadır. NGS'lerdeki yangın benzeşimlerinde kullanılan modeller arasında SAFFIRE [64], HMS [65] ve Notre Dame Yangın Kodu [66] bulunmaktadır.



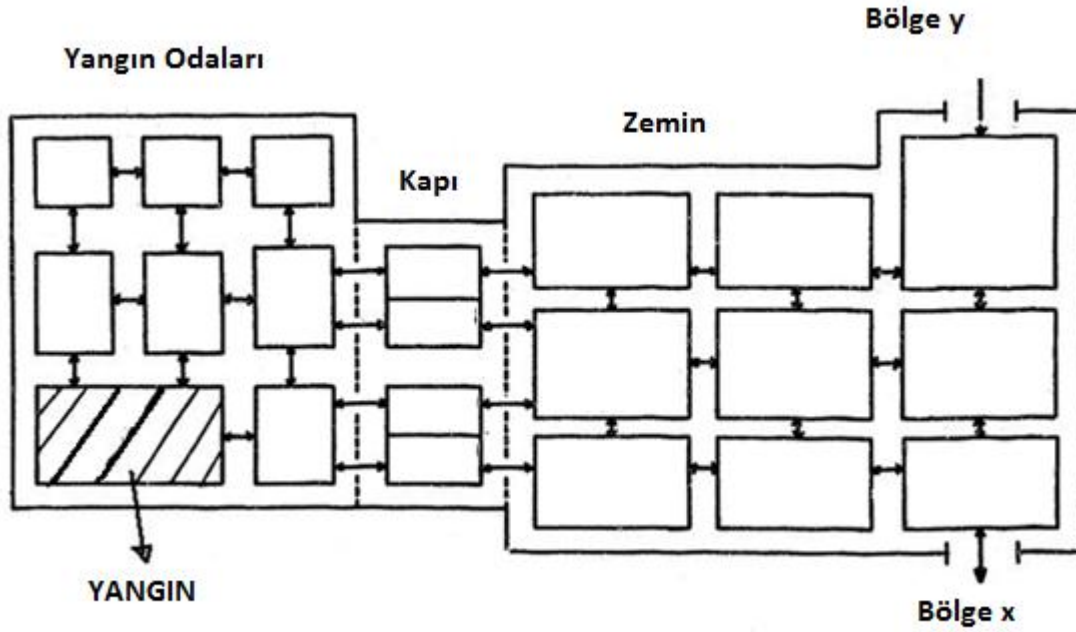
Şekil 4-2: Alan Modeli Yaklaşımı [60]

Alan modellerine dair bilinen iki temel dezavantajdan ilki, çok fazla sayıdaki noktada temel denklemlerin çözümü için yüksek işlem kapasitesi gerektiren bilgisayarlar ve uzun süreler gerektirmekte olduklarıdır. Bundan dolayı gerekli tüm senaryoların çözümü yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Dolayısıyla bu senaryolardan bazılarının elenip, ihtiyaç duyulan senaryoların çok iyi seçilmesi gerekecektir. İkinci dezavantaj ise modeli oluştururken gerekecek girdilerin bölge modellerine göre daha karmaşık olmasıdır. Çünkü girdiler oluşturulacak modelin uygun sınır koşulları boyunca her bir noktada tanımlanacaktır. Kullanıcının nümerik metotlara aşina olması, bilgisayar kodunun doğru bir şekilde çalıştığının kontrolünde önemli rol oynayacaktır.

4.1.3 Kontrol Hacmi Modelleri

Bölge ve alan modelleri genellikle yangın ortamının tek bir odada öngörülebilmesi ile sınırlandırılmışlardır. Yangın bölgesi modellerinde; odalar arası kütle, ısı ve momentum aktarımı için geliştirilmesi gereken korelasyonlar konusunda yaşanan zorluklar bu modelleri tek bir odaya sınırlamışlardır. Öte yandan alan modelleri teorik olarak odalar arası taşınımı gerçekleştirebilse de, tam modelleme için gerekli birden çok nokta, hesaplama zamanı ve bellek gereksinimi, bu modelleri birden fazla oda için pratik olmaktan çıkarmaktadır.

Karmaşıklık olarak alan ve bölge modelleri arasında bulunan kontrol hacmi modelleri ise aynı anda birden çok oda modellemesini gerçekleştirebilmektedir. Bu modelde ilgilenilen kısım bölge modellerindeki bölgelerden daha küçük boyutta olmasına rağmen alan modellerindeki noktalar arasındaki mesafeden daha geniş mesafedeki sonlu hacimlere ayrılmaktadır. Kontrol hacmi modellerinde endüstriyel boyutlarda bir binanın (türbin binası, korunak binası vb.) bütünü boyunca ısı ve duman aktarımı modellenenilmekte, tek bir oda 5 ila 10 kontrol hacmine ayrılabilir. Kontrol hacmi modellerine örnek olarak RALOC [67] ve HECTR [68] verilebilir.



Şekil 4-3: Örnek Kontrol Hacmi Yaklaşımı [60]

Kontrol hacmi modeli, alan ve bölge modellerini arasında bulunduğundan, her iki modelin de dezavantajlarını taşıyabilmektedir. Bölge modelindeki gibi mühendislik yargısını gerektirecek birçok giriş parametresine ihtiyaç duymaktadır. Bundan dolayı kontrol hacminin boyutunun seçilmesi, giriş parametresi miktarını belirlemede anahtar etkindir. Tüm bunlara ek olarak, yetersiz boyutlarda ve sayıda kontrol hacminin seçilmesi akış alanını hatalı öngörebilirken, tersi durumda da fazla miktarda kontrol hacminin getireceği hesaplama, depolama ve zaman yükü azımsanamayacak boyutlarda olacaktır.

4.2 Çalışma Kapsamında Seçilen Model Türü ve Kod

Modeller hakkındaki tüm bu bilgiler ışığında, en doğru olanı, yapılacak işe ve gerekli olan verilere göre model türünü seçmektir. İstatistikler NGS'ler için en genel yangın kaynağı olarak elektrik kablolarını göstermekte, kritik bileşenlerin hasar göreceği ya da arızalanabileceği durumların ortaya konulması gerekmektedir. Eğer modeli kullanarak ulaşmak istediğimiz yangın ortamının detaylı bir resmi ise alan modelleri, birçok yangın senaryosunun değerlendirilmesi gerekiyorsa yangın bölgesi modelleri, birden çok oda arasında yanma ürünlerinin taşınımı hakkında bilgi sahibi olmak gerekiyorsa da kontrol hacmi modelleri bu konuda en doğru tercih olacaktır. Bu modellerin her birinin avantaj ve dezavantajlarını bilmek

gereklidir. Sonuçta her bir modelde; mühendislik yargısı ile kabul edilebilir sonuçlara ulaşmak için, yangın kaynağı karakterizasyonun iyi yapılması, deneysel verilerin, bileşen hasar - arıza sınır ve koşullarının kod girdilerine işlenmesi gereklidir.

Çalışmada yapılan modellemenin amacı; kablo kanallarında çıkabilecek bir yangının, oda içindeki diğer kabloların işlevlerini engelleyip engelleyemeyeceği, bu durumun yedeklilik ve çok yönlülük ilkeleriyle ilişkisi, yangının çıktığı ortamda diğer kablo kanallarına sıçramanın dışında daha büyük tehlikelere yol açıp açmayacağına yanıtlar bulmaktadır.

Senaryoda bir dizel jeneratör binasının günlük yakıt tankı odasında kablo kanallarından birinde çıkan yangın modellenmekte, bu yangının hem diğer kablolarla hem de günlük yakıt tankına etkisi değerlendirilmektedir.

Birden fazla senaryo ile farklı durumların analizi, bu analizlerin çok zaman almaması için program çalışma süreleri ve mali sebepler göz önünde bulundurulduğunda bu çalışmada kullanılacak en uygun model türünün yangın bölgesi modeli olduğu düşünülmektedir. Sandia Laboratuvarları tarafından bölge modelleri üzerine yapılan bir çalışmada, Harvard kodu ve COMPBRN kodları kullanılmış, aralarında bir kıyaslama yapılmıştır. Harvard Kodu büyük endüstriyel binalardan ziyade ev ve ofislerde çıkabilecek yangınları modellemek için geliştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda Harvard Yangın Kodunun genel anlamda oda geometrisi, yakıt yükü ve konumu ile havalandırma şartlarını ısı ortam test şartları için hesaplamada yetersiz kaldığı gözlenmiştir [60].

COMPBRN III kodu ise NGS'lerde oluşabilecek yangınların benzeşimi için özel olarak geliştirilmiştir. Göreceli olarak basit nümerik yöntemler ile geniş ölçekli yangınlarda korelasyon ve modelleri birlikte çalıştırmaktadır. COMPBRN III kodunun Sandia Laboratuvarlarında kullanılmaya başlanması için yapılan ilk denemelerde birçok hataya ve tutarsızlığa rastlanmıştır [69]. Fiziksel olarak anlamlı sonuçlar elde etmek için COMPBRN III üzerinde bazı düzeltmeler yapılmıştır [70]. Bunlar arasında cebri havalandırma ile sıcak gaz tabakası algoritması, alev ısı aktarım modeli, ısı geri beslenme modeli ve ısı ışınım göre-faktör modeli üzerinde yapılan değişiklikler bulunmaktadır. Üzerinde değişikliklerin

yapıldığı COMPBRN III sürümü, daha sonra birçok olasılıklı risk değerlendirilmesinde de kullanılmıştır. Kod üzerinde yapılan bu değişikliklerin yangın risk analizinde yirmi kat daha etkili olduğu belirtilmiştir [71,72,73].

Senaryonun modellenenbilmesinde kullanıcıya sağladığı çeşitlilik ve hızlı bir şekilde çıktı alınması gibi etkenlerin yanı sıra, oda hacminin çıkan yangına göre oldukça büyük olması da COMPBRN III kodunun seçilmesinde etkili olmuştur. Ayrıca bu seçimde NUREG 1934 kriterleri de önemli rol oynamıştır [19].

4.3 COMPBRN ve Sıcak Gaz Tabakası Modeli (SGTM)

Oda yangınlarının çoğu modellemesinde, bölge modelleri kullanılmaktadır. Bu modeller odayı belirgin, homojen kısımlara ayırmaktadır. NGS’lerde çıkan yangınlarla bağlantılı risklerin değerlendirilmesinde gerçekleştirilmesi gereken yangın analizi¹ (FHA) programlarından COMPBRN III ise bir bölge modeli olan Sıcak Gaz Tabakası Modeli kullanarak çalışmakta; içinde gaz sütunu karışım modeli, duvar akımı modeli ve kapı yolu (antre vb.) karışım etkilerinden oluşan bir hava karışım modeli bulunmaktadır. Programın çıktıları arasında yangın sonucunda ortaya çıkan toplam ısı salınım hızı, tavan yakınında oluşan sıcak gaz tabakasının kalınlığı ve sıcaklığı, her bir yakıt bileşeni için kütleli yanma hızları, bileşenlerin yüzey sıcaklıkları ve kullanıcının belirlediği yerlerdeki ısı akış gibi değerler bulunmaktadır. Bu sonuçlardan yola çıkarak programda yakıtların (nesnelerin) yangın sonucunda hasar görme sıcaklıklarını aşıp aşmadıkları belirlenmektedir.

4.3.1 Çözüm Metodu

COMPBRN III; bir bölge içindeki alevlenme öncesindeki süreçte oluşan yangın büyümesini temsil etmek için yarı durgun yaklaşım uygulamaktadır. İki bölge olarak tanımlanan yangın bölgelerindeki bu bölgeler birbirinden ayrı, homojen ve dengeli bir şekilde tabakalara ayrılmıştır. Negatif kaldırma kuvvetleri ve gaz sütununun karışımından dolayı ortaya çıkan sıcak gazların oluşturduğu kısım üst katman olarak tanımlanmakta iken, her zaman çevre koşullarında kalabilen, ısı

¹ Ülkemizde kabul edilen literatürde Tehlike Analizleri, Risk Analizleri anlamı taşıdığından, bu da nükleer santral güvenliği literatüründe Olasılıklı Risk Analizleri kavramları ile karıştırılabileceğinden, *Fire Hazard Analysis* “Yangın Analizi” olarak adlandırılmıştır.

olarak etkisiz ve göreceli olarak durgun soğuk havanın olduğu kısım ise alt katman olarak kabul edilmektedir.

Bu kısımlar oda içinde kapı mesafesinden yukarıda ve düzgün bir şekilde dağılan ısı bir ara yüz ile ayrılmaktadır. Her bir zaman aralığında, Sıcak Gaz Tabakası Modeli (SGTM) **Newton Raphson iterasyon** düzeni ile bir dizi bağıntılı (*coupled*) kütle ve ısı durgun hal denge denklemini çözerek ısı ara yüz yüksekliklerini (Z_D ve Z_N), sıcak gaz tabakası sıcaklığını (T_G) ve yakıt elemanlarına giden ısı akışlarını hesaplamaktadır.

Tüm yarı durgun modeller gibi, SGTM de en iyi performansını ilgili niceliklerin hızlı değişim göstermediği ve durgun halin ulaşıldığı makul bir kısa zaman dilimi içinde vermektedir. Yapılan deney sonuçlarına göre; belli bir kapalı alan içinde ilk kıvılcım anından sonra, alan içindeki oda gazlarının ısı ve akış karakteristiklerinin oda yapılandırmasına ve yangın kaynağı parametrelerine bağlı olarak 0.5 – 5 dakika arasında makul düzeylerde sabit olduğu doğrulanmıştır.

Alevlerin üzerindeki hareketli sıcak gaz sütunundaki aktarımlı ısı transferini belirlemek için de korelasyonlar kullanılmaktadır. COMPBRN III içinde yangın literatüründen alınmış durgun hal ve alt modelleri kullanılmaktadır. COMPBRN kodları zaman içinde gereksinimler ve alınan sonuçlardaki hatalar çerçevesinde geliştirilmişlerdir.

Kodun gelişim süreci içinde COMPBRN I, birçok analizde makul sonuçlar vermiş fakat modellenen çoğu nesnenin yüzeyleri üzerinden ışıınım ve taşınım ile kaybettikleri ısıların hesaba katılmamasından dolayı bu sonuçlar hasar süresi tahminleri konusunda aşırı konservatif kalmıştır. Bundan dolayı belirli nesneler için bu kayıpların etkilerinin de zaman – sıcaklık geçmişi içinde hesaba katılabilmesi amacıyla COMPBRN I kodu yeniden tasarlanmıştır. Ortaya çıkan COMPBRN II kodu ise daha genel bir hasar modeli olmuş ve uygulanan kablo kanalı yangın deneylerinden yola çıkarak bu kodun iyi sonuçlar verdiği görülmüştür [74]. COMPBRN gelişim süreci içinde zamanla ortaya çıkan hatalar, Sıcak Gaz Tabakası Modelini (SGTM) ortaya çıkarmıştır. Öyle ki bu model üzerinde yapılmış çalışmalar her iki koddan da üstün bir modele sahip yeni bir kod gelişimine neden olmuştur.

Geliştirmeler sonunda elde edilen COMPBRN III kodunda farklı bir hava karışım alt modeli kullanılmakta sıcak gaz tabakası özelliklerinin çözümü için daha detaylı nümerik yollar izlenmektedir. Kod içinde gaz sütunu ısı transferi, ortalama gaz sütunu sıcaklık korelasyonu, silindirik şekil faktörü, dikey yakıt hücresi hesaplamaları da bulunmaktadır. Ayrıca kodda bulunan giriş hata kontrolü ve yorum kartları kodun daha kullanışlı olmasını sağlamaktadır. Kod girdi dosyasına ait açıklamalar “EK A: COMPBRN III için girdi hazırlanması” kısmında verilmiştir.

Program kodunda her bir yakıt elemanın sıcaklık profili; bölme duvarları ve tavan da dahil olmak üzere ısıl çevresinin bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır. Bir eleman eğer yüzey sıcaklığı kullanıcı tarafından belirtilen kıvılcımlanma (ya da hasar) sıcaklığını aşıyor ise kıvılcım almış kabul edilmektedir. Programın her bir zaman adımında, henüz kıvılcımlanan yakıt elemanlarının toplam ısı salımına katkılarıyla birlikte hesaplama işlemi yeniden başlamaktadır. Bu işlem, EK B: Program Akışı kısmında detaylı olarak gösterilmiştir.

Sıcak Gaz Tabakası Modeli geniş hacimler içindeki küçük yangınlara uygulanmış ve sıcak gaz tabakasının, benzeşimin ilk adımlarında oluştuğu kabul edilmiştir. Bundan dolayı kodun tahminlerine göre büyük yakıt yüklemeli yangın senaryoları için en kabul edilebilir sonuçların alevlenme öncesindeki zaman diliminde ortaya çıkması beklenmektedir.

Yapılan modellemede kodun temel görevi; kullanılan yakıt elemanlarının her biri için ısı giriş ve çıkışlarının izini tutup, bunları bir yakıt yatağı modellemesine dönüştürmektir.

Yakıtlar model içinde, türlerine göre süper modüller olarak tanımlanmıştır. Örneğin yangının modellendiği odada bulunan duvar, tavan, kablo kanalı, yanan çöp kutusu, yakıt havuzu gibi nesneler birer süper modül olarak tanımlanırlar. Türlerine göre ayrılan bu yakıtların homojen olmadığı düşünülüyorsa, ya da daha detaylı sonuçlara erişilmek isteniyorsa, “yakıt hücresi” olarak tabir edilen parçalarla da tanımlanabilirler. Bir kablo kanalı eğer düzlem boyunca farklı malzemelerden oluşuyorsa da, birden fazla yakıt hücresi şeklinde, kablo kanalına ait süper modülde tanımlanabilir. Sonuçta yakıt hücrelerinden oluşan süper modüller ya da

salt olarak bir süper modül, kendi sınırları dahilinde bir yakıt yatağı oluşturmaktadır.

4.3.2 Program Akışı

Hiyerarşik sıralamada ana program, alt yordamlar, bir dizi yardımcı alt yordamlar ve işlevsel alt programlar bulunmaktadır. Program akışı girdi dosyasındaki verilerin okunmasıyla başlar. Sonraki adımda program bir doğrulama gerçekleştirir ve program değişkenleri belirlenir. Bu değişkenler arasında duvarlar, bariyerler ve tavandan nesnelere doğru hareketlenen alevlerin şekil faktörleri ve kapalı odada salınabilecek en yüksek ısı faktörleri bulunmaktadır. Ayrıca başlatıcı (pilot) yangın değişkenleri de belirlenmektedir.

Bir sonraki aşamaya geçildiğinde şu işlemler gerçekleştirilmektedir:

- ◆ her bir yakıt hücresi için yakıt ısı salımının ve alev yüksekliğinin hesaplanması
- ◆ yanmış kütle ve yanma hesaplarının yapılması
- ◆ birim alan başına düşen yüzey kontrollü yanmalar (ısı akışına lineer olarak bağımlı olduğu kabul edilerek) ile havalandırma kontrollü yanma (toplam yanma alanı üzerinden ortalaması alınarak) değişkenlerinin belirlenmesi
- ◆ ısı üretim hızı ve yakıt tükenmesi durumunda yanmayı durduracak şekilde yakıt kütlesinin azalma hesabı
- ◆ alev yükseklikleri ve yatay / dikey yakıt levhalarının üzerindeki alevlere ait tanımlamalar
- ◆ ısı akışı ve sıcaklık gibi alev kaynağının gücünü belirlemeye yönelik hesaplamalar

Tavandan gelen ısı akışının hesaplanmasının ardından:

- ◆ sıcak gaz katmanı sıcaklığı için ileri düzey bir değer elde edecek dördüncü dereceden denklemler çözülür,
- ◆ güncellenmiş sıcak gaz katmanı sıcaklığındaki bir bölmede doğal yoğunluk düzleminin yüksekliği güncellenir,
- ◆ bağlı denklemlerin kökleri çözülür,
- ◆ kütle akış hızları çözülür.

Program iş akışı devamında, taşınımı ve/veya ışınlı yollar aracılığıyla çeşitli kaynaklardan hedef bileşenlere ısı transferi gerçekleştirilir. Alev ışınlı aktarım hesaplamalarındaki şekil faktörleri çözülür. Dikdörtgen kaynaklardan ısı aktarımı için kullanılan şekil faktörleri ise daha öncesinde hesaplanıp, iletişim matrisinde kaydedilmişlerdir. Dikey levhadan tekrar levhaya doğru gelen alevin geri besleme ışınlı ve bitişik yakıt bileşenlerine ısı iletimi ise özel modeller vasıtasıyla hesaba katılmaktadır.

