

Bir Sıcak İş Kazasının Olaylar ve Nedensel Faktörler Analizi İle Araştırılması ve Balık Kılçığı Diyagramı ile Kök Sebeplerinin Bulunması: Dupont Tedlar Üretim Tesisi Örneği

Onur ŞAHİN*¹ ORCID 0000-0003-0712-2978
Nuri BİNGÖL¹ ORCID 0000-0001-6208-7277
Uğur SUR¹ ORCID 0000-0003-1424-6645

¹Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, İstanbul

Geliş tarihi: 17.05.2022

Kabul tarihi: 10.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: ŞAHİN, O., BİNGÖL, N., SUR, U., (2022). Bir Sıcak İş Kazasının Olaylar ve Nedensel Faktörler Analizi İle Araştırılması ve Balık Kılçığı Diyagramı İle Kök Sebeplerinin Bulunması: Dupont Tedlar Üretim Tesisi Örneği. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 863-874.

Öz

Proses endüstrisindeki çoğu kaza tesislerin proses emniyeti sisteminde gerçekleşen ihlallerden kaynaklanmaktadır. 9 Kasım 2010'da Dupont şirketine ait New York'ta ki bir kimyasal tesiste sıcak iş çalışması sırasında vinil florür depolanan tankta meydana gelen patlama da bu kazalardan biridir. Kaza bir ölüm ve bir yaralanma ile sonuçlanmıştır. Bu makale ile endüstriyel tesislerde sıcak iş çalışmalarından kaynaklanan kazaların ve yaralanmaların yaşanmaması için kazanın kök sebeplerini ortaya koyarak endüstrinin faydalanabileceği ve proses emniyeti yönetim sistemlerine entegre edebileceği bir çalışma olması amaçlanmıştır. Olaylar ve nedensel faktörler (events and causal factors) yöntemi ile kazanın oluşmasındaki etkenler belirlenmiş, elde edilen faktörlere göre balık kılçığı diyagramı ile kazanın 5M (Management-Machine-Man-Material-Method) başlıkları altındaki kök sebeplerine ulaşılmıştır. Kazanın ana nedenleri bakım onarım ve alt işveren yönetimindeki kusurlar, emniyete alma sistemindeki belirsizlikler, iş izin yönetim sürecindeki eksiklikler ve tank-borulama sistemindeki tasarım eksiklikleri olarak tespit edilmiştir. Tehlikeli kimyasalların bulunduğu alanlarda yapılan çalışmalarda proses emniyeti gerekliliklerinin eksiksiz olarak yerine getirilmesi ve sürdürülebilirliğinin sağlanması bu tür kazaların önlenmesindeki başlıca unsurdur.

Anahtar Kelimeler: Sıcak işler, Patlama, Bakım yönetimi, Olaylar ve nedensel faktörler analizi, Balık kılçığı yöntemi

*Sorumlu (Corresponding author) yazar: Onur ŞAHİN, onur.sahin@doktas.com

Investigation of a Hot Work Accident by Events and Causal Factors Analysis and Finding Root Causes with Fishbone Diagram: The Example of Dupont Tedlar Production Plant

Abstract

Most accidents in the process industry result from violations of the plant's process safety system. One of these accidents is the explosion of a vinyl fluoride storage tank on November 9, 2010, during hot work at a Dupont company's chemical plant in New York. The accident resulted in one death and one injury. With this article, it is aimed to be a study that the industry can benefit from and integrate it into process safety management systems by revealing the root causes of the accident in order to prevent accidents and injuries caused by hot works in industrial facilities. The factors in the occurrence of the accident were determined by the events and causal factors method and the root causes of the accident under the 5M (Management-Machine-Man-Material-Method) headings were reached with the fishbone diagram according to the factors obtained. The main causes of the accident were identified as defects in maintenance and subcontractor management, uncertainties in the safety system, deficiencies in the work permit management process and design deficiencies in the tank-piping system. Fulfilling the process safety requirements and ensuring its sustainability in the works carried out in the areas where hazardous chemicals are present are the main factors in the prevention of such accidents.