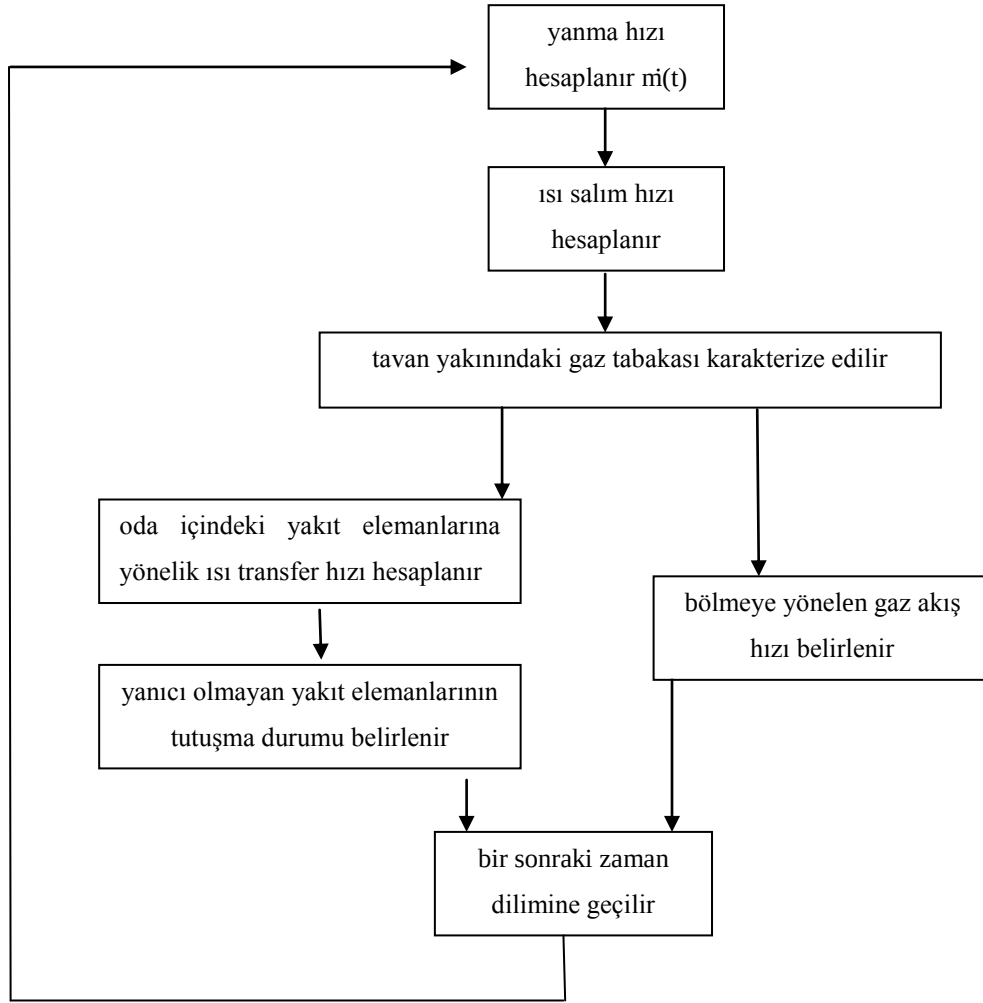
Yanıcı olmayan yakıt bileşenlerinin parlamaya (alev almaya, yanmaya) yetecek ısı emilimi yapıp yapmadıkları belirlenip her bir nesne için geçici ısı iletim denklemleri levha geometride çözülür. Algılayıcılar çözüm kapsamı dışındadır. Program akışı ve görev yapan alt yordamlar EK B: Program Akışı altında verilmiştir.

Analizi yapan kişinin isteğine göre veriler her bir zaman adımı için yazdırılır. Yazdırılabilecek veriler şu şekildedir:

- ◆ Toplam kütle yanma hızı
- ◆ Toplam ısı salım hızı
- ◆ Sıcak gaz tabakası sıcaklığı
- ◆ Sıcak gaz tabakası kalınlığı

Her bir süper modül için de aşağıdaki veriler program çıktısında gösterilebilir;

- ◆ Hasar görüp görmediği
- ◆ Yanıp yanmadığı
- ◆ Kaynak akısı
- ◆ Harici akı
- ◆ Toplam akı
- ◆ Ölçülen akı
- ◆ Net akı
- ◆ Yakıt kütlesi
- ◆ Alev yüksekliği
- ◆ Yakıt sıcaklığı
- ◆ Isı aktarım katsayısı
- ◆ Çevre sıcaklığı



Şekil 4-4: Program Akışı

4.3.3 Oda Yangınının Temel Özellikleri

Oda yangınında T_0 anında Z_0 yükseklikte Q ile enerji salımı başlar. Bu salım basıncın artmasına ve ortam sıcaklığından daha sıcak olan havanın yukarı yönlü hareketine sebep olmakta, neticede türbülanslı sıcak gaz sütunu oluşmaktadır (Şekil 4-5).

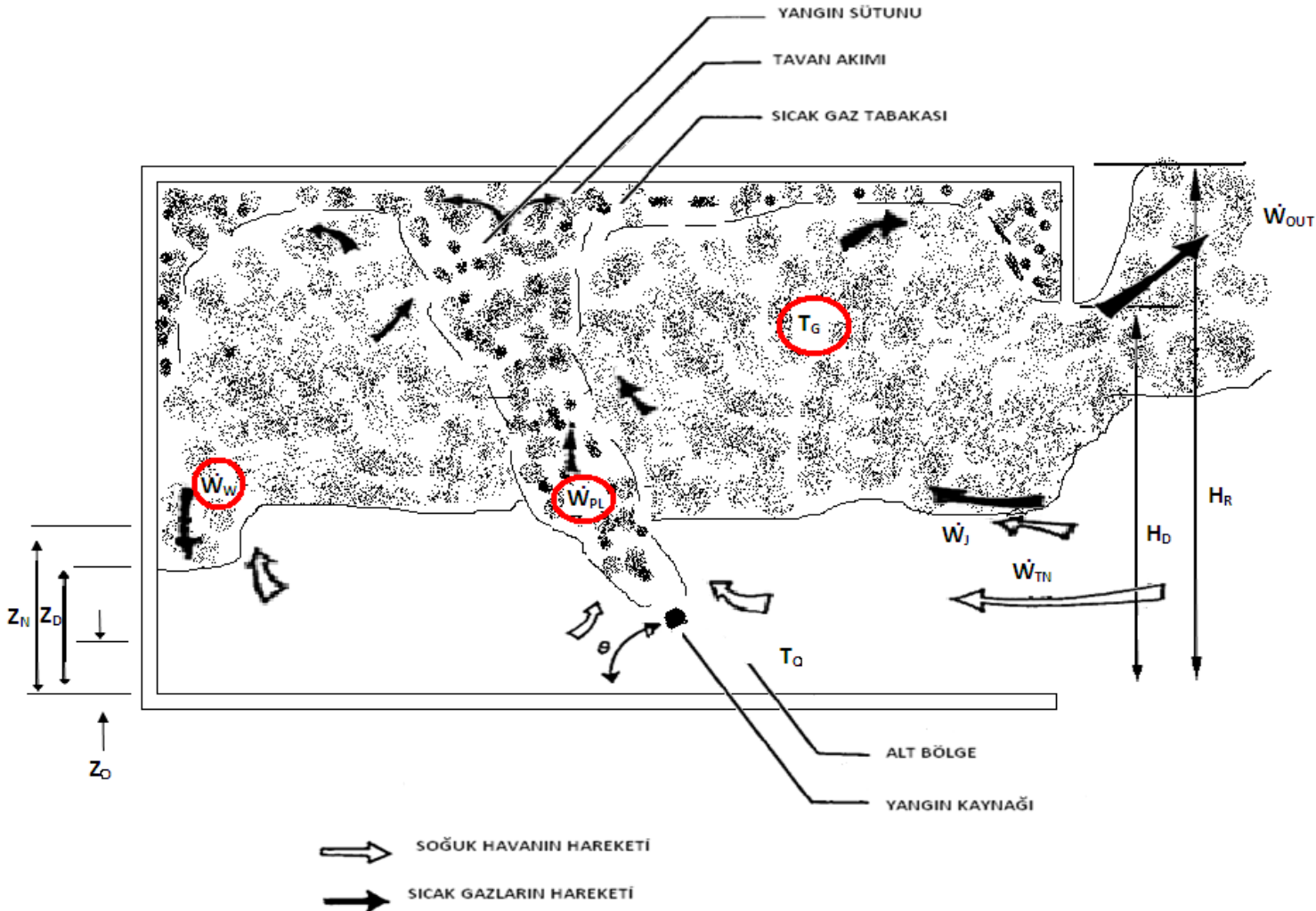
Yukarı yönelim momenti;

- Yangın kaynağı ile tavan arasındaki mesafeye,
- Yangının kuvvetine,
- Odanın ısı katmanlılığına bağlıdır.

Gaz sütununu yukarı doğru sürükleyen kuvvet $(1-\lambda_r)\dot{Q}$ ile tanımlanırken; λ_r ise gaz sütunu ve ilgili yangın bölgesinin ısı yitimi yoluyla kaybı olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla $(1-\lambda_r)\dot{Q}$ ısı yitimi ile kaybolan ısı miktarından geriye kalan niceliktir. Zamanla taze hava yükselen gaz sütununa katılmakta, yukarı yönlü toplam kütle akışı ise $\dot{W}_{PL}$ olmaktadır. $\dot{W}_{PL}$ artarken, sıcaklık ise (T_{PL}) düşmektedir. Gaz sütunu tavana ulaştığında ayrılmakta ve ince bir tavan akımı oluşmaktadır. Dış yöne doğru hareket eden tavan akımı bu sırada taşınım, ısı yitimi ve iletim ile tavana ısı aktarım sıcaklığını yükseltmektedir. Sıcak hava sütunu duvarlara eriştiğinde ise köşelerden aşağı akmakta, aşağı yönlü bir duvar akımı oluşmaktadır. Duvar akımı $(\dot{W}_w)$ ortam sıcaklığından yüksek sıcaklıkta ve düşük yoğunluktadır. Bundan dolayı aşağı tabakadan bir miktar soğuk havayı bünyesine katıp yönünü aşağıdan tekrar yukarıya çevirmektedir. Bu şekilde devam eden püskürtme (jet) akımı faaliyetlerinin devamında, aşağı bölgede durgun gaz tabakası oluşmaktadır.

Yangın büyüdükçe katmanlı bölgeler oluşmakta ve oda belirli ısı sınırları ile bölgelere ayrılmaktadır. Yangının çıktığı odada kapı var ise sıcak gazların odayı terk etmesi, taze hava girişine olanak tanımaktadır (Karışım akışı $\dot{W}_j$). Kapı yakınında sıcak gazların ve taze havanın zıt yönlü hareketleri ince bir tabaka oluşturmakta, bu tabakanın içindeki sıcak gazlar ise dışarıdan gelen taze havadan dolayı alt bölgeye katılmaktadır.

Karışım akışı $\dot{W}_j$ ve duvar akımı $\dot{W}_w$ alt bölge sıcaklığını yükselten etmenlerdir. İçeri akan taze havanın momentumu aerodinamik bir karışım oluşturup dağılmamış orijinal gaz sütununu eğimli bir açıya (θ) sokar. Açı kazanan gaz sütunu tavana ulaşabilmek için, açı kazanmamış ilk haline göre daha fazla yol almak zorunda kalacaktır. Bu durumda da alt katmandan, daha düşük sıcaklıktaki daha fazla gaz, üst katmanlara erişebilecektir. Eğer oda yangınında cebri havalandırma bulunuyorsa da, üst bölgedeki sıcak gazların karışmaları hızlanmaktadır.



Şekil 4-5: İki Bölge Modelli Oda Yangını [80]

4.3.3.1 Kütle Aktarım Modeli

Sıcak Gaz Tabakası Modelinde kütle korunmaktadır. Bir bölgenin kazandığı kütle aynı zamanda kaybettiği kütleye eşittir.

- Kütle yanma hızı modeli
- Cebri havalandırma kütle akış hızı
- Yangınla uyarılmış kapı akışı
 - Kapı katsayıları
- Hava tutunum modeli
 - Gaz sütunu tutunum modeli
 - Kapı yolu karışım ve duvar akımı kütle akış hızı

Kütle kayıp ve kazanım prensibinde; alt bölge ve üst bölge için farklı denklemler oluşturulmuş, tüm bu denklemlerin birleştirilmesiyle Yangın Bölmesi için kütle kazanım hızı ve kütle kayıp hızı olmak üzere iki adet denkleme ulaşılmıştır.

Üst tabaka için; kütle kazanım hızı, havalandırma yoluyla SGT'ye eklenen taze havanın akış hızı ile duvar akımı, kapı boşluğu karışım hızı ile gaz sütunu akışından dolayı havanın SGT'ye karışma hızlarının toplamıdır. Kütle kayıp hızı da, kapı boşluğu üzerinden odayı terk eden sıcak gazlar ile havalandırma yoluyla SGT'den uzaklaştırılan sıcak gazların kütle kayıp hızlarının toplamına eşittir.

Üst tabaka için;

$$\dot{W}_E + \dot{W}_{V,IN} = \dot{W}_{V,OUT} + \dot{W}_{OUT} \quad (3.1)$$

$\dot{W}_{PL} + \dot{W}_W + \dot{W}_J$

Alt tabaka için; kütle kazanım hızı, kapı boşluğundan ortama giren taze hava hızı, yakıt kütlesinin yanma hızı ve havalandırma yoluyla ortama taze hava girme hızlarının toplamına eşittir. Kütle kayıp hızı da havalandırma yoluyla ortamdaki ayrılan taze hava hızı ile duvar akımı, kapı boşluğu karışım hızı ve gaz sütunu akışından dolayı havanın SGT'ye karışım hızlarının toplamıdır.

Alt tabaka için;

$$\dot{W}_{IN} + \dot{W}_{U,IN} + \dot{W}_F = \dot{W}_{U,OUT} + \dot{W}_{PL} \quad (3.2)$$

$\dot{W}_{IN}$: Kapı boşluğundan gelen taze hava
 $\dot{W}_{U,IN}$: Cebri havalandırma
 $\dot{W}_F$: Kütle yanması
 $\dot{W}_{U,OUT}$: Yukarı doğru ayrılan gaz öbeği
 $\dot{W}_{PL}$:

Kütle yanma hızı $\dot{W}_F$

Havalandırma kontrollü yangınlarda;

$$\dot{W}_F = C_V \dot{W}_{IN} \quad (3.3)$$

$\dot{W}_{IN}$: Kapı boşluğundan gelen taze hava akış hızı
 C_V : Havalandırma kontrollü yanma hızı sabiti

Yüzey kontrollü yangınlarda;

$$\dot{W}_F = \dot{m}''_o + C_S \dot{q}''_{EXT} \quad (3.4)$$

$\dot{m}''_o$: Özgül yanma hızı sabiti
 $\dot{q}''_{EXT}$: Yakıt elemanına işleyen harici ısı akışı
 C_S : Yüzey kontrollü yanma katsayısı

Cebri havalandırma kütle akış hızı $\dot{W}_U$ (hava) & $\dot{W}_V$ (sıcak gaz)

Kapı kapalı olduğu durumlarda; bölmedeki basınç birikmesini önlemek için hacimsel iç akış ve dış akış özdeş olmalıdır.

Gaz değişimine olanak tanınması için SGTm'de, havalandırma kapakları tavanda ya da zeminde, ya da her ikisinde de var kabul edilir. Hava ve gaz giriş – çıkış oranları ise;

$(1-F_C) \rightarrow$ taze hava giriş

$(F_C) \rightarrow$ sıcak gaz giriş

$(F_H) \rightarrow$ taze hava çıkış

$(1-F_H) \rightarrow$ sıcak gaz çıkış

şeklinde verilmektedir.

Bu akış hızları kapı yolundan gelen akışa kıyasla oldukça küçük olduğundan, sadece küçük açıklıklı ya da tamamen kapalı alanlarda önemlidir.

Yangınla uyarılmış kapı akışı

Oda ve civarındaki sıcaklık farklılıkları akışkanın aralıklardan (a açıklık) akmasına sebep olacak basınç farkları yaratır.

Bernoulli denklemi kullanılarak; durgun halde iken ivme kazandırılan akışkanın (t_0 anında hızı 0) birim kütledeki kinetik enerjisi statik basınçtaki değişime eşittir.

Kapı akışındaki kapı yolu katsayıları C_i ve C_o olmak üzere iki yönlüdür. C_i içeriye doğru akış, C_o dışarıya doğru akıştır. Katsayının 0 (sıfır) olması bölmede içeri ya da dışarı akışa tam bir direnişin olduğunu gösterir. Bir (1) ise akışın engelsiz bir şekilde ilerlediğini gösterir. Çıkan gaz miktarının giren gaz miktarına kıyasla daha büyük olduğu düşünüldüğünden dolayı C_i 'nin C_o 'dan küçük olması beklenen bir durumdur.

Giriş ve çıkış bilgileri (kütle akış hızları) mevcut ise;

$$C = \frac{W(\text{ölçülen})}{W(\text{teorik})} \quad (3.5)$$

C_o deneysel verilere dayanarak, neredeyse 0,7 olarak sabit iken C_i deneyden deneye değişim gösterebilmektedir.

Hava tutunum modeli

COMPBRN III içindeki hava tutunum modeli; yeni bir gaz sütunu tutunum modeli $\dot{W}_{PL}$, duvar akımı tutunum modeli $\dot{W}_w$ ve kapı yolu karışım etkisinden $\dot{W}_j$ oluşmaktadır. Bu modelin mantığında yangın kaynağı, zayıf bir nokta kaynak (*Boussinesq yoğunluk yaklaşımı*) olarak modellenir ve dikey hızı U ve sıcaklık farkı ΔT 'nin radyal yönde Gauss profiline sahip olduğu düşünülür. Eğime neden olan

kapı yolu akışı, orijinal gaz sütununu saptırır. Bu duruma “aerodinamik rahatsızlık” adı verilir. Dolayısıyla sütun, SGT’ye ulaşmak için daha fazla yol kat etmek zorundadır (Şekil 4-5). Bu eğim nedeniyle de kütle akış hızı artar [75].

$$Z \rightarrow Z / \sin \theta \quad (3.6)$$

Deneyssel veriler doğrultusunda; aerodinamik rahatsızlık neticesiyle oluşan açı, yan rüzgar etkisi, blokaj faktörü (M) ile gösterilebilir.

$$M = \left(\frac{1}{\sin \theta} \right)^{5/3} = 1,28 \rightarrow \theta = 60^\circ \text{ (çoğu yangında)} \quad (3.7)$$

Duvar etkisi; modelde yangın yakınına duvar eklenmesi sonucunda, gaz sütununun etrafından taze hava alacak verimli alanın azalması olarak tanımlanır. Bu durum sonucunda gaz sütunu ve sıcak gazların ortalama ısısı artacaktır. Gaz sütununa daha az hava gireceğinden dolayı sıcak gaz tabakası incelenecektir.

$$\dot{W}_{PL} = M W \dot{W}_{PT} = \text{blokaj} \times \text{duvar etkisi} \times \text{orijinal gaz sütunu} \quad (3.8)$$

Kapı yolu etkisi sonucunda alt tabakanın sıcaklığı artar ve bu sırada oksijen miktarı da yanma ürünlerinin seyreltilmesi ile azalır. Sıcak gaz tabakasına giren taze hava miktarı zamanla artarken, karışım neticesinde kapı yolundan soğuk taze hava girişi gerçekleşir ve ısıl ara yüz üzerinden sıcak gaz çıkışı görülür. Dışarı çıkan sıcak gazların bir kısmı türbülanslı kayma ortamının etkisiyle alt tabakaya sürüklenir, kaldırma kuvveti etkisiyle tekrar yukarı doğru çıkmaya başlar ve bir miktar daha taze (soğuk) havanın üste taşınmasına sebep olur. Bu ekstra miktardaki hava karışımı ($\dot{W}_J$) eski sürümlerinden farklı olarak COMPBRN III’de dikkate alınmıştır.

Duvar akımı kütle akış hızını $\dot{W}_W = 0,1 W_{PL}$ olarak kabul eden COMPBRN III, hava tutunum modelinin bütün halinde ise denklemi aşağıdaki haliyle kullanmaktadır.

$$W_E = 0,210 (\text{PLCF}) \rho_\infty \sqrt{g Z Q^{1/3}} Z^2 \quad (3.9)$$

çoğu yangın senaryosunda PLCF değeri;

- ♦ PLCF = 2 – kaynak oda sınırlarından uzakta
- ♦ PLCF = 1,5 – kaynak duvara bitişik
- ♦ PLCF = 1 – kaynak köşelerden birinde olarak tanımlanmıştır.