Keywords: Hot works, Explosion, Maintenance management, Events and causal factors analysis, Fishbone method

1. GİRİŞ

Kimyasal maddelerle çalışan tesisler için proses emniyeti yönetimi (Process Safety Management, PSM) özellikle son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Kuruluşlar büyük kazalar yaşamamak için emniyet tedbirlerini artırma yoluna gitmiş ve geliştirilen iyi araçları tesislerinde uygulamaya başlamışlardır [1]. Dupont kendi tesislerinde kullanılmak üzere geliştirdiği proses emniyet araçlarını son yıllarda diğer kuruluşların da kullanımı için dünyaya sunmuş ve bu konuda öncülük etmiştir. Kimya tesisleri için bakım, temizlik, alt işveren faaliyetleri sırasında proses emniyeti yönetimindeki en küçük bir açık felaket ile sonuçlanabilir. Deepwater Horizon kazası, Meksika Körfezi kazası ve Piper Alpha felaketi bu kazalardan sadece birkaçıdır [2]. İngiltere İş Sağlığı ve Güvenliği Kurumu (Health and Safety Executive, HSE) tarafından yapılan araştırmalar

ile kimya endüstrisindeki ölümlerin yaklaşık %30'unun bakımla bağlantılı olduğunu ve bakım faaliyetleri sırasında veya hatalı bakımın bir sonucu olarak meydana gelen faaliyetlerden oluştuğu belirtilmiştir [3]. ABD Kimyasal Güvenlik Kurulu (Chemical Safety Board, CSB)'nin araştırmasını yapıp yayınladığı kazalar Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde sıcak çalışmalara bağlı kazaların tüm kazalar içinde %6 oranında olduğu görülmektedir. Sıcak iş izin sisteminin ihlali endüstriyel tesislerde çok büyük felaketlere yol açmaktadır. Sıcak iş izni beraberinde bir takım ihlalleri de getirmektedir. Örnek olarak seçilen Dupont tesisindeki kaza, görünüşte basit bir sıcak iş onarım kazası gibi görünmekte ancak süreç boyunca birçok ihlal olduğu için olaylar ve nedensel faktörler yöntemi ile analiz edilmiştir.

Çizelge 1. ABD Kimyasal Güvenlik Kurulu'nun araştırması tamamlanmış kaza tipleri dağılımı [4]

Kaza Tipi	Kaza Sayısı	Oran (%)
Kimyasal salınım	18	18,2
Yangın	17	17,2
Petrol ve rafinaj kazası	15	15,2
Reaktif olay	12	12,1
Toz patlaması	8	8,1
Kimyasal toz-yangın	7	7,1
Topluluk etkisi	6	6,0
Buhar kazaları	6	6,0
Sıcak iş kazaları	6	6,0
Kısıtlı alan kazaları	4	4,0
TOPLAM	99	100

Endüstriyel kazalar üzerine yapılan araştırmalara göre, insan hataları nükleer endüstrilerdeki kazaların %90'ından, kimya endüstrilerindeki kazaların %80'inden, deniz kazalarının %75'i ve havacılık kazalarının %70'inden sorumlu olduğu bildirilmiştir [5]. ABD Kimyasal Güvenlik Kurulu, 1990'dan bu yana tanklardaki sıcak çalışma faaliyetlerinden kaynaklanan patlamalar ve yangınlar nedeniyle 60'tan fazla ölüm yaşandığını bildirmiştir. 8 Şubat 2017'de Louisiana da bir konteyner fabrikasında meydana gelen tank patlamasında sıcak iş izni ile ilgili bir takım ihlallerin kök sebepler altında olduğu gösterilmiştir. 11 Ocak 2006'da Florida'da bir belediye atık su arıtma tesisinin metanol depolama tankında patlama meydana gelmiştir. Patlamanın ana nedeni sıcak iş çalışması ihlali olarak gösterilmiştir. Amerika'da kurulu atık ve geri dönüşüm kuruluşu olan Philip Services Corporation'da 35 tonluk bir atık yağ depolama tankının üzerinde bir patlama meydana gelmiş ve kaza incelemesi yapan yetkili itfaiye departmanı kaynak işlemi sırasında tankın havalandırma alanının içine ve çevresine kıvılcım düştüğü sonucuna varmıştır. İtfaiye raporunda tankın içindeki malzemelerin tutuşarak patlamaya ve yangına neden olduğunu, müteahhitlerin tankı çevreleyen alan içinde kaynak yapmaya yetkili olmadığını, kaynak için sıcak çalışma izni verilmediğini ve yanıcı gaz izleme yapılmadığını raporlamıştır. Görüldüğü gibi sıcak iş kaynaklı