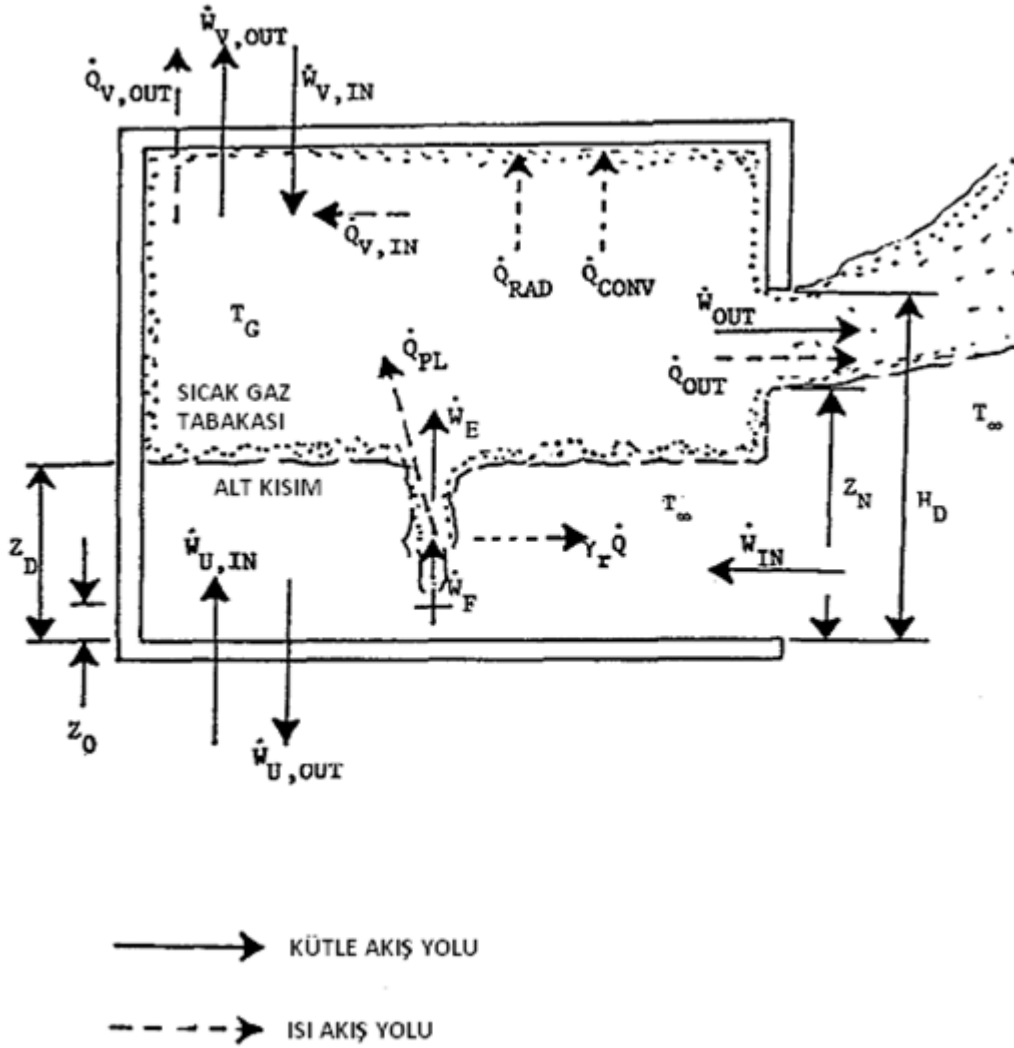
Kapısız kütle dengesi

Cebri havalandırmanın tüm yanma ürünlerini ve birikmiş havayı dışarı pompalayıp, SGT oluşumuna izin vermeyeceği durumlarda, kapı yolunun olmaması (kapı var ve kapalı ya da kapı yok) odanın tamamen sıcak gazlarla dolmasına sebep olur.

$$\dot{W}_F + \dot{W}_{U,V,IN} = \dot{W}_{U,V,OUT} \quad (3.10)$$

Odada basınç birikmesini önlemek için oda sınırlarından gaz sızıntısı olduğu kabul edilir. PLCF kapısız odalarda bir anlam taşımaz. $PLCF = 0$

$\dot{Q}_{PL} = \dot{Q}_{OUT} + \dot{Q}_{RAD} + \dot{Q}_{CONV} + \dot{Q}_V$ ile bilinmeyenlere erişilip, $\dot{W}_F + \dot{W}_{U,V,IN} = \dot{W}_{U,V,OUT}$ içinde yerine konulur.



Şekil 4-6: SGTM Özellikleri [80]

4.3.3.2 Isıl Aktarım Modelleri

Bu modeller ise aşağıdaki bileşenlerden oluşur.

- Gaz sütunu ısı aktarımı
- Gaz akışı nedeniyle ısı aktarımı
- Taşınımli ısı aktarımı
- Işınımlı ısı aktarımı

Alt bölge durağan (inert) olduğundan dolayı yalnızca üst bölgeye ait denge denklemi anlamlıdır.

$$\dot{Q}_{PL} = \dot{Q}_{OUT} + \dot{Q}_{RAD} + \dot{Q}_{CONV} + \dot{Q}_V \quad (3.11)$$

Kapı yolu Işınım Taşınım Cebri havalandırma

Gaz öbeği akışı

Denklem 3.1, 3.2 ve 3.3; T_G , Z_D ve Z_N 'ye bağlıdır. (Şekil 4-6)

Gaz sütunu ısı aktarımı

Sıcak gaz tabakasının yangın gaz sütunu akışından dolayı aldığı ısı miktarı;

$$\dot{Q}_{PL} = (1 - \lambda_r) \dot{Q} \quad (3.12)$$

Radyasyonla kaybedilen Q oranı Yangın kaynağından gelen toplam ısı salım hızı

$$\dot{Q} = \eta \dot{W}_F \Delta H \quad (3.13)$$

Yanma verimliliği Yakıtın yanma ısısı Yakıt kütle yanma hızı

Gaz akışı nedeniyle ısı aktarımı

Kapı yolu boyunca ve cebri havalandırmadan dolayı kaybolan, havalandırma nedeniyle dışarı çıkış yapan hava kaynaklı ısı denklemi,

$$\dot{Q}_{\text{FLOW}} = \dot{W}_{\text{FLOW}} C_p \Delta T \quad (3.14)$$

$\uparrow$
 $\dot{Q}_V$ ya da $\dot{Q}_{\text{OUT}}$ $\dot{W}_{\text{OUT}}$ ya da $\dot{W}_V$ Gazın ya da ortam havasının özgül ısı kapasitesi

Taşınımli ısı aktarımı ($\dot{Q}_{\text{CONV}}$)

Sıcak gaz tabakasından tavana ve duvara aktarılan ısı Newton'un soğuma yasası ile açıklanır.

$$\dot{Q}_{\text{CONV}} = h_c \Delta T A_{\text{WALL}} \quad (3.15)$$

$\swarrow$ $\nwarrow$ $\rightarrow$
Konveksiyon ısı aktarımı katsayısı Sıcak gaz – ısı değişim yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı Isı değişimi yüzey alanı

Bu ısı aktarım mekanizması, yüksek hızlı tavan püskürme (jet) akışından dolayı yalnızca tavan alanını hesaba katmaktadır.

Işınımlı ısı aktarımı

COMPBRN oda yangınlarında parçacık konsantrasyonlarını öngörmediği için oda sınırları ve tavan arasında oluşan ışınlı ısı aktarımının değerlendirilmesi deneysel yöntemlerle yapılmaktadır. Taşınımli aktarımda olduğu gibi ışınlı ısı aktarımından sadece yüzey alanları sorumludur.

Sıcak gaz tabakasını sonsuz bir levha kabul edip, D_G kalınlıkta, (sıcak gaz tabakasının) emilim katsayısını ise dalga boyundan bağımsız olarak gri vücut yaklaşımından [76] yola çıkarak Boltzmann yasasıyla öngörmektedir.

$$\dot{Q}_{\text{RAD}} = A_{\text{CEIL}} F_{\text{HGL-CEIL}} (T_G^4 - T_{\text{CEIL}}^4) \quad (3.16)$$

$\uparrow$
Sıcak gaz – ısı değişim yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı

5 KOD DOĞRULANMASI

Tezde kullanılmak üzere seçilen COMPBRN III kodu, yangın modelleme konusunda onaylanmış bir kod olmanın ötesinde, NRC tarafınca da kullanılmış bir koddur. Kodun tez kapsamında kullanılıp sonuçlara etkiyecek değerlendirmelerde rol oynamasından önce bilimsel bir çalışmanın doğası gereği doğrulanması, tezin güvenilirliğini artıracaktır. Dolayısıyla aynı çalışma alanında, farklı yöntemler kullanılarak yapılan değerlendirmelere paralelliğinin sorgulanmasının yerinde olacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda, COMPBRN III kodunun onaylanması sürecinde NRC tarafından talep edilen ve kodun kullanıcı kılavuzunda verilen senaryo da kod ile çalışmaya başlanmadan önce defalarca denenip, çıktıları ile karşılaştırılmıştır [80].

5.1 Uluslararası İşbirliğine Dayalı Yangın Modelleme Projesi

NGS tasarımlarında kullanılacak yangın mevzuatı için gerekli olan risk ilintili ve performansa dayalı yaklaşımlarda, bilgisayar modellerinin ve analitik metotların kullanımı çeşitli yangın şartlarının kestirilebilmesi için büyük önem arz etmektedir. Geleneksel mevzuatlar çerçevesinden bakıldığında, yangıların önlenmesine yönelik sistem yapılandırmaları çoğunlukla işletim tecrübesi, test ve kodlar ile standartların kullanımına dayalı mühendislik yargısına dayanmaktadır. Öte yandan risk ilintili, performansa dayalı sistemlerde bilgisayar modelleri ve analitik metotlar, yangın önleme sistemlerinin karşısında duracağı tehlikeleri belirlemeye yönelik kullanılmaktadır.

Ekim 1999'da NRC ve Yangından Korunma Mühendisleri Birliği (SFPE) tarafından ortaklaşa bir proje başlatılmıştır. Yangından korunma modellerinin tartışılabileceği bir platform olan Uluslararası İşbirliğine Dayalı Yangın Modelleme Projesi (ICFMP), konularında uzman birçok deneyimli insanı ve kuruluşu bir araya getirmiştir [77].

5.2 Senaryo Geliştirme İşlemi

Modellemelerde kullanılacak olan senaryoların geliştirilmesinde takip edilmesi gereken bir düzen bulunmaktadır. Bu düzende ilk adım nükleer güç uygulamalarında kullanılacak yangın modellerinin oluşturulma amaçlarını belirlemektedir. Dolayısıyla uygulamalar oluşturulduktan sonra yangın senaryoları

ve deneyler zaman içinde o uygulamalara göre şekil almaktadır. Bu düzen içindeki ikinci adım ise hali hazırda var olan yangın modellerinin farklı önlemler ve güvenliği iyileştirecek kararları desteklemede nasıl kullanılacaklarının belirlenmesidir.

5.3 Değerlendirme Çalışmalarının Tasarımı

Proje kapsamındaki çalışmalarda kör hesaplamalar, yarı-kör hesaplamalar ve açık hesaplamalar olmak üzere üç farklı hesaplama tekniği kullanılmıştır.

Kör hesaplamalarda; modelleyicilere yangın ortamı hakkında bilgiler sağlanırken, yangın büyüme analizi kendilerine bırakılmıştır. Bu hesaplamalara katılmayan üçüncü kişi olan gözlemci ise model sonuçlarının deneysel sonuçlara dayanmadığını onaylamaktadır.

Yarı – Kör hesaplamalarda; modelleyicilere deneysel olarak elde edilmiş yangın boyutları, kütle ya da ısı salım hız (HRR) eğrileri formunda verilmiştir. Fakat bölme sıcaklığı, ısı akışları ya da diğer deneysel veriler hakkında hiçbir bilgi kendilerine sağlanmamıştır.

Açık hesaplamalarda ise modelleyiciler tüm deneysel verilere erişebilmekte ve bu verileri model sonuçları ile karşılaştırabilmişlerdir.

Değerlendirme kapsamında ise proje iki aşamaya ayrılmıştır. İlk aşamada nükleer güç santrallerinde yangın güvenliği analizi için geçerli yangın modelleri değerlendirilirken, ikinci aşamada bu modellere ait bir doğrulama veritabanı üzerinden ilk aşamada tanımlanan modelleri tartarak ilgili geliştirmeler uygulanmıştır. Projenin esas amacı çeşitli yangın senaryolarının analizleri kapsamında yangın modellerinin yeteneklerini değerlendirmektir. İlgili deneylerin yer aldığı dokümanın yangın modellemesi kullanıcılarına bir kılavuz niteliğinde olmadığı da ayrıca belirtilmiştir.

Kullanılan model türleri; alan, toplu parametre (bölge) ve CFD (kontrol hacmi) modelleri olmak üzere üçe ayrılmıştır.

Temsili bir acil durum kontrol odasında karşılaştırmalı kestirimlerden oluşan birinci değerlendirmede çeşitli yangın modellerinin kablo kanalı yangınlarının

analizlerinde kullanılması ve sonuçlarının değerlendirilmesi yer almıştır. Tipik bir PWR için acil durum kumanda odası temsil edilmiş ve oda içinde bulunan kablo kanallarının yangın sonucunda etkileşimleri ve aralarında bırakılabilecek en uzak mesafe tespit edilmiştir. Her iki değerlendirme de iki kısma ayrılmıştır. İlk değerlendirmede kablo kanalının alev almasına sebep olabilecek bir yangın (çöp kutusu) ile kablo kanalı arasındaki en yüksek yatay mesafe belirlenmeye çalışılırken, ikinci değerlendirme bir kablo kanalının yatayda farklı bir mesafede bulunan diğer bir kablo kanalındaki yangın neticesiyle hasar görüp görmeyeceğini sorgulamaktadır. Bir bakıma yedeklilik prensibinin sorgulandığı bu değerlendirmede aynı zamanda kapı pozisyonu (açık veya kapalı) ve mekanik havalandırmanın etkisi de analiz kapsamındadır.

Acil durum kontrol odası değerlendirmesinde CFAST, FLAMME_S, MAGIC gibi alan modellerinin yanı sıra, CFX, FDS ve JASMINE gibi CFD modelleri de kullanılırken, COCOSYS isimli toplu parametre modeline de ayrıca yer verilmiştir. Dolayısıyla alan modelleri, kontrol hacmi modelleri ve toplu parametre modellerinin hepsi analizde kullanılmış, yaklaşık olarak yakın sonuçlar alınmıştır. Fakat alev alma sıcaklığı 370 °C olarak belirlenen hedef kablo kanalı için bu sıcaklık hiçbir değerlendirme sonucunda 80 °C'yi geçmemiştir. Model 16,2 x 9,1 x 4,6 (m) boyutlarındaki bir odada tanımlanmıştır.

İkinci değerlendirme ise yangın modellerinin geniş mekanlarda uygulanırılığı incelenirken, duman akışı ve yatay aralıklar boyunca hava akışı gibi karmaşıklıklar da hesaba katılmıştır. İlk kısımdaki deney tam ölçek üzerinden yapılmış, heptan yangın örnekleri (oksijen içinde bulunan) Finlandiya'da bulunan VTT Test Koridorunda (*Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus*) farklı havalandırma koşulları altında gerçekleştirilmiştir. İkinci kısımda deneysel hiçbir ölçüme yer verilmese de, 70 MW'lık güce eşdeğer bir yangının etkileri araştırılmıştır. Bina boyutları bir türbin koridorununkine oldukça yakın olup, alt ve üst güverte olmak üzere ikiye ayrılmış, bu iki bölüm ise 2 adet sabit kapak ile bağlanmıştır. Çeşitli doğal ve mekanik havalandırma senaryoları da araştırmaya dahil edilmiştir. Bunlara ilaveten gaz sıcaklıklarının, havalandırma akışlarının vs. hesaplanması için katılımcılardan kabloların ya da giriş hedeflerin maruz kalabileceği hasarı kestirmeleri istenmiştir [78] .

5.4 COMPBRN III Uyarlaması

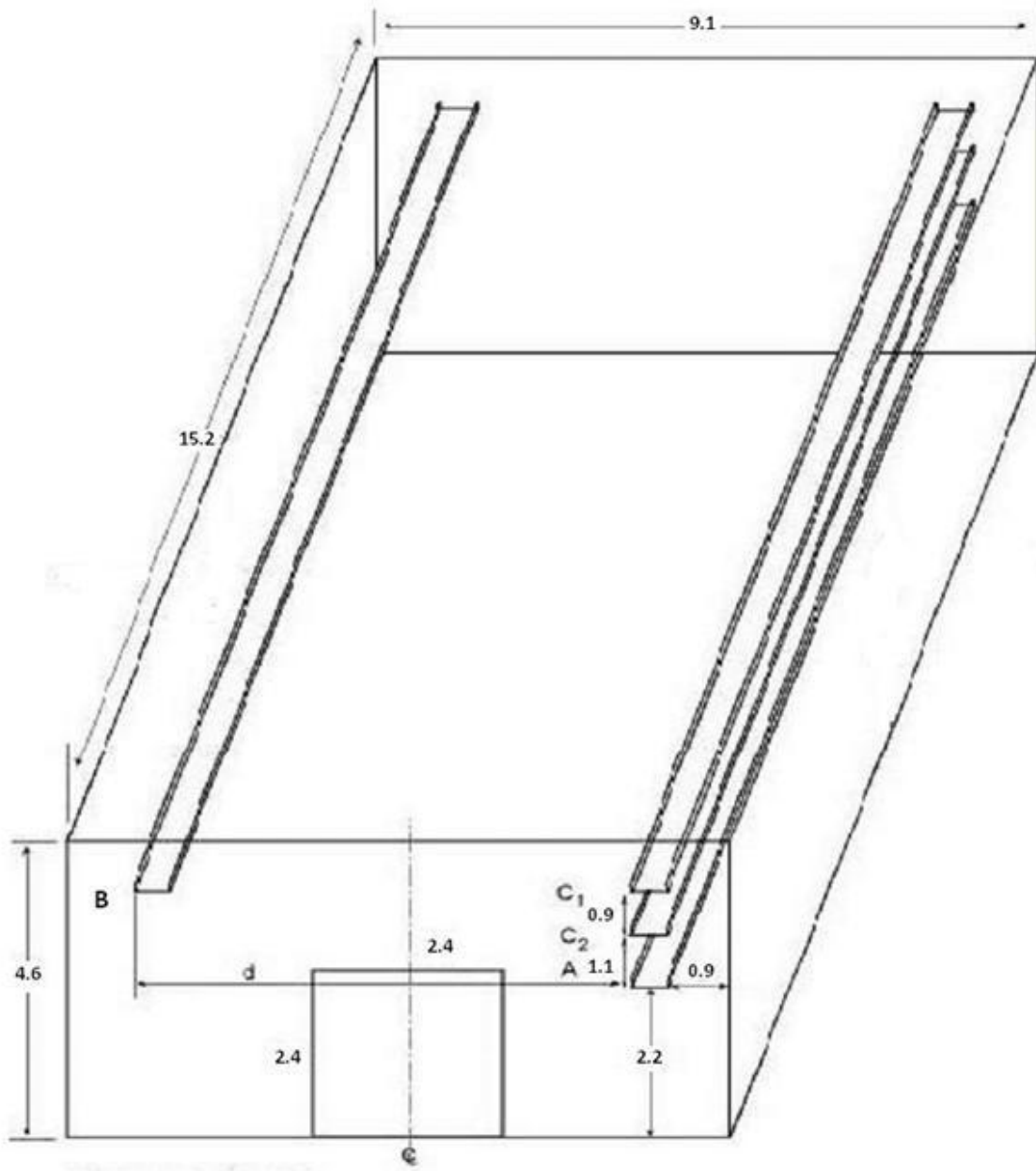
COMPBRN kodunun ICFMP deneyine uyarlanması kapsamında, kablolar arasındaki uzaklığın ve hedef kablo sıcaklığının tespitinde COMPBRN III kodu kullanılmıştır. Sonuçlardan yola çıkarak, kodun uygulanabilirliği hakkında bir çıkarıma ulaşılması hedeflenmiştir.

Öncelikle, kod kullanılarak ICFMP deneylerinden biri modellenmiş ve kodun, sıcak gaz tabakasının sıcaklığını oldukça konservatif (deneysel olarak ölçülenden daha sıcak) hesapladığı görülmüştür. Bahsedilen modellemenin sonucu tezin Ek F kısmında verilmiştir.

ICFMP tarafından birçok koda uyarlanan değerlendirme esas senaryosunda, oda içinde hava akışının olmadığı, havalandırma sağlayacak kapıların da kapalı konumda olduğu, konservatif yaklaşımlar neticesinde kabul edilmiştir. Tez kapsamında COMPBRN III'e uyarlanan ICFMP 1.değerlendirme, ikinci kısım hakkındaki bilgiler şu şekildedir:

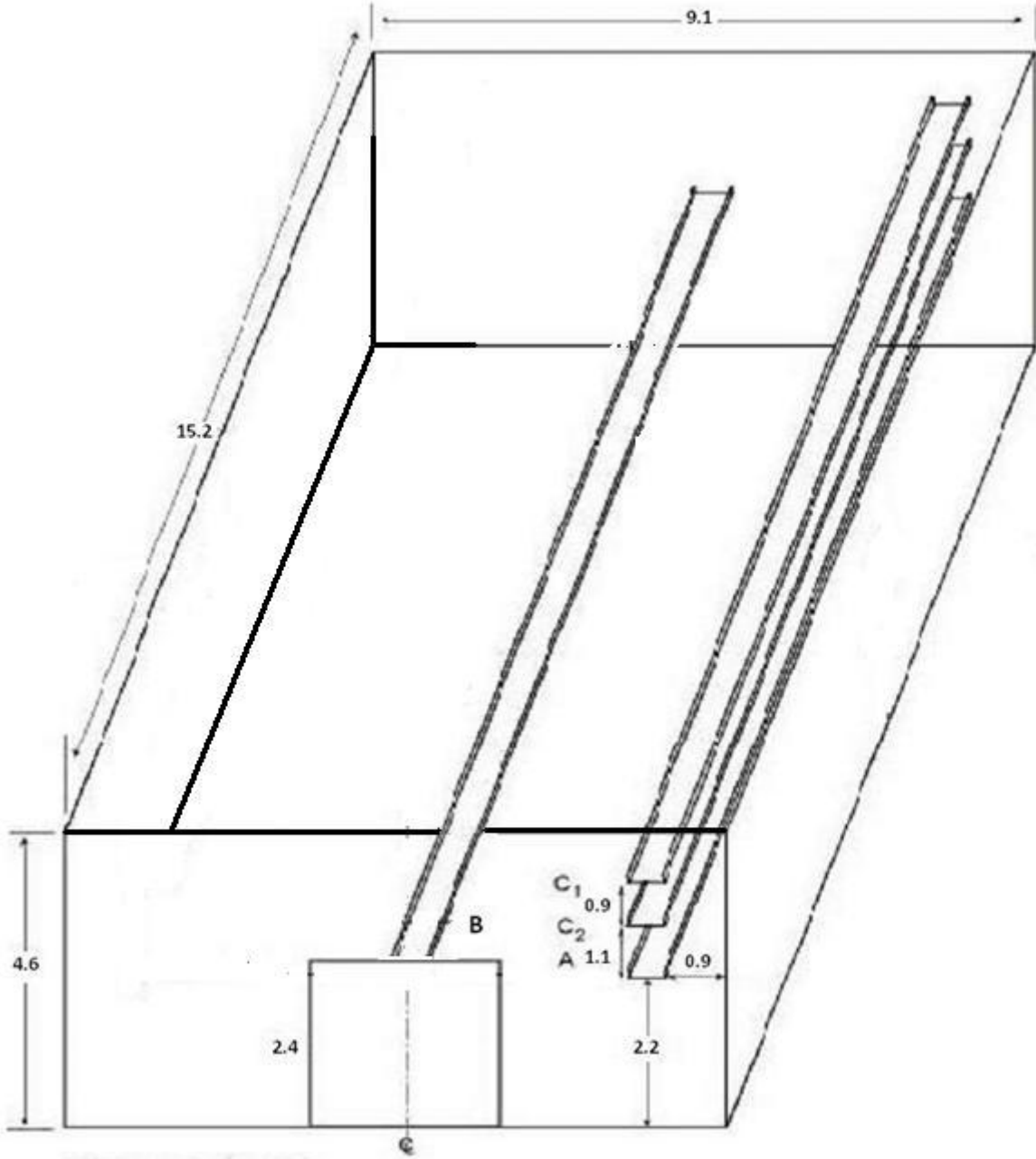
3 adet yedekli kablo kanalına D mesafesinde bulunan B kablo kanalında çıkan yangının, odanın diğer ucunda bulunan kablo kanallarından (A,C1,C2) en altta olanına (A) verebileceği ısı hasar araştırılmıştır. Yangının başladığı kablo kanalının mesafesi değiştirilerek, tasarım için gerekli minimum mesafenin belirlenmesine çalışılmıştır. COMPBRN III'e uyarlanan bu değerlendirme ayrıca, yedekli kabloların yalıtımı ve yangına dayanıklılıkları değiştikçe hasar sıcaklıkları da değişeceğinden, süper modül yüzey sıcaklıkları üzerinden fikir edinmemize de olanak tanımıştır. Elde edilen sonuçların, ICFMP değerlendirmesi ile paralelliği doğrultusunda, kodun uygulanabilirliği hakkında fikir sahibi olunmuştur.

Modellemenin oluşturulacağı geometriye karar verilerek uyarlamaya başlanmıştır. Odanın uzun kenarı x-düzlemine, kısa kenarı da y-düzlemine oturtulmuştur. Kablo kanallarının orta noktaları belirlenmiş, yangına karşı ilgili verileri, deney hakkındaki açıklamalardan alınmıştır. Ana senaryoda havalandırmanın olmadığı ve kapının kapalı olduğu kabul edilmiştir. Uyarlama da bu senaryoya göre yapılmıştır.



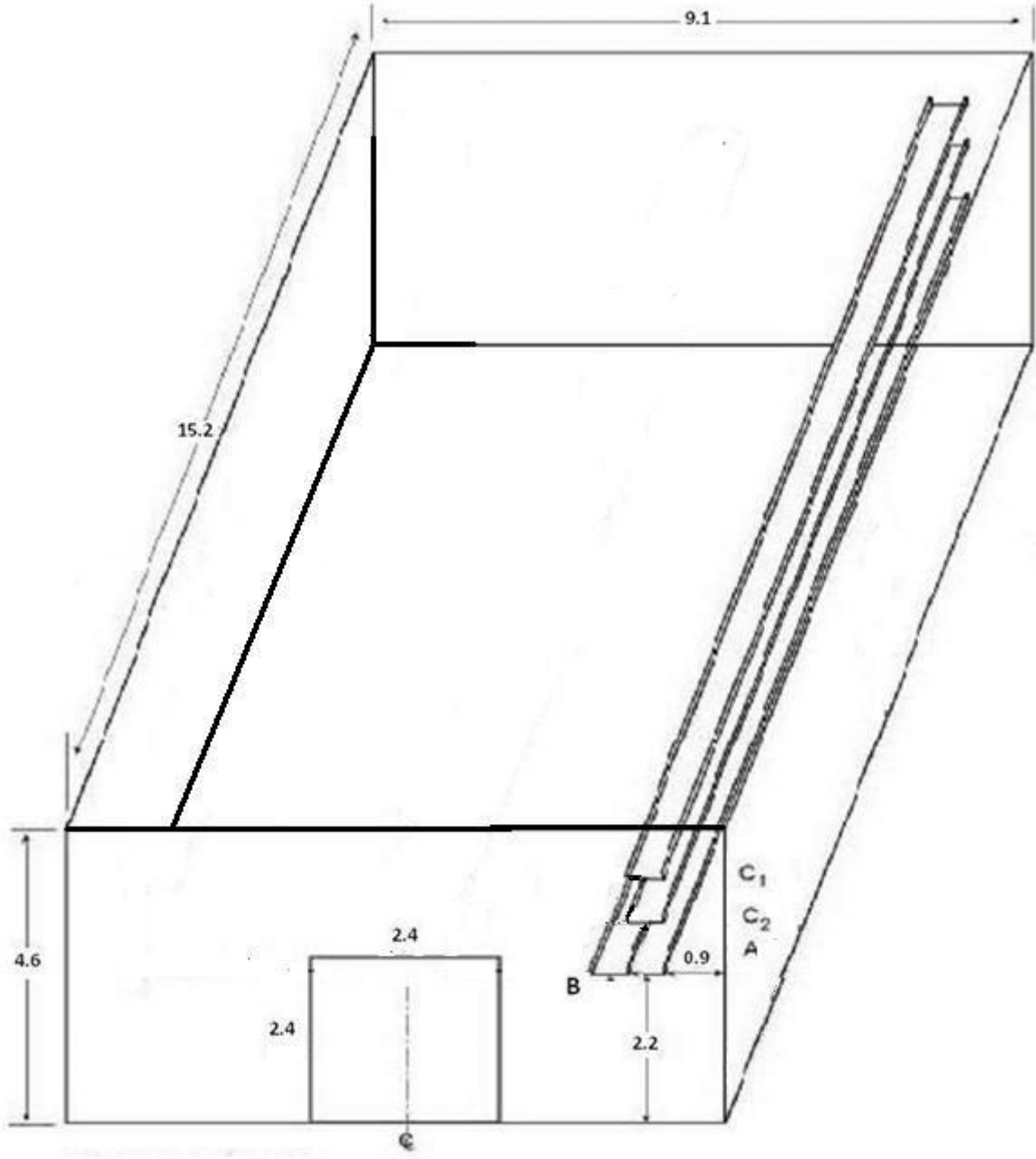
Şekil 5-1: Uyarlama I

İlk değerlendirmede ayrıca hiçbir veri girilmemiştir. 154 dakika sonunda, yangın kendiliğinden sönmektedir. Son durumda A kablo kanalının sıcaklığı 306 K (33 °C) olarak gözlenmiştir. Oda sıcaklığının çok az üzerinde olan bu değer, odanın diğer ucunda yanan kablo kanalının etkisinin neredeyse hiç olmadığına göstergesidir. Bu durum da kablo kanalları arasındaki mesafenin uygunluğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 5-2: Uyarlama II

İkinci uyarlamada odanın tam ortasına kaydırılan B kablo kanalı ile aynı yükseklikteki diğer kablo kanalı A'nın orta noktaları arasındaki mesafe de 3.35 metreye düşürülmüştür. 154 dakika sonunda A kablo kanalının sıcaklığı 328 K'e (55 °C) yükselmiştir. C₁ kablo kanalının, altında bulunan diğer iki kablo kanalından (A ve C₂) daha fazla ısınmış olması da sıcak gaz tabakasının yükseldikçe etkisini göstermesi olarak düşünülebilir.



Şekil 5-3: Uyarlama III

Bu değerlendirmede ise B kablo kanalı ile A kablo kanalının bitişik olduğu kabul edilmiştir. Neticede 154 dakika sonra ortaya çıkan tabloda, A kablo kanalının sıcaklığı 360 K'e (87 °C) yükselmiştir. Dolayısıyla yangının başladığı kablo kanalının hedef kanallara en yakın olduğu durumda bile kablo hasarı gözlenmemiştir.

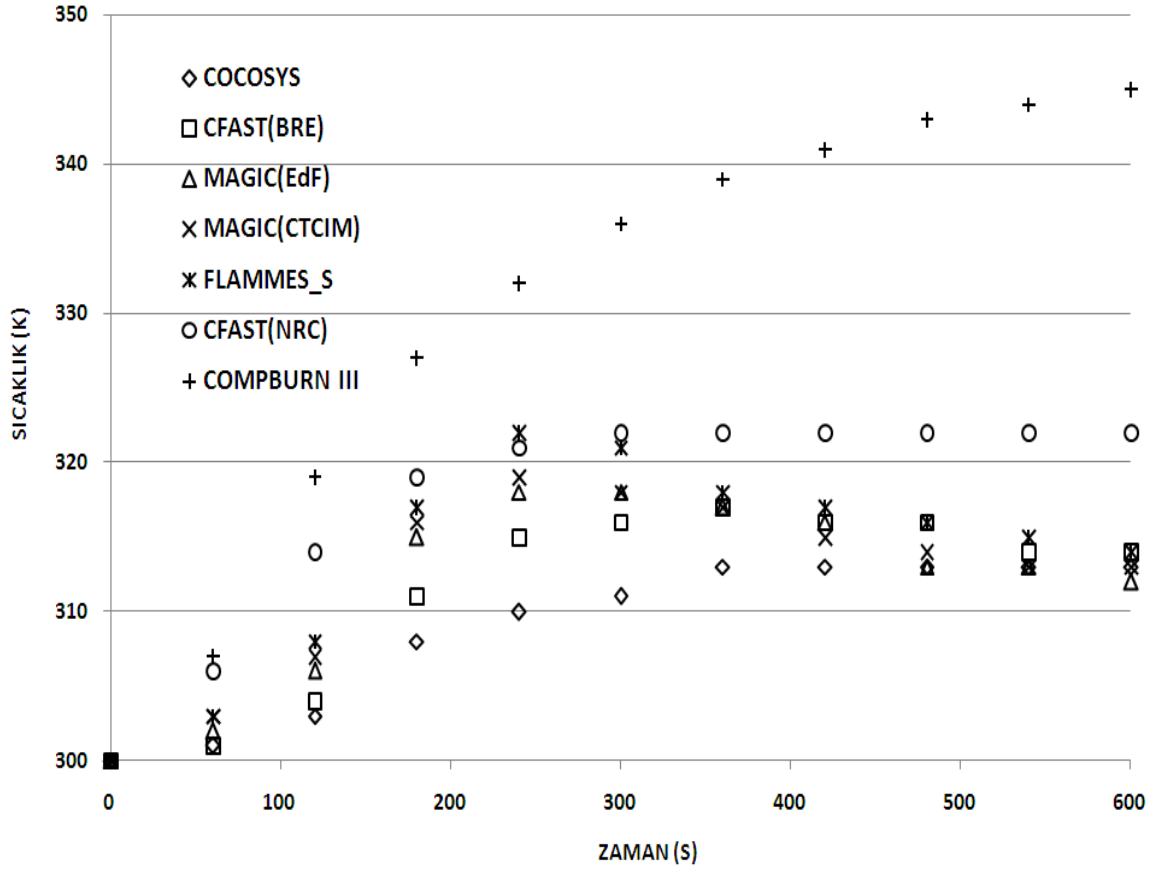
Son değerlendirmede ise, kapının açık olduğu ve cebri havalandırmanın ICFMP deneylerinde verildiği üzere saatte 5 oda hacmi ($0.88 \text{ m}^3/\text{s}$) kadar olduğu kabul edilmiştir. COMPBRN III sonuçlarına bakıldığında, cebri havalandırmanın yangın üzerinde önemli etkisi olduğu görölmektedir. Program çıktıında, yangın kaynağının sıcak gaz tabakası oluşturamayacak derecede zayıf kaldığı uyarı verilmiş, yangın büyümeden sönmüştür.

5.5 Sonuç

COMPBRN III kodu kullanılarak yapılan analiz kapsamında; ICFMP Değerlendirme 1, Kısım II. Esas senaryo ve cebri havalandırmanın olduğu senaryo uyarlaması yapılmış, kablo kanallarının ısı hasar görmediği sonucuna varılmıştır.

ICFMP tarafından yapılan modellemeler sonucunda ortaya çıkan genel durumda ise yangın, oksijen yetersizliği yüzünden sönmekte ve A kablo kanalındaki yüzey sıcaklığı 400 K ($127 \text{ }^\circ\text{C}$) üzerine çıkmamaktadır [79]. COMPBRN III ile yapılan modelleme neticesinde de, A kablo kanalının sıcaklığı en fazla 360 K ($87 \text{ }^\circ\text{C}$) olarak gözlemlenirken, modellemede kablo hasarına sebep olacak sıcaklık değeri 473 K ($200 \text{ }^\circ\text{C}$) olarak kabul edilmiştir [77]. Dolayısıyla COMBRN III modellemesinin ICFMP tarafından yapılan çalışmalar ile paralellik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. ICFMP deneylerinde kullanılan kodlar arasında da bu tarz farklılıklar olduğu belirtilmiş, neticede COMPBRN III kodundaki bu farklılığın da ICFMP deneyleri için kullanılan model farklılıklarından kaynaklandığı kabul edilmiştir.

ICFMP deneylerinde kullanılan kodlar ile COMPBRN kodu kullanılarak yapılan modelleme sonucunda, yedekli kablo kanallarından en aşağıda olan (şekil 5.3) hedef kablo kanalı A'nın yüzey sıcaklığı – zaman eğrileri her bir koddan alınan sonuçlar doğrultusunda grafikte gösterilmiştir (şekil 5-4). COMPBRN III ile hesaplanan yüzey sıcaklıkları Uyarlama III'den alınmıştır. Grafikten okunan değerlerden en yüksek sıcaklıklara bakıldığında COMPBRN III ile yapılan modellemenin tüm bu deneylerde kullanılan kodlara nazaran oldukça konservatif olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5-4: ICFMP, Değerlendirme 1, hesaplanan hedef yüzey sıcaklık eğrileri

Benchmark egzersizlerinde kullanılan modellerin çoğu Uluslararası Ortaklaşa Yangın Modelleme Projesi (ICFMP) deneyleri kapsamında, hacimleri 10 m^3 ile 1200 m^3 arasında değişen kompartımanlarda 100 kW ile 2.5 MW aralığındaki yangın deney verileri ile karşılaştırılmıştır. Bu kıyaslamalar veri setleri boyunca farklı yakınlıklarda sonuçlar raporlanmış ve çoğunlukla tatmin edici olmuşlardır [78].

6 DİZEL JENERATÖR BİNALARI VE YANGIN

Acil durum dizel jeneratörleri, bir NGS'de saha dışı güce erişilemediği durumlarda (kaza durumu, şebeke bakımı vs.) santrale güç vererek reaktörün devamlılığını sağlayıp, durdurulan reaktördeki artık ısının düşürülmesinde gerekli sistem ve bileşenlere güç tedarik ederler. Saha içi güç olarak tabir edilen gücü tedarik eden bu jeneratörlere alternatif olarak da (aşırı ısınma, mekanik arıza, yakıt kirlenmesi vs.) yine santral sahasında bulunan büyük bataryalar tasarlanır. Fakat batarya ömürleri türlerine göre değişmekle beraber en fazla 4-5 saat civarlarındadır ve bu süreler, durdurulan reaktörde oluşacak aşırı ısının bertarafı için yeterli olmayabilir. Santrale saha içi ve saha dışı güç verilemediği durumlara “santral kararması” denilmektedir. NRC'ye göre, kor hasar frekansına en büyük risk bileşeni “santral kararması” tarafından gelirken [82], Acil Durum Kor Soğutma sistemlerinin kaybına da % 3.41'lik oranla sebebiyet verirler [81].

Dizel jeneratörler santralde acil durumlar yaşanmadığı takdirde yalnızca periyodik bakım zamanlarında çalıştırıldıklarından, nadiren çalışan parçalarının arıza verme riskini de göze alarak yedeklemeye önem verilerek tasarlanırlar. Temel bir dizel jeneratör binasının bileşenleri;

- (a) yakıt ve depolama sistemi,
- (b) soğutma sistemi,
- (c) hava transfer sistemi,
- (d) motor yağlama sistemi,
- (e) egzoz sistemi

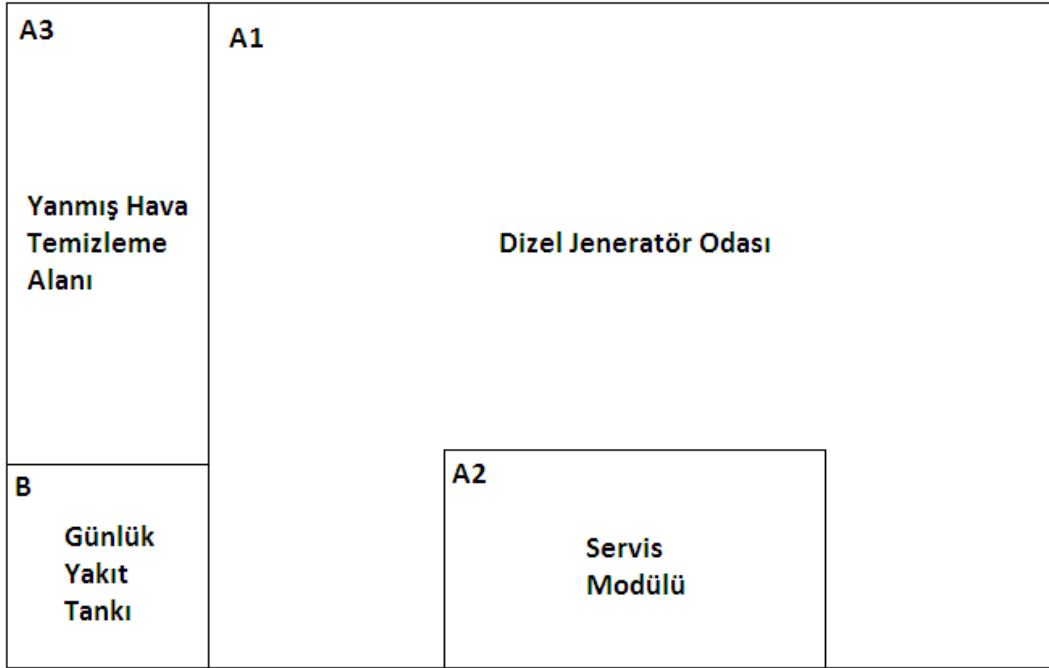
olarak 5 kısma ayrılır.

Her biri kendi sınıfında ilgili kalite gereklerine göre tasarlanmış olup, sistemin doğru çalışmasına yardımcı olan algılama yöntemleriyle donatılırlar. Tasarıma göre sayıları ve yedeklilik kriterleri değişebilir. Ayrıca dizel jeneratörde tercih edilen motorun tipine göre yakıt tüketimi değişeceğinden, günlük yakıt depolama ve esas depolama ünitesindeki dizel yakıt miktarı ve ilgili makine yağlama sistemlerinin içerdiği makine yağı miktarları değişir. Bina içinde bulunan ve teoride yanabilen

her türlü madde de dizel jeneratör binasında yapılacak bir modellemede “yanıcı” düzeylerini belirler.

6.1 Dizel Jeneratör Binası

Modelleme kapsamında kullanılacak tipik bir dizel jeneratör binasının duvarları olası bir yangına karşı 3 saat dayanıklı bariyerler ile korunmaktadır [85]. Tipik bir (1000 MWe) reaktörde 2 ila 3 adet dizel motor kullanılmaktadır. Elbette ki bu rakam, santralin gerekli durumlarda ihtiyacı olan saha elektriğine göre, yani tasarıma göre değişecektir (Şekil 6-1). Metal kaplama ile yalıtılmış tek katlı ve çelik çerçeveli bir yapı olan dizel jeneratör binasının tavan kısmı, beton levhayı destekleyen metal bir göğüsten oluşmaktadır. Bu yapı merkezden uzaktaki yükleri, duvar dayanaklarına ve temele iletecek yatay bir ayraç olarak görev yapmaktadır.



Şekil 6-1: Dizel Jeneratör Binası

6.1.1 Yapısal Bileşen ve Sistemler

Dizel jeneratör binaları genel olarak aşağıdaki başlıca sistemlerden oluşmaktadır [83].

- ♦ Yakıt depolama ve transfer sistemi,

Dizel jeneratörlerin ihtiyaç duyduğu yakıtın motora kadar iletilmesindeki patikanın ilk basamağında bulunan depolama tankları tipik tasarımlarda santrale 6-8 saat

arasında güç tedarik edebilecek miktarda yakıtı barındırırlar. Gelişmiş tasarımlarda ise her bir jeneratör için ayrı bir depolama tankı bulunmaktadır. Bu iletim hattının devamında ise, depodaki yakıtın, dizel jeneratör binası içinde bulunan günlük tanklarına aktarılması vardır. Depo kapasiteleri 50000 galon ($\sim 190 \text{ m}^3$) üzerinde olabilirken, günlük tank kapasiteleri 1000 galon ($\sim 4 \text{ m}^3$) civarındadır. Depodan günlük tanka iletilen yakıt daha sonraki basamakta, iletim hatları üzerinde bulunan sarmal vanalar ve yer çekimi kuvvetiyle dizel motorlara aktarılmaktadır. Tesiste kullanılan yapı, sistem ve bileşenlerin olduğu gibi burada kullanılan dizel yakıtın da ilgili mevzuatlar gereğini karşılaması gerekmektedir [84].