kazalar ölüm ve yaralanmalar hatta tesis ve orman yangınlarıyla sonuçlanmaktadır [4]. Ahrens tarafından 2021 yılında yayınlanan bir çalışmada 2014 ile 2018 arasındaki beş yıllık dönemde, yerel itfaiye birimleri, sıcak çalışma ile ilgili ekipmanı içeren yılda tahmini ortalama 4.580 yapı yangınına müdahale ettiğini ve bu yangınların yılda ortalama 22 sivilin ölümüne, 171 sivilin yaralanmasına ve 484 milyon dolarlık doğrudan maddi hasara neden olduğunu bildirmiştir [6]. NFPA (National Fire Protection Association, Amerika Birleşik Devletleri Yangından Korunma Kurumu), birçok ölüm ve hasarın meydana geldiği sıcak çalışma kazalarının %36 oranında kaynak torçundan, %22 oranında kesme torçundan ve %17 oranında lehimleme ekipmanlarından kaynaklandığı bildirilmiştir [7]. Wang ve arkadaşları tarafından 2022 yılında yayınlanan bir çalışmada Çin'de son üç yılda ortalama 150 proses kazası meydana geldiği ve bu kazalarda 225 kişinin öldüğü bildirilmiştir [8].

2. MATERYAL VE METOT

Kazaların nedenlerinin araştırılması ve belirlenmesi için, 5 neden, balık kılıcı analizi, hata ağacı analizi (fault tree analysis, FTA), problem ağacı analizi (problem tree analysis, PTA) ve daha pek çok farklı kök neden analizi yöntemi vardır. Belirli bir vaka çalışması için seçilen teknik, mevcut bilgiler, araştıran personelin teknik bilgisi ve eldeki sorunun karmaşıklığı hakkında duruma göre değişebilir [9] Bu çalışmada olası nedenleri belirlemek ve kategorize etmek için olaylar ve nedensel faktörler (events and causal factors) yöntemi [10] ile kaza nedenleri 5 kısımdan oluşan diyagramlar halinde gösterilmiş ve balık kılıcı metodu (Ishikawa diyagramı) ile analiz edilmiş kök sebeplere ulaşılmaya çalışılmıştır.

Olaylar ve Nedensel Faktörler (ECF) tablosu, bir kazanın meydana gelmesi için gerekli ve yeterli olayları ve nedensel faktörleri mantıklı bir sırayla gösterir. Sadece kazayı analiz etmek ve soruşturma sırasında kanıtları değerlendirmek için değil, aynı zamanda kaza öncesi sistem analizlerini doğrulamaya da yardımcı olur [10]. ECF çizelgesi olayları tek özneler ve etkin fiillerle karakterize

edilen olaylarla birlikte dikdörtgenler içinde soldan sağa kronolojik sırayla kaydeder. Her olay bir öncekinden türetilmiştir. Olaylar için gerekli koşullar, olaylar dizisinin üstünde ve altında ovaler halinde gösterilir. Olaylar düz çizgilerle, koşullar kesikli çizgilerle birbirine bağlanır. Kanıta dayalı olanlar sağlam bir çerçeveye sahipken, varsayıma dayalı olanlar kesikli bir çerçeveye sahiptir. Birden fazla veya dallara ayrılan olaylar dizisi olabilir [10]. İncelenen kazada olaylar ve nedensel faktörler tabloları 5 kısma ayrılarak ve her kısmının bitiminde harf ile bir sonraki tabloya bağlanarak verilmiştir.