- ◆ Soğutma sistemi

Kapalı devre olarak çalışan su soğutma sistemi, dizel motor yağının soğutulmasını sağlarken, bekleme durumunda ise aşınmayı önlemek maksadıyla belirli bir sıcaklık seviyesinde tutmaktadır.

- ◆ Hava transfer sistemi

Dizel jeneratörlerde oksijen yanması gerçekleştiren turbo dönüştürücüler bulunduğundan çalışmaya başlamaları için acil durum hava depolama tankları tarafından yüksek basınçlı hava ile beslenirler.

- ◆ Motor yağlama sistemi

Bu sistem dizel motora ve jeneratör yatak yüzeylerine kontrollü basınç ve sıcaklık altında temiz ve filtrelenmiş yağ sağlamaktadır.

- ◆ Egzoz sistemi

Yanmış ürünlerin dizel jeneratör binasından dışarı, atmosfere atılmasına yarayan sistemdir. Dizel jeneratör binalarının tasarımlarında, saha içi olarak besleme yapacağı tesisin tasarımından, sahanın kurulu olduğu bölgenin sismolojik ve jeolojik özelliklerine kadar birçok faktör etkili olmaktadır. Jeneratörün üretebileceği gücü de santralin ihtiyaç duyacağı güç miktarı tasarım aşamasında belirlemektedir. Ayrıca jeneratörlerin verimliliklerine göre ihtiyaç duyacakları yakıt miktarları ve iletim hatları değişmektedir.

6.1.2 Bina İçindeki Yangın Bölgeleri

Yangın bölgesi A

Yükseklikleri tasarımıla birlikte değişmekle beraber, yaklaşık olarak 7 metreyi bulmaktadır. İlgili yangın bölgesinde hiçbir radyoaktif madde bulunmamaktadır.

Yangın bölgeleri ve içerdiği yanıcı maddelerin yaklaşık miktarları:

- A1 Dizel jeneratör odası ~ 950 m³ hacim, 0.4 m³ yakıt, 2 m³ makine yağı, 500 kg kablo yalıtım malzemesi
- A2 Servis Modülü ~ 200 m³ hacim, 1 ton kablo yalıtım malzemesi, 50 kg evrak
- A3 Yanmış hava temizleme bölgesi ~ 190 m³ hacim, 250 kg kablo kanalı, 500 kg evrak

Bu malzemelerin yanma ısıları ise;

- Kablo yalıtım malzemesi = 5650 kcal/kg
- Dizel yakıtı = 9500 E+3 kcal/m³
- Makine yağı = 10000 E+3 kcal/m³
- Evrak = 4250 kcal/kg

Yangın algılama ve söndürme özellikleri

- Servis modülündeki yangın dedektörleri
- Dizel jeneratör odasındaki kuru boru fışkiyeleri
- Hortum üniteleri
- Taşınabilir yangın söndürücüler (karbon dioksit içeren)

Duman kontrolü özellikleri

Dizel jeneratör binası havalandırma sistemi;

- motor odası hava kontrol birimi,
- servis modülü hava kontrol birimi ve
- bekleme durumu egzoz fanlarından oluşmaktadır.

Motor odası hava kontrol birimi ve servis modülü hava kontrol birimi, yangın mahallindeki yangın söndürme sisteminin devreye girmesiyle ya da hava kontrol biriminin destek hava ağzında duman algılandığı zaman kendini kapatır.

Bekleme durumu egzoz fanları ise yangın söndürme sisteminin devreye girmesiyle kapanmaktadırlar.

Tüm bu önlemler yangını ve dumanının yayılmasını önlemek amacıyla alınmaktadır. Yangın bittikten sonra ortamda bulunan duman yangın bölgesinden manüel olarak yangın bölgesinin üzerindeki havalandırma egzoz fanlarının çalıştırılmasıyla, dışa doğru açılan kapılar ve personel kapılarıyla ya da taşınabilir egzoz fanları yardımıyla dışarı atılmaktadır.

Yangından korunma yeterliliğinin değerlendirilmesi

Dizel jeneratör odasında çıkan yangın, kuru borulu fıskiye sisteminin lokal olarak ürettiği görsel ve işitsel alarmlar ile kontrol odasına ve güvenlik merkezi alarm istasyonuna bildirilir. İlgili bölgede çıkan yangın, otomatik yangın söndürme sistemi ya da manüel olarak, hortum ile ya da taşınabilir söndürücüler yardımıyla etkisiz hale getirilir. Dizel jeneratör altındaki bölge ise kuru borulu fıskiye sistemlerinden gelen püskürmeye karşı zırhlanmış olup, tabanda biriken su zamanla ilgili bölgeye akar.

Servis modülünde çıkan bir yangın ise aynı şekilde uyarı veren bir yangın dedektörü ile kontrol odası ve güvenlik merkezi alarm istasyonuna bildirilir.

Yangın bölgesi A1'da bulunan yanıcı maddeler temel olarak elektrik kabloları, makine yağı ve dizel yakıttan oluşmaktadır.

Yangın Bölgesi B (~9 m², 63 m³)

Yangın bölgesinde 6 m³ hacminde dizel yakıt bulunmaktadır.

Bu yangın bölgesi de dizel günlük yakıt tankının bulunduğu yangın bölgesinden oluşmaktadır. A bölgesinde olduğu gibi bu bölgede de hiçbir radyoaktif madde bulunmamaktadır.

Yangın algılama ve söndürme özellikleri

- ✦ Dizel jeneratör odasındaki kuru boru fıskiyeleleri
- ✦ Hortum üniteleri
- ✦ Taşınabilir yangın söndürücüler

Duman kontrolü özellikleri

Dizel jeneratör binası havalandırma sistemindeki yangın damperleri, bu bölgesi diğerlerinden tecrit etmek için yüksek sıcaklıklarda otomatik olarak kapanmaktadır. Bu sayede harici tehlikelere karşı günlük yakıt tankı da korunmaktadır. A1 bölgesindeki yangın söndürme sisteminin devreye girmesi üzerine B bölgesindeki egzoz fanları durmaktadır. A bölgelerinde olduğu gibi bu bölgede de yangın ve dumanın yayılması önlenmektedir. Yangın sonrasında, ortamda biriken duman taşınabilir egzoz fanları ve esnek hava kanalları sayesinde dışarı atılmaktadır.

Yangından korunma yeterliliğinin değerlendirilmesi

Bu bölgede çıkan yangın kuru borulu fıskiye sisteminin lokal olarak ürettiği görsel ve işitsel alarmlar ile kontrol odasına ve güvenlik merkezi alarm istasyonuna bildirilir. İlgili bölgede çıkan yangın, otomatik yangın söndürme sistemi ile etkisiz hale getirilir. Fıskiyelelerden gelen su tank altındaki küçük hendeği anında doldurur ve soğutur. Gerekli durumlarda yangın manüel olarak da söndürülebilir.

7 COMPBRN MODELLEMESİ

Aşağıdaki girdiler kabullere dayandırılmıştır. Bu parametreler tasarım dahilinde, maliyet faktörleri göz önüne alınarak değiştirilebilecek verilerdir. Koruyucu yaklaşımla en kötü senaryo göz önüne alınmıştır.

- ◆ Cebri havalandırma miktarı – yangın durumunda havalandırma kapatılacağı için 0 (sıfır) kabul edilmektedir. Fakat oda havasının (190m^3) temizlenme hızı değiştirildiği durumda elde edilen sonuçlar şu şekildedir;
 - Giriş çıkış oranları – eşit kabul edilmiştir. 0.5 – 0.5
 - $0.23\text{ m}^3/\text{s}$ (10 dk. içinde) çevre sıcaklığı 313K
 - $0,1\text{ m}^3/\text{s}$ durumunda 2K artış gözlemlenmiştir. Çevre sıcaklığı 315K
 - $0,05\text{ m}^3/\text{s}$ durumunda HGL’de 1K artış gözlemlenmiştir. Çevre sıcaklığı 316K
 - Tüm havanın gaz tabakasını terk ettiği, giren hava miktarının olmadığı ve oksijenin emildiği durumda bir şey değişmemiştir

Şekil 6-1’de görüldüğü üzere modelleme yapılmadan önce, dizel jeneratör binası

- ◆ A1 bölgesi, ana oda
- ◆ A2 bölgesi servis modülü bölgesi
- ◆ A3 bölgesi havalandırma bölgesi
- ◆ B bölgesi günlük yakıt tankı bölgesi

olmak üzere sınıflandırılmıştır.

3’er adet kablo kanalından oluşan kablo seti içindeki her bir kablo kanalının farklı görevleri vardır. Bu kablo kanalları güç, enstrümantasyon, algılama hatlarını taşırlar.

Senaryoda A3 bölgesi içinde yangın çıktığı ve bölge içinde bulunan kablo kanallarının yedekliliğini ve işlevselliğini tehdit ettiği düşünülmektedir. İlk set kablo kanalında çıkan yangının yedek olan diğer kablo kanalı setine etkisi ve ayrıca düşünülebilecek en kötü senaryo olarak bu tehdidin boyutlarının B bölgesine etkisi değerlendirilecektir.

Kod içinde 8 adet süper modül tanımlanmıştır (bkz. EK D: COMPBRN Dizel Jeneratör Oda Modellemesi). Bu süper modüller sırasıyla tavan, duvar ve 3'er kablo kanalından oluşan 2 set kablo kanalıdır. Yangının çıktığı yer olarak tanımlanan havalandırma bölgesi (A3) ile günlük yakıt tankının bulunduğu bölge arasındaki yüzeyde, yakıt tankını dışarıdan kaplayan yekpare bir betonarme yapı bulunmaktadır. Dolayısıyla bu kısım duvar olarak tanımlanmış, yangının duvara etkisi göz önüne alınmamıştır.

Günümüz tasarımlarında yakıt tankını harici kaynaklı yangınlara karşı koruyacak termal bariyerler de kullanılmaktadır. Günlük yakıt tankı bölgesindeki bu termal bariyerler, dizel jeneratör bölgesindeki sıcaklığın belirlenen limit üzerine çıktığında, tank bölgesini tecrit etmek maksadıyla kapatılmaktadır. Bu bariyerlerin kapatılamadığı durumda dizel jeneratör bölgesindeki yangının büyüyerek günlük yakıt tankına ulaşması kaçınılmazdır.

Öte yandan yangın söndürme sistemlerinin devreye girmesi üzerine, ilgili bölgedeki havalandırma da duracak, içeriye yangın ürünlerinin girmesi engellenecektir. Havalandırma sisteminin devre dışı kalması cebri sirkülasyonu sıfıra indirecek, yangın büyümesi duracaktır.

Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda kablo kanallarında bulunan yangın söndürme ve algılama sistemlerini devreye sokan enstrümantasyon kabloları, yakıt tankının esas işlevini görmesini sağlayan güç kabloları ve algılama kabloları hayati önem taşımaktadır.

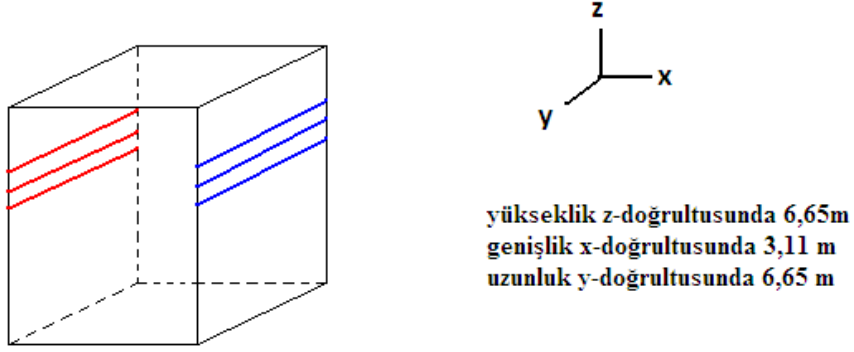
Kablo kanallarından esas ve yedekli olanların çalışmaması durumunda ise;

- a. Yakıt tankını tecrit edecek termal bariyerler devreye giremeyecek,
- b. Dizel motora gerekli yakıtı ulaştırılamayacaktır.

COMPBRN III yardımıyla, havalandırma bölgesinde bulunan kablo kanallarında çıkabilecek bir yangının, dizel jeneratör çalışmasını engelleyip, tehlike teşkil edebilecek durumlara sebep olup olmayacağı araştırılmış, dikkat edilmesi gereken noktaların ve yedeklilik ilkesinin altı çizilmiştir.

7.1 Senaryo A

- ✦ Kaynak kablo seti sol duvarda
- ✦ 0.30 m kaynak kablo seti orta noktası
- ✦ 2.81 m hedef kablo seti orta noktası
- ✦ 1.91 m temas uzaklığı



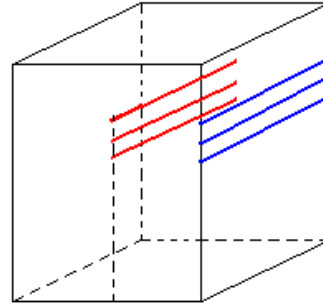
Şekil 7-1: Senaryo A

Senaryoda yangının başladığı kablo seti odanın sol duvarında, hedef kablo seti ise odanın sağ duvarında bulunmaktadır. Kaynak sette başlayan yangın; 157 dakika sonra yakıt tükenmesi ve alev yüksekliğinin azalması sebebiyle sönmüş, hedef setin yüzey sıcaklığını en fazla 329 K'e (56 °C) kadar çıkartırken, hasar sıcaklığı olan 483 K'nin (210 °C) altında kalmıştır.

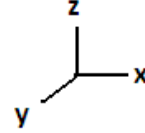
Kabloların yangın yavaşlatıcı ya da yangına dayanıklı olmaları hasar sıcaklığı eşiğini değiştireceğinden, bu veri göz önünde bulunarak gerekli kablo seçimi yapılabilecektir. Örnek verecek olursak, hasar sıcaklığı 329 K (56 °C) üzerindeki yalıtım malzemesi ile kaplı kablo seçimi uygun olurken, daha aşağısında bir hasar sıcaklığına sahip yalıtım malzemesi uygun olmayacaktır. Aynı şekilde, yangın söndürme sistemlerinin devreye gireceği enstrümantasyon sistemlerinin algılama eşik değeri de bu parametre göz önünde bulundurularak değiştirilebilecektir.

7.2 Senaryo B

- Kaynak kablo seti odanın ortasında
- 1.56 m kaynak kablo seti orta noktası
- 2.81 m hedef kablo seti orta noktası
- 0.65 m temas uzaklığı



1,25 m
orta noktalar
arası uzaklık



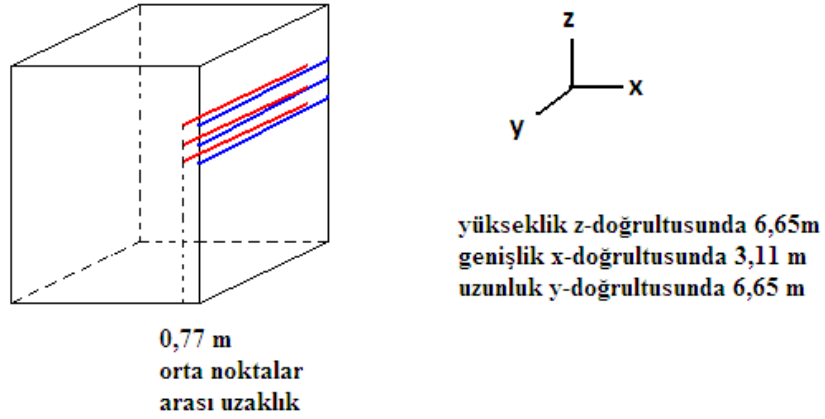
yükseklik z-doğrultusunda 6,65m
genişlik x-doğrultusunda 3,11 m
uzunluk y-doğrultusunda 6,65 m

Şekil 7-2: Senaryo B

Odanın ortasında bulunan, yangının başladığı ilk kablo seti, senaryo A'da 40 °C'ye ulaşmamış olan duvar sıcaklığını Senaryo B'de 60 °C üzerine çıkarmıştır. Fakat bu durum duvarların ısı emiliminden dolayı kablo kanallarına etki etmemiştir. Odanın ortasına yakın bölgelerde çıkan yangının oluşturduğu sıcak gaz tabakası modelinin daha iyi dağılım yapacağından dolayı bu durum 3 saat dayanıklı duvarlar için istenmeyen bir sonuç ortaya koymaktadır. Hedef kablo seti sıcaklığında bir değişim gözlenmemiştir.

7.3 Senaryo C

- ✦ Kaynak kablo seti sağ duvara yakın
- ✦ 2.04 m kaynak kablo seti orta noktası
- ✦ 2.81 m hedef kablo seti orta noktası
- ✦ 0.17 m temas uzaklığı



Şekil 7-3: Senaryo C

Bu senaryo sonucunda hedef kablo kanalı sıcaklığı 55 °C'den 80 °C'ye yükselmiştir. Dolayısıyla kablo kanallarından oluşan yedekli setler birbirlerinden ne kadar uzak olurlarsa sistemin benzer bir kablo kanalı yangını anında o kadar güvenli olacağı görölmüştür.

Her üç senaryoda da kablo setlerinin kütlelerinin %30'una kadar tükenmelerine izin verilmiştir. Bunun dışında kütle tüketimine %10'a kadar izin verildiği durumlarda da hedef kablo setlerinin yüzey sıcaklıklarında bir değişikliğe rastlanmamıştır. Her iki durumda da yangının söndüğü anda hedef kablo setlerinin yüzey sıcaklıkları 354 K (81 °C) civarındadır.

Tablo 7-1: Modelleme Senaryoları

Kablo seti sol duvarda: 0.3	Kablo seti ortada – orta nokta: 1.56	Kablo seti hedef sete yakın – orta nokta: 2.04	157 dakika sonunda
329	329	354	Hedef set kablo kanalı yüzey sıcaklığı (K)
311	335	335	Duvar yüzey sıcaklığı (K)
336	340	1790	Hedef set yüzeyde ölçülen ısı akısı (W/m ²)

8 SONUÇ VE TARTIŞMA

Nükleer Güç Santrallerinde gerçekleştirilen Yangın Analizleri çerçevesinde yapılan bu araştırma kapsamında, ICFMP deneylerinde modellenen senaryolar COMPBRN III koduna uyarlanarak, kod doğrulanmıştır. NRC gibi kuruluşlarca da kabul edilmiş ve doğrulanmış COMPBRN III kodu, tezde oluşturulan yangın senaryosunu modellemede kullanılmıştır. Bu modellemenin yapıldığı konum olarak, NGS'lerin nükleer güvenliği açısından önemi bilinen dizel jeneratörler seçilmiştir. Senaryoda, geçmişte yaşanan en sık yangın kazaları temel alınmış, kablolarla kısa devre sonucu gerçekleşen yangın senaryosu oluşturulmuştur. Modelleme sırasında kabloların yedekliliği ve farklı konumlar üzerinden aynı hedeflere ulaştırılmalarının (rotalama) önemine vurgu yapılmış, dizel jeneratör binasının iç tasarımı sırasında bu faktörlerin göz önüne alındığı varsayıp, sonuçlar izlenmiştir. Yedeklilik ilkesinin yerine getirildiği kabul edilmiş, farklı rotalar üzerinden modellemeler gerçekleştirilip, alınan sonuçlar raporlanmıştır. Araştırma sonucunda; yedeklilik prensibinin sağlanıp, uygun kablo rotalamasının korunduğu durumlarda, dizel jeneratör binasında kablo kaynaklı olarak çıkan bir yangının, dizel jeneratörün devamlılığını sekteye uğratmayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

NGS'lerde Yangın Analizleri kapsamında atılan adımların tesisin ömrü boyunca takip edilebileceği, bakım - yenileme gibi durumlarda tekrar edilebileceği ve gerekli görüldüğünde modellemeler ile desteklenebileceği düşünülmektedir. İşletme süresince yapılacak olan denetimler sırasında da bu analizlerin inceleneceği, geliştirmelerin ilgili mevzuatlar çerçevesinde gerçekleştirileceği bilinmektedir. Bu denetimler sırasında bahsi geçen mevzuatların uygulamadaki geçerliliğinin de doğrulanması maksadıyla geliştirilen çeşitli kontrol otomasyon modelleri bulunmaktadır [86, 87].

Geçmişte NGS'lerde çıkan yangınlar öncesinde gerçekleştirilen tüm analiz ve modellemeler sorunsuz çıksa da, insan faktörünün kazalar üzerindeki etkisinin yapılan bütün çalışmaları sonuçsuz bırakabildiği, özellikle de 1975 yılındaki Brown's Ferry NGS'sinde çıkan yangında görülmüştür. Bundan dolayı Yangın Analizleri'nde insan faktörü ve yangına yönelik davranışlarına verilen önemin çağımız koşulları da dikkate alınarak artırılması faydalı olacaktır. Bu konuyla ilgili olarak yapılmış çalışmaların [88,89] nükleer güvenlik kültürüyle birlikte

değerlendirilerek, NGS'lerde Yangın Analizleri ile bütünleştirilmesinin yangınların Olasılıklı Risk Değerlendirmesine de katkıda bulunabileceği düşünülmektedir.

Çıkan her yangın ve yaşanan kazalardan alınan dersler, ilerleyen zamanlarda çıkması muhtemel yangınların ortaya çıkaracağı sonuçları azaltacağından, sebep - sonuç ilişkisi içinde irdelenmeli, dokümantasyon eksiksiz sağlanmalı ve işletici, tasarımcı ve denetleyici ülkeler bu parametreleri iyi değerlendirmelidir. Bu süreç içinde koruyucu tedbirleri belirleyen mevzuatlar tecrübe ışığında ortaya çıkan parametreler doğrultusunda devamlı kendini yenilemelidir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

1. International Guidelines for the Fire Protection of Nuclear Power Plants. On behalf of the Nuclear Pools' Forum 4th edition, 2006.
2. Krasner, L. M. ve ark. Evaluation of Available Data for PRA of Fire Events at Nuclear Power Plants. Brookhaven National Laboratory, 1985.
3. Kazarians, M., Apostolakis, G. Fire Risk Analysis for Nuclear Power Plants. *School of Engineering and Applied Science*, University of California, 1981.
4. Evaluation of Fire Hazard Analyses of Nuclear Power Plants: A Safety Practice. *IAEA Safety Series*, No. 50-P-9, 1995.
5. Preparation of fire hazard analyses for nuclear power plants. *IAEA Safety Series*, No. 8, 1998.
6. Use of operational experience in fire safety assessment of nuclear power plants. IAEA-TECDOC-1134, 2000.
7. Keski-Rahkonen, O., Mangs, J. Electrical ignition sources in nuclear power plants: Statistical, modeling and experimental studies. *Nuclear Engineering and Design*, 2002.
8. 1999 World Nuclear Industry Handbook. Nuc. Eng. Int., 1999.
9. IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations. ANSI/IEEE STD 383-1974.
10. "Recommendations Related to Browns Ferry Fire". Report by Special Review Group, U.S. NRC, NUREG-0050, February 1976.
11. "ASSET team to visit Greifswald" and "German DR releases details of 1975 Greifswald fire." *Nuclear Engineering International*, April, 1990.
12. Reisch, F. Lessons from Greifswald incidents. *Nuclear Engineering International*, June 1990.
13. Heikki A., Jouko M. ve Heikki R. The Full Stories on Armenia and Beloyarsk. *Nuclear Engineering International*, July 1995.
14. V. Ho, ve ark. COMPRN IIIe: An Interactive Computer Code for Fire Risk Analysis. University of California at Los Angeles, EPRI NP-7282, May 1991.
15. G Divya Deepak. Accident Analysis of Narora Fire Accident. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 3(2), February-2012.
16. Osharovsky, A. Fire at the Kalinin nuclear power plant shuts down No 1 reactor for two days. 25 Temmuz 2012 tarihinde www.bellona.org/articles/articles_2010/kalinin_explosion adresinden erişildi.
17. Experience gained from fires in nuclear power plants: Lessons learned. IAEA-TECDOC-1421, 2004.
18. NS-G-1.7, Protection Against Internal Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plants. IAEA, 2004.
19. Nuclear Power Plant Fire Modeling Application Guide (NPP FIRE MAG) – NUREG 1934, 2011.

20. NIST GCR 07-907 Theoretical and experimental study on Fully-Developed Compartment Fires, 2007.
21. Ingburg, S.H., Tests of Severity of Building Fires, 1928.
22. Kawagoe, K., Fire Behavior in Rooms, 27. Building Research Institute of Japan, 1958.
23. Kawagoe, K. ve Sekine, T., Estimation of Fire Temperature-Time Curves in Rooms, Building Research Institute of Japan, 1963.
24. Gross, D. ve Robertson, A.F., Experimental Fires in Enclosures, Tenth Symposium (International) on Combustion. Combustion Institute, 1965.
25. Thomas, P.H. ve Heselden, J.M., C.I.B. International Co-operative Programme on Fully-Developed Fires in Single Compartments: Comprehensive Analysis of Results, Internal Note. No. 374, 1970.
26. Thomas, P.H., Heselden, J. M. Fully Developed Fires in Single Compartments, A Co-operative Research Program of the Conseil International du batiment (CIB Report No. 20), Fire Research Station Note No. 923, *Fire Research Station*, 1972.
27. Heselden, A.J., Thomas, P.H., and Law, M. Burning Rate of Ventilation Controlled Fires in Compartments. *Fire Technology*, 1970.
28. Tewarson, A., Some Observations on Experimental Fires in Enclosures, Part I - Cellulosic Materials. *Combustion and Flame*, 1972.
29. Tewarson, A., Some Observations on Experimental Fires in Enclosures, Part II - Ethyl Alcohol and Paraffin Oil. *Combustion and Flame*, 1972.
30. Takeda, H., Akita, K. Critical Phenomenon in Compartment Fires with Liquid Fuels. 18th Symposium (International) on Combustion, Combustion Institute, 1981.
31. Harmathy, T.Z. A New Look at Compartment Fires, Part I. *Fire Technology*, 1972.
32. Harmathy, T.Z. A New Look at Compartment Fires, Part II. *Fire Technology*, 1972.
33. Harmathy, T.Z. Mechanism of Burning of Fully-Developed Compartment Fires. *Combustion and Flame*, 1978.
34. Harmathy, T.Z. Experimental Study on the Effect of Ventilation on the Burning of Piles of Solid Fuels. *Combustion and Flame*, 1978.
35. Santo, G. and Delichatsios, M.A. Effects of Vitiated Air on Radiation and Completeness of Combustion in Propane Pool Fires, FMRC J.I. 0F0N4.BU, Factory Mutual Research, 1982.
36. Tewarson, A., Lee, J.L., and Pion, R.F. The Influence of Oxygen Concentration on Fuel Parameters for Fire Modeling. 18th Symposium (International) on Combustion, Combustion Institute, 1981.
37. Peatross, M.J. and Beyler, C.G. Ventilation Effects on Compartment Fire Characterization. Fifth International Symposium Fire Safety Science, Melbourne, 1997.

38. Fleischmann, C.M. and Parkes, A.R. Effects of Ventilation on the Compartment Enhanced Mass Loss Rate, 5th International Association Fire Safety Science, Melbourne, 1997.
39. Babrauskas, V., A Closed-form Approximation for Post-flashover Compartment Fire Temperature. *Fire Safety Journal*, 1981
40. Kumar, R., M., N., and Sharma, S.K. Compartment Fires: CALTREE and Cross Ventilation, CST 06-04-12, Central Building Research Institute, 2006.
41. Wakatsuki, K. Low Ventilation Small-Scale Compartment Fire Phenomena: Ceiling Vents, in Fire Protection Engineering. University of Maryland, 2001.
42. Ringwelski, B.A. Low Ventilation Small-Scale Compartment Fire Phenomena: Wall Vents, in Fire Protection Engineering. 2001, University of Maryland: College Park, MD.
43. Rangwala, A.S. Mathematical Modelling of Low Ventilation Small-Scale Compartment Fires, in Fire Protection Engineering. 2002, University of Maryland: College Park, MD.
44. Utiskul, Y., Quintiere, J.G., Rangwala, A.S., Ringwelski, B.A., Wakatsuki, K., and Naruse, T., Compartment Fire Phenomena under Limited Ventilation. *Fire Safety Journal*, 2005.
45. Hu, Z., Utiskul, Y., Quintiere, J.G., and Trouve, A. A Comparison between Observed and Simulated Flame Structures in Poorly Ventilated Compartment Fires in Eighth IAFSS Symposium, 2005, Beijing, China.
46. Hu, Z., Utiskul, Y., Quintiere, J.G., and Trouve, A. Towards Large Eddy Simulations of Flame Extinction and Carbon Monoxide Emission in Compartment Fires in 31st International Symposium on Combustion, 2006. Heidelberg: Combustion Institute.
47. Hostikka, S., Kokkala, M., and Vaari, J. Experimental Study of the Localized Room Fires, NFDC2 Test Series, VTT Research Note 2104, 2001.
48. Hamins, A., Maranghides, A., Jhonsson, E., Donnelly, M., Yang, J., Mulholland, G., and Anleitner, R. Report of Experimental Results for the International Fire Model Benchmarking and Validation Exercise #3, NIST Special Publication 1013-1, National Institute of Standards and Technology, 2005.
49. Klein-Hebling, W. and Rowenkamp, M., Evaluation of Fire Models for Nuclear Power Plant Applications: Fuel Pool Fire inside a Compartment, 2005.
50. Hosser, D., Riese, O., and Klingenberg, M. Performing of Recent Real Scale Cable Fire Experiments and Presentation of the Results in the Frame of the International Collaborative Fire Modeling Project ICFMP. 2004.
51. Lie, T. Fire Temperature-Tiem Relationships in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. National Fire Protection Association, 1995.
52. McCaffrey, B.J., Quintiere, J.G., and Harkleroad, M.F. Estimating Room Fire Temperatures and the Likelihood of Flashover Using Fire Test Data Correlations. *Fire Technology*, 1981.

53. Eurocode1, Basis of design and actions on Structures Part 2.2 Actions on Structures-Actions on Structures exposed to fire, ENV 1991-2-2:1995, CEN.
54. Tanaka, T., Simple Formula for Ventilation Controlled Fire Temperatures in 13 th Joint Panel Meeting. Gaithersburg, MD: U.S./Japan Government Cooperative Program on Natural Resources(UJNR). *Fire Research and Safety*, 1996.
55. Magnusson, S.E. and Thelandersson, S. Temperature-Time Curves of Complete Process of Fire Development, No. 65, ACTA, Polytechnica Scandinavica, 1970.
56. Law, M. A Basis for the Design of Fire Protection of Building Structures. *The Structural Engineer*, 1983.
57. SFPE, Engineering Guide to Fire Exposures to Structural Elements. *Society of Fire Protection Engineers*, 2003.
58. Friedman, R. An International Survey of Computer Models for Fire and Smoke. *Journal of Fire Protection Engineering*, 1992.
59. Olenick, S.M. and Carpenter, D.J., An Updated International Survey of Computer Models for Fire and Smoke. *Journal of Fire Protection Engineering*, 2003.
60. V.F. Nicolette ve S.P. Nowlen Fire Models for Assessment of NPP Fires. Sandia National Laboratories, *Albuquerque, NM*, SAND89-1651C, January 1989.
61. V. Ho, N. O. Siu ve G. Apostolakis. COMPBRN III –A Computer Code for Modeling Compartment Fires. University of California, UCLE-ENG-8524, November 1985.
62. H. E. Miller ve H. W. Emmons, Documentation for CFC V. The Fifth Harvard Computer Fire Code. Home Fire Project Technical Report No. 45, Harvard University, Division of Applied Sciences, October 1981.
63. M. Mosse F. X. Rongere. Use of Computer Code for Layed Cable Fire Test Analysis,” Proceedings on Operability of Nuclear Power Systems in Normal and Adverse Environments, *Alburquerque, NM*, September 29, 1986.
64. J. Usher, J. Boccio, A. Singhal, and L. Tam. Fire Environment Determination in the La Salle NPP Control Room. Proceedings on Operability of Nuclear Power Plants in Normal and Adverse Environments, *Alburquerque, NM*, September 28, 1986.
65. J. R. Travis. BWR Standard Problem – Mark III Hydrogen Burn Base Case B. C. And 3, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, LA-UR-84-1305, 1984.
66. V. K. Liu and K. T. Yang. UNDSAFE – II: A Computer Code for Buoyant Turbulent Flow in an Enclosure with Thermal Radiation, University of Notre Dame, Notre Dame, IN, TR-790002-78-3, July 15, 1978.
67. H. W. Brenig and B. Schwinges. The Calculation of Fire Effects in the Containment of Nuclear Power Plants. Proceedings on Operability of Nuclear Power Plants in Normal and Adverse Environments, *Alburquerque, NM*, September 29, 1986.

68. S. E. Dingman, A. L. Camp, C. C. Wong, D. B. King, and R. D. Gasser, HECTR Version 1.5 User's Manual, Sandia National Laboratories, SAND86-0101, NUREG/CR-4507, April 1986.
69. J.A. Lambright and J. A. Lambricht. Fire Risk Scoping Study: Investigation of NPP Fire Risk, Including Previously Unaddressed Issues, Sandia National Laboratories, *Albuquerque, NM*, SAND88-0177, NUREG/CR-5088, January 1989.
70. V.F. Nicolette, S. P. Nowlen, and J. A. Lambricht. Observations Concerning the COMPBRN III Fire Growth Code. Proceedings of International Topical Meeting on Probability, Reliability and Safety Assessment: PSA'89, Volume 2, Pittsburgh, PA, April 2-7, 1989.
71. J. A. Lambricht and M. P. Bohn. Analysis of Core Damage Frequency: Peach Bottom Unit II External Events, NUREG/CR-4550, Vol. 4, Part 4, Draft under review by USNRC January 1989.
72. J. A. Lambricht and M. P. Bohn, Analysis of Core Damage Frequency Due to External Event at the DOE N-Reactor, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, SAND89-1147, March 1989.
73. J.A. Lambricht, D.A. Brosseau, M.P. Bohn, and S.L. Daniel. Analysis of Core Damage Frequency Due to Fire at the Savannah River K-Reactor, Sandia National Laboratories, *Albuquerque, NM*, SAND89-176, July 1989.
74. G. Chung, N. O. Siu and G. Apostolakis. Improvements in Compartment Fire Modeling and Simulation of Experiments. *Nuclear Technology*, 69, 1985.
75. E. E. Zukoski, T. Kubota and M. Cetegen. Entrainment in fire plumes. NBS-GCR-80-294, 1981.
76. A simple example is provided by Srivastava M. K. Cooling by radiation. The Person Guide to Objective Physics for the IIT-JEE. Pearson Education India. p. 610. ISBN 81-317-5513-4, 2011.
77. Dey, M. K. Evaluation of Fire Models for Nuclear Power Plant Applications: Cable Tray Fires, International Panel Report, June 2002.
78. International Collaborative Fire Modeling Project (ICFMP), September 2008.
79. International Panel Report on Benchmark Exercise #2 – Pool Fires in Large Halls, ICFMP, May 2004.
80. RSICC Peripheral Shielding Routine Collection, Compbrn3, Modeling Compartment Fires Behavior, Oak Ridge National Laboratory, April 1999.
81. Güler, A. Rus Tipi Basıncılı Su Nükleer Reaktörlerinin Acil Kor Soğutma Suyu Sistemlerinin Olasılıklı Güvenlik Analizinin Yapılması, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
82. Assessment of the Potential Costs and Energy Impacts of Spill Prevention, Control, and Countermeasure Requirements for Nuclear Power Plant Emergency Diesel Generator Tanks, Argonne National Laboratory, May 2006.
83. AP1000 Design Control Document, Chapter 9, Auxiliary Systems, 2004.

84. Fuel Oil System For Standby Diesel Generators, ANSI N195, 1989.
85. Fire Protection Handbook, National Fire Protection Association, 18th edition, 1997.
86. Başdemir, H., Demirel, F., İşeri, İ. Binaları Ulusal Yangın Yönetmeliği Hükümlerine göre Değerlendiren Bir Model Önerisi: Yangın Yönetmelik Kontrol Otomasyonu, 2012.
87. Han, S., C., Kunz, J., Law, K., H. Making Automated Building Code Checking Reality. *Facility Management Journal*, 6: 35-40 1997.
88. Demirel, F., Arı, S. *Yangın ve İnsan Davranışları*. TÜYAK 2009 Yangın ve Güvenlik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul, 135-142, (2009).
89. Subramanian, C. Human factors influencing fire safety measures. *Disaster Prevention and Management*, 13(2):110 – 116, 2004.
90. International Nuclear and Radiological Event Scale, OECD NEA, IAEA.
91. Tamminen, A. Tampere University of Technology, Department of Electrical Engineering, p. 84, 1996
92. Röwekamp, M., Berg, H. P., Türschmann, M. ve Frey, W. Fire PSA for a German BWR - Enhanced results and potential plant specific improvements, 2009
93. Altındaş, S. Kapalı Hacim Özelliklerine Göre Binalarda Öngörülen Yangına Direnç Sürelerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Model Önerisi. Doktora Tezi, Ankara: Gazi Üniversitesi, 2010.
94. Report of Experimental Results for the International Fire Model Benchmarking and validation Exercise #3. NIST Special Publication 1013-1. 2003.

EKLER DİZİNİ

EK A: COMPBRN III için girdi hazırlanması

Genel Görev Parametreleri (&STRT)

NJOB	Toplam koşulacak görev sayısını verir. Genellikle giriş verisinin tüm serisi (NAMELIST &SIZE) her bir görev için tekrar edilmelidir
NTIME	Her bir görev için gerekli en fazla zaman kademesidir. Eğer belirli sayıda tekrar eden hesaplamalar yeterince çabuk sonuç vermez ise ya da tutuşabilecek yakıtın tümü bitmiş ise görev daha erken bitebilir.
NREAD	Kalan verilerin okunacağı mantıksal birim sayısının devre dışı olduğunu belirtir. (Varsayılan = 5)
NWRITE	Çıktının yazılacağı mantıksal birim sayısını devreye alır. (Varsayılan = 6)
DELT	Saniye olarak zaman kademelerini vermektedir. (Genellikle =60.0)

Bireysel Görev Parametreleri (&SIZE)

NSM	Süper Modül sayısını belirtir. ($NSM \leq 30$)
NFUEL	En fazla kaç tane yakıt tipi olduğunu belirtir. ($NFUEL \leq 5$)
NCOM	İletişim matrisi ICOMM'un komşuluk kısmının yapımı için gerekli geçit sayısını belirtir. ($NCOM \leq 30$) (Varsayılan = 0)
NNCOM	ICOMM'un yapımı için gerekli komşu olmayan geçit sayısını belirtir. ($NNCOM \leq 200$) (Varsayılan = 0)
NPILOT	Başlangıçta yanmakta olan yakıt hücresi sayısını belirtir. ($NPILOT \leq 10$)
IROOM	Kompartıman verisinin dahil edilip edilmeyeceğini ortaya koyan belirleyici değişkenidir. Bu özellik yangının odaya göre oldukça küçük olduğu durumlarda kullanışlıdır. $IROOM = 1 \Rightarrow$ Kompartıman verileri girdi olarak kabul edilir. $IROOM \neq 1 \Rightarrow$ Kompartıman verileri girdi olarak kabul edilmez.
INITG	Sıcak gaz tabakasının bazı başlangıç karakteristiklerine sahip olup olmadığını ve/veya başlangıç ısı akışlarının sıfırdan farklı olduğunu göstermektedir. Sadece $IROOM = 1$ ise veri girişi yapılmaktadır.

	INITG = 1 ==> Gaz tabakası ve/veya ısı akışı için başlangıç değerleri girilmiştir. INITG ≠ 1 ==> TG (Gaz Tabakası Sıcaklığı) = RTEMP DG (Gaz Tabakası Kalınlığı) = 0.0 m QEXT (Tüm yakıt bileşenleri için Harici Isı Akışı) = 0.0 W/m²
--	--

Başlık kartı

Bu kartın ilk 80 karakteri kod çıktısında görev başlığı olarak yazılacaktır.

Yakıt yatağı tanımlaması (&FUELB)

Bu veri bloğu her bir süper modül için NSM kere, teker teker girilmelidir. İlk girdi 1 numaralı süper modüle ait, ikincisi 2 numaralı süper modüle aittir vb... SMX, SMY ve SMZ hariç, negatif değerler ya da sıfır kullanımına izin verilmemiştir.

SMX	x-düzleminde süper modül orta noktası (m)
SMY	y-düzleminde süper modül orta noktası (m)
SMZ	z-düzleminde süper modül orta noktası (m)
SLNG	Süper modül uzunluğu (m)
SWID	Süper modül genişliği (m)
SDEP	Süper modül derinliği (m)
SMASS	Süper modül kütlesi (kg). yakıtın kütlesi yanma süresini etkilemektedir. Yanıcı olmayan maddeler için, bu değişken kullanılmaz. COMPBRN III çıktısında ise, SMASS değil, yakıt hücreesindeki yakıt kütlesini verilmektedir.
SPOR	Süper modül porozite faktörü f_p (boyutsuz)
SLOSS	Tanımlanmamış değişken. (kullanım dışı)
NFCL	Bir süper modül içindeki yakıt hücresi sayısını ifade eder. Tavan için 1 olarak ayarlanmalıdır.
IORNT	Süper modül oryantasyonu IORNT=1 ==> normalinin ekseni x-doğrultusundadır. IORNT=2 ==> normalinin ekseni y-doğrultusundadır. IORNT=3 ==> normalinin ekseni z-doğrultusundadır.

IDIREC	Süper modül doğrultusu IDIREC=1 ==> uzun eksen x-doğrultusundadır. IDIREC=2 ==> uzun eksen y-doğrultusundadır. IDIREC=3 ==> uzun eksen z-doğrultusundadır.
IFTYP	Süper modülün yakıt ismi/tanımlayıcı numarası, süper modülün türü olarak kullanılır. Bu parametre IFUEL girdisinde de tanımlanan yakıt türüdür. IFTYP ≤ NFUEL (tanımlanan yakıt türü miktarı, toplam yakıt türünden fazla olamaz)

(IDIREC ve IORNT aynı değerlere sahipse program tarafından bir uyarı mesajı görüntülenir)

Pilot Yakıt Parametreleri (&PILOT)

COMPBRN III kompartıman yangınlarının yakıt yatağında bulunan az miktardaki yakıt hücrelerinin tepesinde başladığını kabul etmektedir. Pilot yangınlar olarak tabir edilen bu başlatıcı yangınlar, ana yakıt yatağında kabul edilmeyen materyalleri de içerebilmektedir. Örnek olarak, bir dizi kablo kanalı, kompartıman yangınını başlatacak yağ ile kaplanmış olabilir. Bu pilot yangının lokasyonu altında bulunan yakıt hücresi ile özdeş olarak düşünülebilmektedir.