Balık kılçığı veya Ishikawa diyagramı, bir odak olayının olası nedenlerini tanımlamaya, analiz etmeye ve sunmaya yardımcı olan bir tekniktir. Bir beyin fırtınası oturumu yapılandırmak ve daha fazla kanıtın aranabileceği fikirler önermek için kullanılabilir. Teknik, Kaoru Ishikawa tarafından icat edilmiştir ve bir olay ile onu etkileyen tüm faktörler arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak gösterir. Bu teknik, görünümünden dolayı "balık kılçığı diyagramı" olarak da anılmaktadır [11].

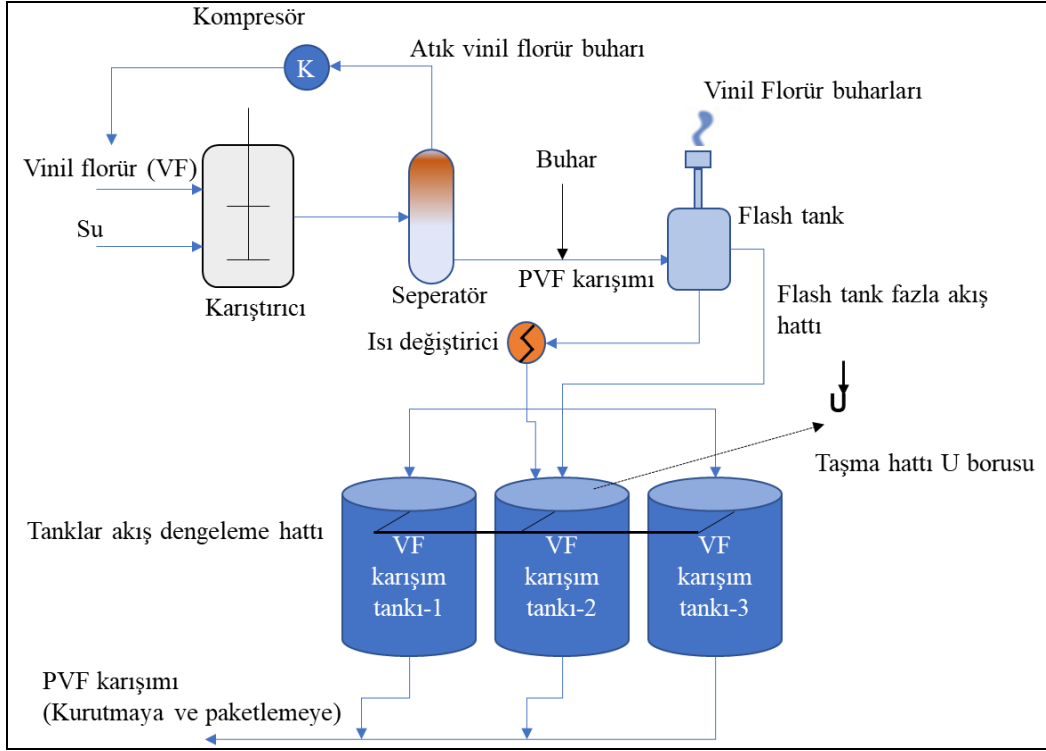
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Proses ve Kaza Açıklaması