Bu veri bloğundaki her bir öge bir dizi olup, ilk girdi birinci pilot yangın hücresine karşılık gelmekte ve ikinci girdi de ikinci pilot yangına karşılık gelmekte, bu dizi sıra ile devam etmektedir. Her bir dizi için NPILOT adet girdi olmalıdır.

IPIL	Pilot yakıtların bağlı olduğu diziyi listelemektedir.
JPIL	Verilen süper modül dahilinde, pilot yangınlara atanmış belirli yakıt hücrelerinin bağlı olduğu diziyi listelemektedir. Not: Eğer NPILOT=2, IPIL=(3,2) ve JPIL(4,5) ise, iki tane pilot yangını bulunmakta, bunlardan ilki 3. Süper modülün 4.yakıt hücresinin tepesinde, diğeri ise 2.süper modülün 5.yakıt hücresinin tepesinde demektir.
IPFUEL	Pilot yakıt türünün bağlı olduğu dizidir. &FUELB'de belirtilen IFTYP'ye karşılık gelmektedir. Eğer IPFUEL'in üçüncü girdisi '5' ise, üçüncü pilot yangındaki yakıtın türü 5'dir.

PMASS	Pilot yakıtın kütlesini belirten dizidir. Pilot yakıtların altında bulunan esas yakıttan farklı düşünüldüğü göz önünde bulundurulduğunda, PMASS kg'lık yakıtın yakıt hücresinin tepesinde bulunduğu ve altındaki SMASS kütlesinden bağımsız olduğu bilinmelidir. PMASS negatif ya da sıfır olamaz.
-------	--

Fiziksel Yakıt Parametreleri (&FUELT)

Bu veri bloğundaki her bir öge NFUEL boyutunu tanımlamaktadır. Sırasıyla birinci girdi 1.tip yakıtın, ikinci girdi ise 2. tip yakıtın özelliklerini belirtmektedir.

IFUEL	$0 < IFUEL(I) < 10 \rightarrow$ Süper modül yanıcı bir yakıttır $10 \leq IFUEL(I) < 20 \rightarrow$ Süper modül bir dedektördür. $20 \leq IFUEL(I) < 30 \rightarrow$ Süper modül duvardır. $30 \leq IFUEL(I) < 40 \rightarrow$ Süper modül bir termal bariyerdir. $40 \leq IFUEL(I) < 50 \rightarrow$ Süper modül odanın tavanıdır. Oda tavanı yalnızca bir süper modül ile tanımlanabilir ve tavan ile duvarları tanımlayan süper modüllerin yalnızca bir yakıt hücresi olabilir. Dedektörler ise bulundukları lokasyonun termal ortamını belirten pasif nesnelerdir. Hiçbir kaynak yerine ya da tepkisel hesaplamalar içinde kullanılamazlar. Bariyerler ise arka tarafları ısı kaynağı olarak davranabilen levhalar olarak düşünülmektedir. Bariyerlerin ön yüzü ortam sıcaklığına maruz kalmakta ve esas işlevleri ışınlı ısı akışını bloke etmektir. Aşağıda devamı olan dizi tanımlarında, her bir yakıt için girdi bulunması lazımdır, ama yanlarında belirtilen IFUEL aralığında gerçekçi girdiler verilmesi <u>isteğe bağlıdır</u>. Kullanım kolaylığı açısından $Y=IFUEL(I)$ olarak verilmiştir. Gereksiz parametreler için 0 (sıfır) kullanılmamalıdır. 0; “sıfır” manasındadır.
DENS	Yoğunluk (kg/m^3) ($10 \leq Y < 20$)
SPHT	Özgül ısı (J/kgK) ($10 \leq Y < 20$)
THK	Termal iletkenlik (W/mK) ($10 \leq Y < 20$)
HEAT	Isıl değer (J/kg) ($10 \leq Y < 50$)

FIGTP	Pilot yangın tutuşma sıcaklığı (K) ($10 \leq Y < 50$) Bu değer alevlerin yanıcıya temas ettiği durumlarda kullanılır.
FIGTS	Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı (K) ($10 \leq Y < 50$) Bu değer ise alevler yanıcıya temas etmez ise kullanılır.
FTDAM	Hasar sıcaklığı (K) ($10 \leq Y < 50$)
BRATV	Havalandırma kontrollü yanma hızı sabiti C_v (boyutsuz) ($10 \leq Y < 50$) Program bu parametreyi ise yalnızca IROOM=1 iken kullanır. Tavsiye edilen değerler; Odun için 0.12 Yağ için 0.025 Kablo için 0.05
BRATS0	Özgül yanma hızı sabiti $\dot{m}_0$ (kg/m ² s) ($10 \leq Y < 50$)
BRATS1	Yüzey kontrollü yanma hızı sabiti C_s (kg/J) ($10 \leq Y < 50$)
EFF	Tutuşma verimliliği (boyutsuz) ($10 \leq Y < 50$) Önerilen değerler; İyi havalandırılan odadaki heptan için 0.8
GAMMA	Alevden doğan ısının ışınlama salınma oranı (boyutsuz) ($10 \leq Y < 50$)
FABSRP	Alev gazları için soğurma katsayısı (m ⁻¹) ($10 \leq Y < 50$)
REFL	Yansıtırlık (boyutsuz) ($10 \leq Y < 20$)

Diğer Veriler (&MISC)

RTEMP	Oda sıcaklığı (K) (Varsayılan = 298.0)
FLCF	Alev ısı aktarım katsayısı (W/m ² K)
HROOM	Sıcak gaz tabakasının dışındaki taşınımlı ısı aktarım katsayısı (W/m ² K)
CALTEM	Kalorimetre sıcaklığı (K). Kalorimetreye yönelen net ısı akışının hesaplanmasında kullanılır.

İrtibat Verileri (&SEE)

Bu veri bloğu eğer tanımlanan yakıt hücreleri arasında bir temas var ise kullanılmaktadır. COMPBRN III kodu, her bir süper modül içinde, bitişik yakıt hücreleri arasında otomatik olarak bir komşuluk bağı kurmaktadır. Ayrıca varsayılan olarak tüm yakıt hücrelerinin diğer yakıt hücrelerine ısı

aktarabilmektedir. Bu durum, yakıt hücrelerinin "irtibat" halinde olduğunu göstermektedir. Bu veri bloğunun maksadı var ise gerekli istisnaları tanımlamaktır. Her bir istisna için NCOM adet girdi eklenmelidir.

İrtibatsızlık Verileri (&NSEE)

Bu veri bloğu ise hangi yakıt hücrelerinin ısı aktarımı yapamadığını ifade etmektedir. İrtibat verileri bloğundaki gibi burada da, her bir istisna için NNCOM adet girdi eklenmelidir.

NV	İrtibatsızlık verisi 4 elemanlı bir dizi içermektedir. Eğer -i- süper modülünün -j- yakıt hücresi, -k- süper modülünün -l- yakıt hücresine ısı aktarımı yapamıyor ise, NV değeri (i,j,k,l) olmalıdır. Eğer -i- süper modülündeki tüm yakıt hücreleri -k- süper modülündeki tüm yakıt hücrelerine ısı aktarımı yapamıyorsa da bu değer (i,999,k,0) olmalıdır. Eğer -i- süper modülündeki tüm yakıt hücreleri -j- süper modülündeki tüm yakıt hücrelerine -j'- üzerinden ısı aktarımı yapamıyorsa, NV değeri bu durumda (i,888,j,j') olarak belirtilir. İrtibatsızlık ilişkisi asimetriktrir.
----	---

Oda verileri (&ROOM)

Bu veri bloğu yalnızca IROOM=1 durumunda girdi olarak eklenmelidir. Bazı parametreler için varsayılan değerler atanmıştır.

DCFIN	Kapı yolundan içeriye olan hava akışı katsayısı (boyutsuz) (Varsayılan=1.0) Önerilen değerler: Jet burner için 1.0 Diğer yangın kaynakları için 0.6
DCFOUT	Kapı yolundan dışarıya akış katsayısı (boyutsuz) (varsayılan=1.0, önerilen değer=0.7)
DHGT	Kapı yolunun yüksekliği (m)
DWID	Kapı yolunun genişliği (m)
FC	Gaz tabakasına giren cebri havalandırmanın oranı (boyutsuz)

	$(0.0 \leq FC \leq 1.0)$
FH	Gaz tabakasını terk eden cebri havalandırma oranı (boyutsuz) $(0.0 \leq FH \leq 1.0)$
GABSRP	Sıcak gaz için soğurma katsayısı (boyutsuz) (Varsayılan=1.3)
HCEIL	Tavan için ısı aktarım katsayısı (W/m^2K) bu değer aynı zamanda sıcak gaz tabakasındaki cisimlere ısı aktarımında da kullanılır.
PLCF	Hareketli gaz sütunu tırmanma katsayısı (boyutsuz) (Varsayılan=2.0) Bozulmamış oda yangını için 2.0 Dikey duvar yakınındaki yangın kaynağı için 1.5 Kapı yolu olmayan oda yangınları için 0.0
VFV	Cebri havalandırma hacimsel hava akışı (m^3/s)

Başlatma Verileri (&GINIT)

Bu veri bloğu yalnızca IROOM=1 ve INITG=1 iken girdiye eklenmelidir.

TG	Başlangıç gaz tabakası sıcaklığı (K)
DG	Başlangıç gaz tabakası kalınlığı (m)
QEXT	Başlangıçta her bir yakıt hücresini etkileyen harici ısı akışı, iki boyutlu dizi, (i,j), süper modül i'nin j yakıt hücresini temsil etmektedir. (W/m^2)

Model değişkenlik faktörleri (&MODVAR)

İlgili değişkenlerin katsayılarını değiştirmek için kullanılır.

FCTR	15 adet model için 15 adet bileşen dizisi şu şekildedir: 1. Havalandırma kontrollü yanma hızı sabiti C_v 'nin oda içindeki ortalama değerini düzenler 2. Yakıtın yüzey kontrollü yanma hızını düzenler 3. Yatay yakıt levhaları üzerindeki alev yüksekliğini düzenler 4. Dikey yakıt levhaları üzerindeki alev yüksekliğini düzenler 5. Seçilmiş bir bileşen tarafından alınan ışınlı ısı akışını düzenler 6. Alev üzerindeki hareketli sütun sıcaklığını düzenler
------	---

	7. Alevin dikey yüzeylerindeki ısı aktarım katsayısını düzenler 8. Alevin yatay yüzeylerindeki ısı aktarım katsayısını düzenler 9. Bir nesne tarafından algılanan gaz tabakası sıcaklığını düzenler 10. Alevden yakıt yatağına doğru dikey bir yakıt üzerinden geri gelen ısı aktarımını düzenler 11. Komşu yakıt hücrelerine yönelen iletimli ısı akışını düzenler 12. Gaz tabakasından altındaki nesnelere yönelen ışınlı ısı akışını düzenler 13. Duvar ve bariyerlerden yansıyan ısı akışını düzenler 14. Kütle tükenme oranını düzenler. Normalde kütle tükenmesi yakıtın %30'u kaldığında gerçekleşir. Eğer tükenmeden önce yakıt kütlesinin tamamının kullanılacağı düşünülüyor ise, bahsi geçen oran 1/0.3 olarak değiştirilmelidir. 15. Tanımlanmamıştır.
--	---

Çıktının tanımlanması (&OUTF)

INCHK	Yazdırılacak giriş verisi miktarını düzenleyen değişkendir. INCHK=0 → yalnızca başlık materyali ve FCTR, INCHK=1 → başlık materyali, FCTR ve yakıt parametreleri, INCHK=2 → Tüm giriş verileri yazdırılacaktır.
IOUTPT	Yazdırılacak çıkış değişkenlerinin sayısı ($IOUTPT \leq 17$)
MOUTPT	İstenilen çıkış değişkeninin tanımlayıcı numarası -i- bileşenine ait olan veri dizisidir. IOUTPT kadar bileşen girilmelidir. Tanımlayıcı numara: 1. Toplam kütle yanma hızı TMDOT (kg/s) 2. Toplam ısı salım hızı TQDOT (W) 3. Gaz tabakası sıcaklığı (k) 4. Gaz tabakası kalınlığı DG (m) şeklinde belirtilir. 5. Hasar LDAMGE için yakıt hücresi tanımlayıcıdır; LDAMGE(i,j)=True. → -i- süper modülüne ait -j- yakıt hücresi hasar görmüştür. 6. LBURN yanması için yakıt hücresi tanımlayıcıdır; LBURN(i,j)=True. → -i- süper modülüne ait -j- yakıt hücresi yanmaktadır. %70 ya da daha fazla yakıt kütlesi tüketilmiş ise

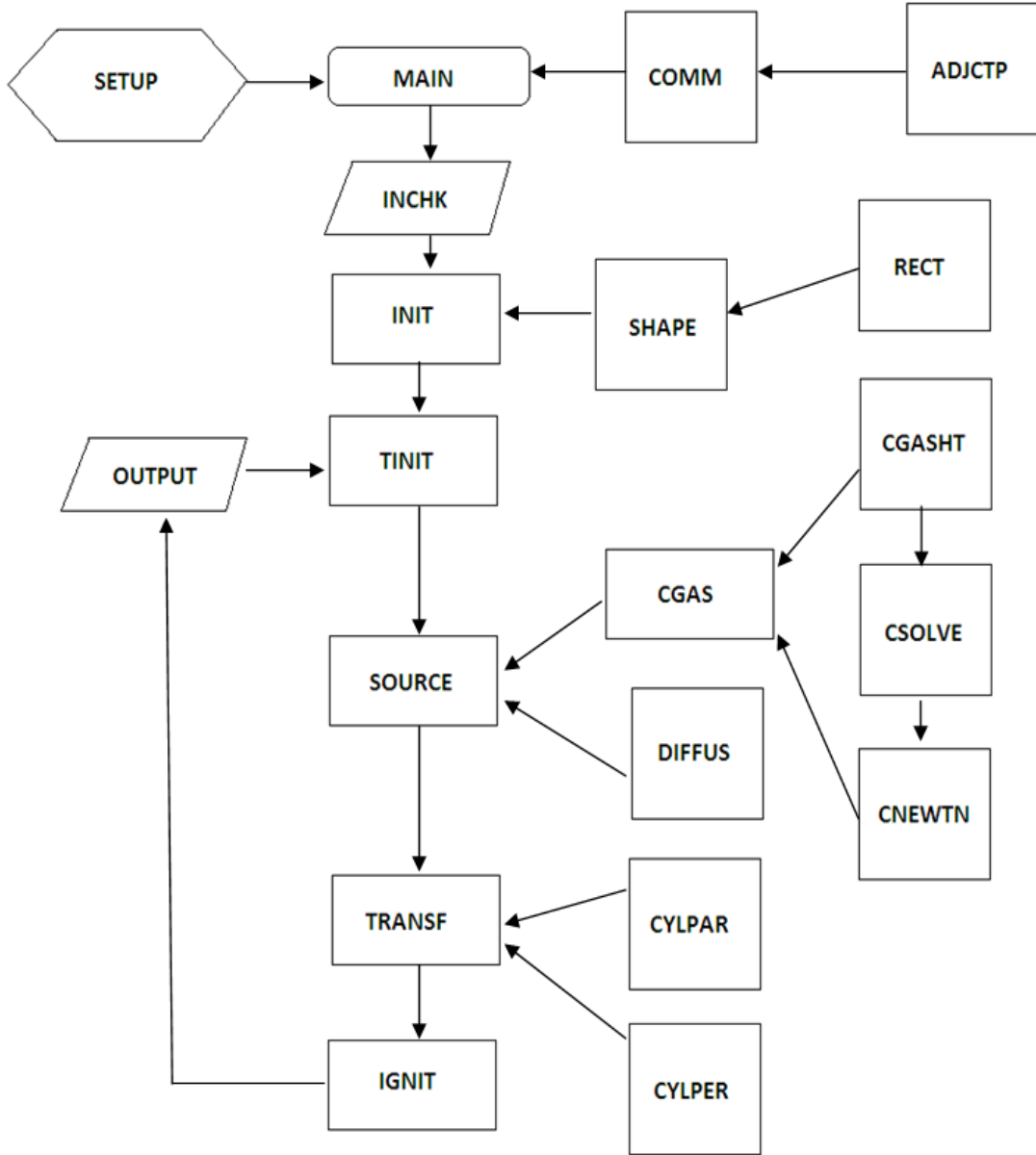
	yakıt hücresi yanmayı durdurur. Ayrıca hali hazırda yanmamış yakıt hücresinin de tutuşup tutuşmadığı her bir zaman kademesi sonunda belirlenir. 7. Yakıt hücresi ısı akış kaynağı QDOT2P (W/m^2). Bariyerler için kaynak akışı, arka yüzeylerini terk eden ısı akışıdır. Duvar ve tavan için ise ön yüzeylerini terk eden akıştır. Yakıt hücreleri için alevin ışınlam ve taşınım enerjisini içermektedir. 8. Yakıt hücresi ışınlam harici ısı akışı QEXT (W/m^2). Verilen modül üzerine etkiyen (yansımalar öncesinde) uzak nesnelerden kaynaklı ışınlam ısı akışıdır. Modül ortamından yönelen radyasyon dahil edilmemiştir. 9. Yakıt hücresi toplam ısı akışı kaynağı QEXTOT (W/m^2). Tüm kaynaklardan gelen ışınlamlar (eksi yansıma) ile taşınım da dahildir. Geri ışınlam ya da geri taşınım nedeniyle oluşabilecek kayıplar dahil değildir. 10. Yakıt hücresindeki kalorimetre ısı akışı (W/m^2). QEXTOT değerine geri ışınlam ve geri taşınım etkilerinin temel oluşturduğu CALTEM kalorimetre sıcaklığının da eklenmiş dahil edilmiş halidir. Herhangi bir yakıt hücresi için geçerli yakıt tipinden bağımsız olarak çıktı teşkil edebilir. 11. Yakıt hücresi net ısı akışı QEXNET (W/m^2). QEXTOT değerine geri ışınlam ve geri taşınım etkilerinin temel oluşturduğu yakıt hücresi yüzey sıcaklığı da dahil edilmiş halidir. 12. Yakıt hücresi kütlesi FMASS (kg). Yakıt hücrelerinin tepesindeki pilot kütleyi içermemektedir. 13. Yakıt hücresi üzerindeki alev yüksekliği FLHT (m). Alevin yüksekliği yangının temelinden itibaren ölçülmektedir. 14. Yakıt hücresi alev sıcaklığı FLTEMP (K). 15. Yakıt hücresi yüzey sıcaklığı TEMP (K). Bariyerler için ön yüzey sıcaklığı yazdırılır. 16. Yakıt hücresi ısı aktarım katsayısı HCOEF (W/m^2K). Yakıt hücresi lokal taşınım ısı aktarım katsayısıdır. 17. Yakıt hücresi lokal ortam sıcaklığı TSURR (K).
--	--

NSMOUT	Değişkenlerin yazdırılacağı süper modül sayısıdır (Tanım numaraları 5 ila 17 arasındadır)
MSMOUT	-i- bileşenin dokümanite edilecek süper modülün tanımı olduğu değerdir. Örnek olarak; eğer girdi kartı; &OUTF IOUPT=3, MOUTPT=1,7,10 NSMOUT=2, MSMOUT=1,2, &END ise; COMPBRN III 1. Ve 2. Süper modüllere ait olan toplam kütle yanma hızı, ısı akış kaynağı ve kalorimetrik ısı akışını yazdıracaktır.

IOUPT=0 ve NSMOUT=0 → Sadece toplam kütle yanma hızı TMDOT yazdırılacaktır.

IOUPT=0 ve NSMOUT≠ → TMDOT ve LBURN, yanan yakıt hücrelerini gösteren dizi yazdırılacaktır.

EK B: Program Akışı



Şekil 4: Program Akışı [80]

Akış; MAIN programıyla başlar. Yakıt yatağı geometrisi, başlangıç yangın karakteristiği, yakıt tipi karakteristiği, iletişim matrisi verileri, bölme parametreleri, model varyasyon faktörleri ve çıkış formatı girişe eklenen NAMELIST ile okunur.

MAIN programı, INCHK alt yordamını çağırır. Bu alt yordam giriş verisinin çeşitli kısımlarını doğrulama için yazdırır, ardından iki alt yordam (başlatma alt yordamları) çağırılır.

Ardından çağırılan INIT alt yordamı program değişkenlerini belirlemektedir. Bu değişkenler arasında duvarlar, bariyerler ve tavandan nesnelere doğru hareketlenen alevlerin şekil faktörleri ve kapalı odada salınabilecek azami ısı faktörleri bulunmaktadır. Ayrıca başlatıcı yangın değişkenleri de belirlenmektedir. Sonrasında çağırılan TINIT alt yordamı ise zaman adımlarını başlatmaktadır.

Problem tanımlaması ve başlatması tamamlandıktan sonra, SOURCE alt yordamı aşağıdaki görevleri yerine getirir.