DuPont de Nemours & Co Inc.'e ait tesis Bufalo, New York'da kurulmuş olup güneş panellerinin filmini ve mutfak tezgahlarında kullanılan kaplama malzemesini (Tedlar) üretmektedir. Tedlar üretiminde kullanılan vinil florür (VF) Dupont'un başka bir tesisinde üretilip karayolu ile Bufalodaki tesise nakledilir ve yüksek basınçlı tanklarda depolanır. VF, Bufalo tesisinde polivinil florüre (PVF) dönüştürülür [12]. Vinil florür, C_2H_3F kimyasal formülüne sahip organik bir halojenürdür. Eter benzeri bir kokuya sahip renksiz bir gaz olan VF polivinilflorürün hammaddesi olarak kullanılır [13]. NFPA 704 yangın dörtgenine göre yanıcılığı 4, reaktivite seviyesi ise 2 olan [14] ve F radikali ile bağlandığında patlayıcılığı artan bir kimyasaldır. Patlama limitleri %2,6 ile %21,7 arasındadır [14]. Dolayısıyla patlama aralığı oldukça geniştir.

Kazanın meydana geldiği sahada üç adet 3 m çapında vinil florür tankı olduğu ve tankların 6 m yüksekliğinde ve 40 ton kapasiteye sahip olduğu tespit edilmiştir. PVF sistemi bir karıştırıcı reaktör, bir seperatör, bir kompresör ve bir flaş tankından oluşmaktadır (Şekil 1). Tank cidarı ve üst kısmı 6 mm kalınlığında paslanmaz çeliktir. Her tank üstü 60 cm çaplı bir yol üzerinde menteşeli, sızdırmaz çelik bir kapağa ve büyük bir karıştırıcı motor tahrikine ve dişli kutusuna sahiptir. Karıştırıcı tertibatı, doğrudan tank üstüne kaynaklanmış yapısal çelik kirişlere monte edilmiştir. Bulamaç tankı besleme ve tahliye hatları izolasyon vanaları ile donatılmıştır. PVF bulamaç tankları, tankların üst kısmına yakın bir yere bağlı ortak bir taşma hattına sahiptir. Taşma hattına kör flaşlar takılır ve bir veya iki tank çalışıyorsa, üçüncüsü bakımdayken bir tankı diğerinden izole etmesi için yerleştirilmiştir. 1 m çapındaki flaş tankı, küçük konsantrasyonlarda yanıcı buharı doğrudan ortam atmosferine verir, bu nedenle alan patlama tehlikeleri mevcut olduğunda personeli bilgilendirmek için yanıcı bir buhar hava izleme cihazları ile donatılmıştır. Sürekli hava monitörleri bulamaç tankının üç yanında ve flaş tankı havalandırma borusunun yakınında yürüme yolu üzerinde bulunur. Herhangi bir cihaz kendi ayar noktasının üzerinde yanıcı buhar tespit ederse, Tedlar kontrol odasındaki bir alarm devreye girer. Düşük alarm ayar noktası alt patlama sınırının (LEL) %10'u, yüksek alarm ayar noktası LEL'in %2'sidir [12].

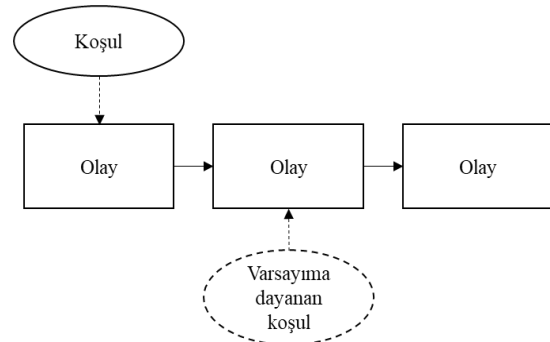
Başka bir tesisten tankerle getirilen VF tanklara aktarıldıktan sonra pompa ile reaktöre iletilir. Burada su ile karışım oluşturulur ve karışım seperatöre verilir. Seperatörde VF atık buharları kompresör ile tekrar reaktör giriş hattına, PVF bulamacı ise flaş tankına nakledilir. Nakil sırasında PVF hattına buhar enjekte edilerek bulamaçta kalan VF buharları uzaklaştırılır. Flaş tankındaki karışım bir boru hattı ile tanklara alınır. Tankların üst kısmında taşma hattı her üç tankı birbirine bağlanmıştır (Şekil 1) [12].



Şekil 1. PVF Prosesi akış diyagramı

3.2. Kazanın ECF ile Analiz Edilmesi

Dupont tesisinde meydana gelen bu kaza ABD Kimyasal Güvenlik Kurulu CSB'nin araştırma raporları, tutanakları ve yayınladığı bültenlerdeki bilgiler ışığında ECF yöntemi ile şematik olarak gösterilmiştir. Bu gösterimde kullanılan mavi altıgen içindeki harf sembolü ile diyagramın diğer sayfada devam ettiği anlatılmaktadır. Ayrıca diyagramda kırmızı yuvarlak içindeki D sembolü sürecin Dupont çalışanları tarafından gerçekleştirildiğini, sarı yuvarlak içindeki C ile belirtilen faaliyetlerin ise alt yüklenici (contractor) çalışanlarından gerçekleştirildiğini göstermektedir. X, y, z ve t sembolleri diğer şekillerde gösterilen diyagramın bağlantı noktalarını göstermektedir. Kaza incelemesi 5 kısma ayrılarak incelenmiştir. Aşağıda tipik bir olay ve koşul diyagramı verilmiştir (Şekil 2).

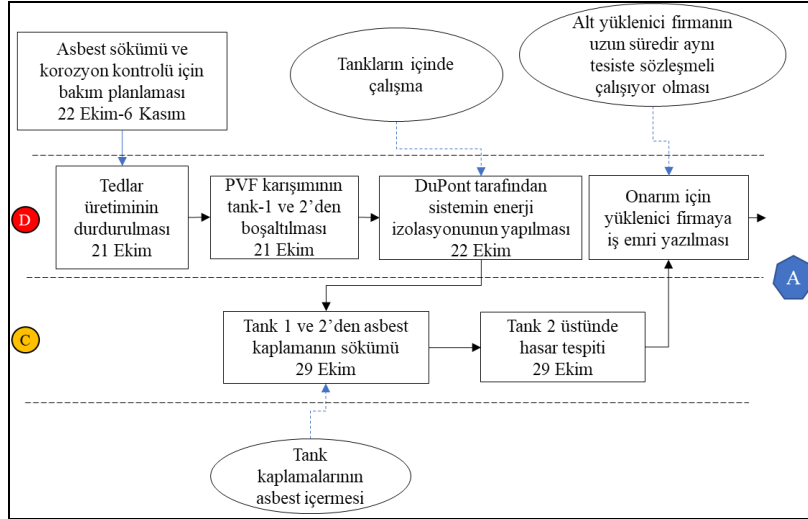


Şekil 2. Olaylar ve koşullar diyagramı tipik gösterimi [15]

Tesiste 22 Ekim ile 6 Kasım tarihleri arasında sürecek bir bakım süreci planlanmıştır. Tanklar asbest içeren izolasyon ile kaplı olduğu tespit edilmiştir. Hem asbestten arındırmak hem de kontrolleri yapmak üzere 22 Ekim'de sistem bakım için durdurulmuştur. Tanklarda ki PVF bulamacı boşaltılarak tanklar LOTO (lockout tagout) ile kilitlenmiştir. Sahada bakım onarım işlerini yapan

Bir Sıcak İş Kazasının Olaylar ve Nedensel Faktörler Analizi İle Araştırılması ve Balık Kulçığı Diyagramı ile Kök Sebeplerinin Bulunması: Dupont Tedlar Üretim Tesisi Örneği