- ✦ yakıt ısı salımını ve her bir yakıt hücresi için alev yüksekliğinin hesaplanması
- ✦ yanmış kütle ve yanma hesaplarının yapılması
- ✦ birim alan başına düşen yüzey kontrollü yanmalar (ısı akışına lineer olarak bağımlı olduğu kabul edilerek) ile havalandırma kontrollü yanma (toplam yanma alanı üzerinden ortalaması alınarak) değişkenlerinin belirlenmesi
- ✦ ısı üretim hızı ve yakıt tükenmesi durumunda yanmayı durduracak şekilde yakıt kütlesinin azalma hesabı
- ✦ alev yükseklikleri ve yatay / dikey yakıt levhalarının üzerindeki alevlere ait tanımlamalar
- ✦ ısı akışı ve sıcaklık gibi alev kaynağının gücünü belirlemeye yönelik hesaplamalar

SOURCE tarafından tavandan gelen ısı akışının hesaplanması için CGAS alt yordamı çağrılabilir. Eğer bu alt yordam çağrılırsa, RADEQ, CGASHT, CNEWTN ve CSOLVE alt yordamlarına da ihtiyaç duyulacaktır.

- ✦ RADEQ; sıcak gaz katmanı sıcaklığı için ileri düzey bir değer elde edecek dördüncü dereceden denklemleri çözer.
- ✦ CGASHT; güncellenmiş sıcak gaz katmanı sıcaklığındaki bir bölmede doğal yoğunluk düzleminin yüksekliğini günceller.
- ✦ CNEWTN; bağlı denklemlerin köklerini çözer
- ✦ CSOLVE ise kütle akış hızlarını çözer.

SOURCE alt yordamını TRANSF alt yordamı takip eder. Taşınımlı ve/veya ışınlı yollar aracılığıyla çeşitli kaynaklardan hedef bileşenlere ısı transferi bu alt yordam ile gerçekleştirilir.

Alevin ışıınım yoluyla aktarım hesaplamalarındaki şekil faktörleri, CYLPAR ve CYLPER alt yordamları kullanılarak çözülr. Dikdörtgen kaynaklardan ısı transferi için kullanılan şekil faktörleri daha öncesinde SHAPE ve RECT kullanılarak hesaplanıp, iletişim matrisinde kaydedilmişlerdir. Dikey levhadan tekrar levhaya doğru gelen alev geri besleme ışıını ve bitişik yakıt bileşenlerine ısı iletimi ise özel modeller vasıtasıyla hesaba katılmaktadır.

IGNIT alt yordamı, yanıcı olmayan yakıt bileşenlerinin parlamaya (alev almaya, yanmaya) yetecek ısı emilimi yapıp yapmadıklarını belirlemede kullanılır. Bu alt yordam DIFFUS alt yordamını modellenen her bir nesne için geçici ısı iletim denklemlerini (levha geometride) çözmesi için çağırır. Dedektörler bu nesneler arasında değildir.

OUTPUT alt yordamı ise analizi yapan kişinin isteğine göre verileri her bir zaman adımı için yazdırır. Modelleme neticesinde OUTPUT’da, her bir zaman aralığı için elde edilen veriler ise şunlardır:

- ✦ Toplam kütle yanma hızı
- ✦ Toplam ısı salım hızı
- ✦ Sıcak gaz tabakası sıcaklığı
- ✦ Sıcak gaz tabakası kalınlığı

Her bir süper modül için

- ✦ Hasar görüp görmediği
- ✦ Yanıp yanmadığı
- ✦ Kaynak akısı
- ✦ Harici akı
- ✦ Toplam akı
- ✦ Ölçülen akı
- ✦ Net akı
- ✦ Yakıt kütlesi
- ✦ Alev yüksekliği
- ✦ Yakıt sıcaklığı
- ✦ Isı aktarım katsayısı
- ✦ Çevre sıcaklığı

EK C: ICFMP Uyarlaması

◆ Genel Görev Parametreleri (&STRT)

1, 180, 5, 6, 60

◆ Bireysel Görev Parametreleri (&SIZE)

6, 3, 0, 0, 1, 1, 0

6 adet süper modül, 3 farklı yakıt tipi, 1 adet pilot yangın

◆ Başlık kartı

ICFMP Uyarlaması Değerlendirme 1 kısım II, temel senaryo

◆ Yakıt yatağı tanımlaması (&FUELB)

7.6, 4.55, 4.60, 15.2, 9.1, 0.152, 1, 1.0, 1.0, 1, 3, 1, 1

7.6, 9.1, 4.60, 15.2, 9.1, 0.152, 1, 1.0, 1.0, 1, 2, 1, 2

7.6, 7.9, 2.34, 15.2, 0.6, .08, 374, 3.11, 1.0, 1, 3, 1, 3

7.6, 7.9, 3.44, 15.2, 0.6, .08, 374, 3.11, 1.0, 1, 3, 1, 3

7.6, 7.9, 4.34, 15.2, 0.6, .08, 374, 3.11, 1.0, 1, 3, 1, 3

7.6, 1.8, 2.34, 15.2, 0.6, .08, 374, 3.11, 1.0, 1, 3, 1, 3

◆ Pilot Yakıt Parametreleri (&PILOT)

6, 1, 3, 1

6.süper modülün, 1.yakıt hücreesindeki 3.tür yakıtın kısa devreden dolayı 1 kg'lık kısmında başlamış yangın

◆ Fiziksel Yakıt Parametreleri (&FUELT)

40, 20, 1, 2*2200., 1710., 2*1000., 1040., 2*1.75, .092, 2*0., 2.4E+7, 2*0., 789., 2*0, 839., 2*0., 473.,2*0., 0.05, 2*0., .001, 2*0, 1.8E-7, 2*0., .035, 3*0.48, 2*0., 1.4, 3*0.35,

Parametreler ICFMP deneyinden alınmıştır. 789 K, 839 K ve 473 K değeri tutuşma, alev alma ve hasar sıcaklığını belirttiğinden, malzeme özelliklerine göre değişmektedir.

- ◆ Diğer Veriler (&MISC)

300, 22, 15, 300

- ◆ Oda verileri (&ROOM)

0.6, 0.7, 0, 0, 0.0, 0.0, 1.3, 2.0, 2.0, 0.0

Bu veri bloğu yalnızca IROOM=1 durumunda girdi olarak eklenmelidir. Bazı parametreler için varsayılan değerler atanmıştır.

HCEIL, hareketsiz hava için 2, doğal havalandırma için 5, Cebri havalandırma için 10 olarak kabul edilmiştir.

- ◆ Başlatma Verileri (&GINIT)

Bu veri bloğu yalnızca IROOM=1 ve INITG=1 iken girdiye eklenmelidir.

- ◆ Model değişkenlik faktörleri (&MODVAR)

15x1

- ◆ Çıktının tanımlanması (&OUTF)

2, 17, 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17, 6, 1,2,3,4,5,6

EK D: COMPBRN Dizel Jeneratör Oda Modellemesi

◆ Genel Görev Parametreleri (&STRT)

1, 180, 5, 6, 60

◆ Bireysel Görev Parametreleri (&SIZE)

8, 3, 0, 0, 3, 1, 0

8 adet süper modül, 3 tip yakıt ve 3 adet başlatıcı yangın bulunmaktadır.

◆ Başlık kartı

Dizel Jeneratör Odası başlatıcı yangın x bölgesinde

◆ Yakıt yatağı tanımlaması (&FUELB)

1.56	3.33	6.65	6.65	3.11	0.152	1	1	1	1	3	2	1
1.56	3.33	3.33	6.65	3.11	0.152	1	1	1	1	1	2	2
0.30	3.33	3.33	6.65	0.6	0.08	165	3.11	1	1	3	2	3
0.30	4.55	3.33	6.65	0.6	0.08	165	3.11	1	1	3	2	3
0.30	5.80	3.33	6.65	0.6	0.08	165	3.11	1	1	3	2	3
2.81	3.33	3.33	6.65	0.6	0.08	165	3.11	1	1	3	2	3
2.81	4.55	3.33	6.65	0.6	0.08	165	3.11	1	1	3	2	3
2.81	5.80	3.33	6.65	0.6	0.08	165	3.11	1	1	3	2	3

◆ Pilot Yakıt Parametreleri (&PILOT)

3, 4, 5, 1, 1, 1, 3, 3, 3, 1, 1, 1

3,4,5. Süper modüllerde pilot yangın vardır. Kısa devreden dolayı 1 kg.'lik kablo kanalında yangın başladığı kabul edilmiştir.

◆ Fiziksel Yakıt Parametreleri (&FUELT)

40, 20, 1, 2*2200, 1710, 2*1000, 1040,
2*1.75, .092, 2*0., 2.4E+7, 2*0., 789.,
2*0, 839., 2*0., 483., 2*0., 0.05, 2*0., .001,
2*0, 1.8E-7, 2*0., .035, 2*0.48, 0.01, 2*0., 1.4, 2*0.35, 0.05

- ◆ Diğer Veriler (&MISC)

300, 22, 15, 300

- ◆ Oda verileri (&ROOM)

0, 0, 0, 0, 0.4, 0.6, 1.3, 2, 0, 0

- ◆ Model değişkenlik faktörleri (&MODVAR)

15x1

- ◆ Çıktının tanımlanması (&OUTF)

2, 17, 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17, 8, 1,2,3,4,5,6,7,8

EK E: Diğer Yangınlar

1978, Beloyarsk, Rusya

Yangının gerçekleştiği zamanda 4 üniteli, Sovyet tasarımı bir NGS olan Beloyarsk, 1. ve 2. Üniteleri türbin binasını ortak kullanmaktadır. Günümüzde 1. ve 2. üniteleri tamamen devreden çıkarılmış olup, 3. ve 4. Ünite işletim aşamasındadır.

Bu kaza oldukça ciddi bir türbin binası yangınına örnektir. Yedekli kabloların ayırımındaki eksiklik ve geniş alanlara yayılan yangın birçok ortak modlu arızaya sebep olmuş ve tesis kontrolünü oldukça zorlu bir hale getirmiştir. Kontrol odası operatörleri, kontrol odasının altından panellere doğru sıçrayan yangın ve oda içinde oluşan duman nedeniyle tesise kusursuz müdahale edememişlerdir. Tüm zorlu şartlara rağmen, kontrol odasını terk etmeyen operatörler, reaktör acil durum soğutma sisteminin bir ayağını çalıştırmayı başarmışlardır. Kaza neticesinde kor hasarı yaşanmamıştır [13].

Kazada, türbin binasının çatısı çökmüş, yangının hızlı büyümesini engelleyecek yangınla mücadele çalışmalarının başlamasını geciktirmiştir. Tesis personeli yangına müdahale etmeye teşebbüs etmemiş, yangın ekibinin sahaya gelmesini beklemiştir. Bu durum Rusya'daki tesis personelinin aldığı eğitim doğrultusundadır ve Rus Ordusundan oluşan yangın ekibi saha dışı olarak konuşlandırılmıştır. Türbin binasının yapısal tasarım karakteristikleri, yapısal bileşenlerin yangından korunması ve zafiyetleri, aşırı soğuk dış ortam gibi diğer potansiyel faktörler de tartışılması gereken unsurlardandır.

Bu olay diğer Sovyet tasarımlı tesisler ile Türbin Binasından diğer kısımlara açık kapılardan yayılan ya da sızan yangınla ortak özelliklere sahiptir. Olay neticesinde yangın bariyerlerinin ve bariyerlerdeki sızmaların önemine dikkat çekilmiştir. Kaza, yangınla mücadelenin oldukça zor geçtiği birkaç yangın olayından biridir. İlgili sebeplerden birisi, Türbin Binasındaki köpüklü söndürme sisteminin kablolarda oluşan yangın hasarı nedeniyle daha devreye giremeden tahrip olmasıdır. Buna etkiyen ortak sebeplerden bazıları ise kablo rotalamasının genel anlamda Yangın Olasılıklı Risk Analizlerinde yer bulmamasıdır. Yangın ile yangın söndürme sistemleri arasında potansiyel bir bağımlılık vardır ve bu bağımlılık çoğu ABD

tesisinde dizel (ya da gaz) yakıt ile çalışan yangın pompaları ile elektrikli tetikleme ya da kontrole bağlı olmayan ıslak borulu fıskiye sistemleri ile çözülmüştür.

1984, Güney Ukrayna, Ukrayna

Her bir 100 MW(e) gücünde olan 4 üniteden oluşan Güney Ukrayna NGS'de, 2.ünite inşaat halinde iken yangın olayı gerçekleşmiştir. Korunak binası içinde Büyük miktarda kablo tahrip olmuştur. Yangın başlama sebebi kesin olarak bilinmemekle birlikte, elektrik sıçraması kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Özellikle korunak binası basınçlandırma sisteminin kabloları kısa devreye yol açtığı, alandaki nem penetrasyonunun da bu arızayı güçlendirdiği muhtemel sebepler arasındadır. Var olan raporlara dayanarak yangının kalifiye olmayan kablo kullanımı ve kablolar üzerindeki mekanik hasarlardan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır [9].

Bu sonuç yangın öncesindeki tesis personelinin gözlemleriyle de desteklenmiştir. Kaza öncesinde, yangını işaret eden birçok belirti meydana gelmiştir. Örnek olarak kablo kanallarından birinde, kablolar üzerinde kıvılcımlanma fark edilmiş, başka bir durumda aşırı ısınma gözlenmiştir. Dolayısıyla korunak binası basınçlandırılmasının zaten hali hazırda hasar görmüş kabloları yangın çıkmasını tetiklediği sonucuna varılabilir.

Bu kaza korunak binası içinde gerçekleşen birkaç önemli yangın olayından birisidir. Kazada yangın söndürme sistemi manüel moda döndürülmüş ve devreye alınmamıştır. Olay, büyük miktarda tesis alanını etkilemesi ve 16 km'den fazla kablonun yanması nedeniyle ciddi yangın olarak değerlendirilmiştir. Kazanın gerçekleştiği anda tesisin işletimde olmaması, ciddiyet boyutlarının artmamasına olanak tanımıştır.

1984, Zaporizhzhya, Ukrayna

6 üniteye sahip Zaporizhzhya NGS'sinin tüm üniteleri Sovyet VVER-1000 tipi tasarıma sahiptir. Var olan raporlara göre yangının, esas terminaller arasında bulunan harici bir nesnenin kısa devreye sebebiyet vermesi ya da kabloların kendiliğinden tutuşması sonucunda başladığı aktarılmıştır. Bu tesisin kablo ve

terminal kutularında kullandığı kalite standartları belli olmadığından, yangın başlama sebebi tahmin edilmek durumundadır.

1988, Ignalina, Litvanya

İki ünite RBMK-1500 tipi, Sovyet tasarımlı Ignalina NGS'sinde, doğası gereği yavaşlatıcı olarak grafit, soğutucu olarak kaynar su kullanılmaktadır. Yangının başladığı oda, 2. Üniteye ait kablo dağıtım odası olup, Ana Kontrol Odası ve bilgisayar odasının altında, 5.9 m yükseklikte bulunmaktadır. Bu odalar için iyonizan tipli duman algılayıcıları ve suya dayalı sabit söndürme sistemleri de teçhiz edilmiştir. Yangının çıktığı zamanda, kabloları yangına dayanıklı kaplamalar uygulanmamakta iken, günümüze kadar geçen süreçte bu kaplamalar pratikte kendilerine yer bulmuştur.

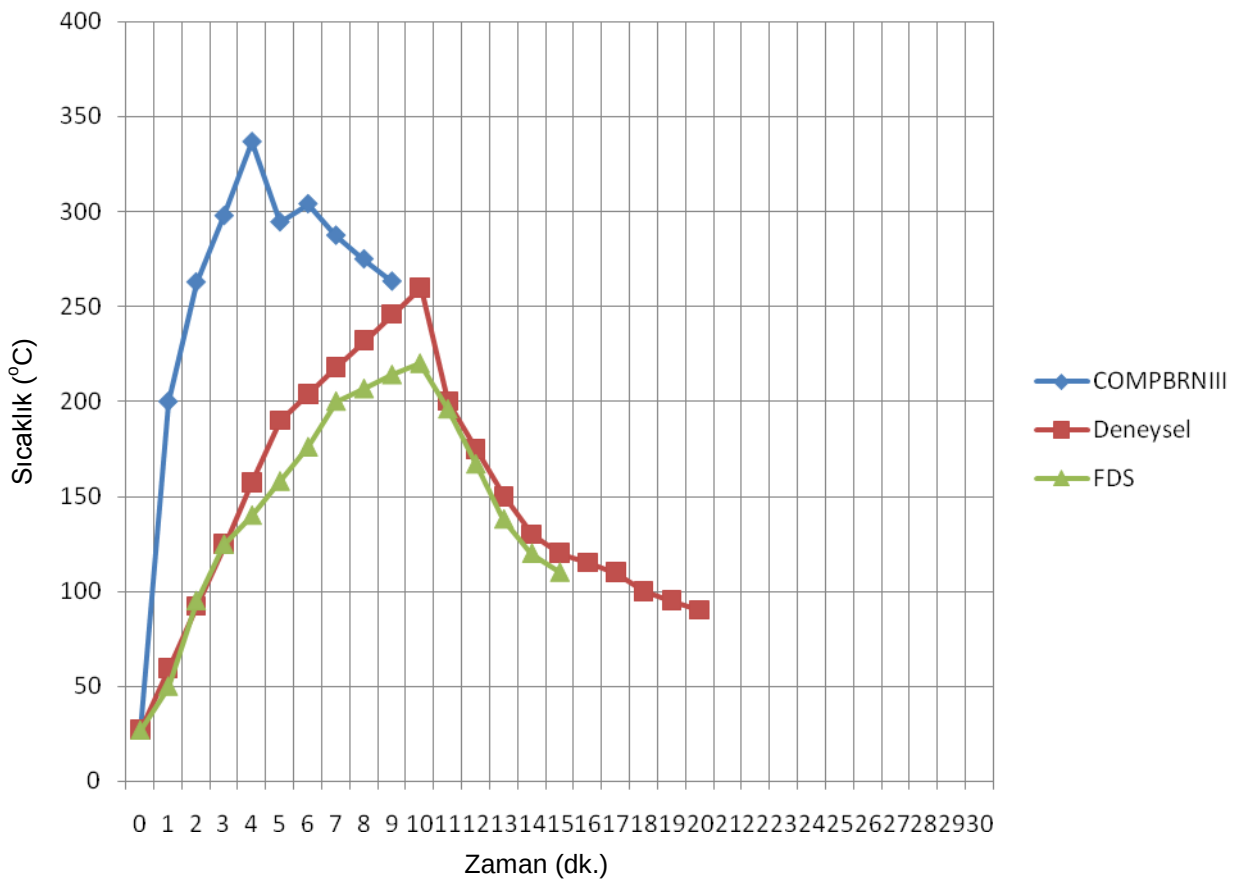
Ignalina 2'de bir kablo dağıtım odasında kendiliğinden çıkan yangın, yakın kabloları sıçrayarak kısa bir zaman zarfında algılanmış ve otomatik söndürme sistemleriyle, tasarımlarına esas bir şekilde söndürülmüştür. Yangın başladığı bölgede tecrit edilmiş, bir küme kablo kanalına hasar verecek boyutlara ulaşabilmiştir. Sadece sınırlı sayıda sistem ve bileşenlere etki ederken, hiçbir şekilde kor soğutma ve reaktör gözlem sistemlerine etki etmemiştir.

Yangınla ilgili dikkat çekici nokta ise, tasarımlarında yangını tamamen söndürmekten ziyade kontrol altına almak olan yangın bastırma sistemleri, gerektiği gibi çalışmış olsa bile, yangın oldukça büyük bir hasara yol açmıştır. Bu da tesiste kullanılan kabloların hangi standartlara göre üretildiği konusunda şüpheler uyandırmıştır.

Diğer bir ilgi çekici nokta ise yangına müdahale eden operatörler, hem ana hem de yedek kontrol odasından bu müdahalelerini gerçekleştirmişlerdir. Fakat ilgili kaynakların belirttiğine göre, yangının çıktığı zamanda Ignalina'da, Ana Kontrol Odası ve Yedek Kontrol Odasının bağımsız olarak çalışır halde olmadığı, bu duruma da dağıtım odasında çıkan yangının sebep olduğu belirtilmiştir.

EK F: ICFMP Deney Uyarlaması

Bu kısımda, ICFMP Benchmark Egzersiz 3 kapsamında gerçekleştirilen [78, 94] bir deney, COMPBRNIII koduna uyarlanmıştır. Deney sonrasında ICFMP raporlarında FDS modelleme kodu ile yapılan deneyden alınan sonuçlar karşılaştırılmış, bu çalışmada ise, aynı sonuçlar ile COMPBRNIII'den alınan sonuçlar aşağıdaki Sıcak Gaz Tabakası (HGL) sıcaklıkları grafiğinde verilmiştir. HGL sıcaklığı; diğer kod (FDS) ve gerçek deney sonuçlarında 10 dakika içinde maksimum değeri olan 260°C'ye ulaşırken, COMPBRNIII sonuçlarına göre çok daha kısa sürede bu değere ulaşabilmektedir. Sıcaklık profilinin gerçek sonuçlar ile benzerlik göstermesinin yanı sıra, çok erken safhalarda tepe sıcaklıklara yaklaşması, Bölge Modellerinin pilot yangınlara izin verebilme özelliği etkin olmuştur. Bu durum konservatif yaklaşım gereği kabul edilebilir.



Şekil 5: HGL Sıcaklıkları

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Miraç Bahadır Öztemiz

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Yılı : 1983

Medeni Hali : Evli

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise : Aydınlikevler Süper Lisesi (Y.Dil Ağırlıklı)

Lisans : Hacettepe Üniversitesi, Nükleer Enerji Mühendisliği

Yabancı Dil : İngilizce

İş Tecrübesi

Nisan 2009 – Eylül 2009: Mühendis, TAEK, ÇNAEM, TR-2 Araştırma Reaktörü

Şubat 2010'dan beri: Mühendis - Denetçi, TAEK, Nükleer Güvenlik Dairesi