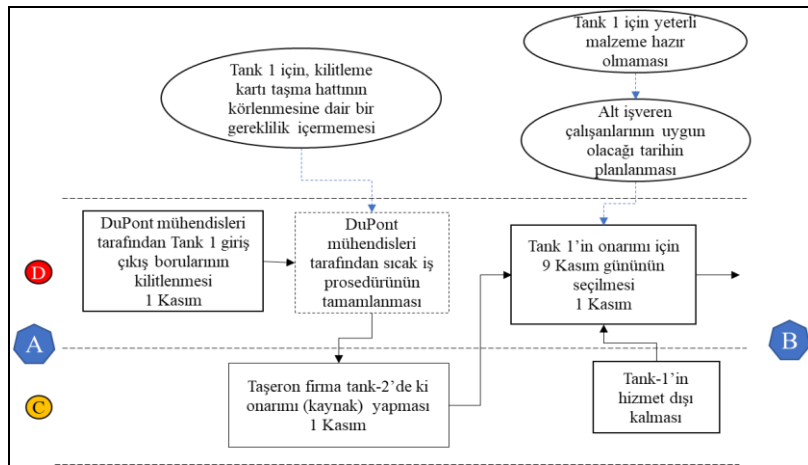
alt işverene bir iş emri ile tanklardaki bakım işi üzerinde hasar tespit edilmiştir. Onarım için verilmiştir. Asbest sökümü ve korzyon kontrolü için bakım planlaması 22 Ekim-6 Kasım yüklenici firmaya bir iş emri yazılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Kazanın ECF diyagramı (kısım 1)

Bu kısımda bakım faaliyetinin başlaması ile hem ana işveren hem de yüklenici firma normal faaliyetlerde bulunmuştur. Bu kısımda üç adet koşul tespit edilmiştir. Birincisi tankların asbestli malzeme içermesi (sökümü gerektirmiştir), ikincisi tankların içine girilmesi (enerji izolasyonu gerektirmiştir), üçüncüsü de onarım işinin uzun

zamandır sahada iş yapan müteahhite verilmiş olmasıdır. Akış diyagramında D ile gösterilen adımlar DuPont tarafından, C ile gösterilen adımlar alt yüklenici tarafından yapılmıştır. Akışın A (mavi altıgen içinde) ile gösterilen kısım bir sonraki adımda Şekil 4'de devam etmektedir.



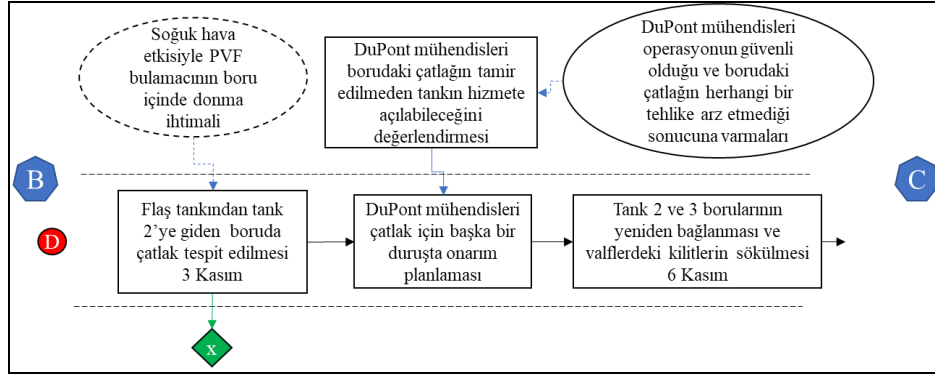
Şekil 4. Kazanın ECF diyagramı (kısım 2)

İkinci kısımdaki ECF diyagramına bakıldığında proses yönetimindeki aksamaların yavaş yavaş

başladığı bir sürece doğru girildiği görülmektedir. Taşma hattının körlenmemesi ve sıcak iş

prosedüründe de buna dair bir gereklilik olmaması bu kısımdaki en önemli nokta olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir diğer zayıf nokta ise bakım ve malzeme planlamasıdır. Tankların üzerinde bakım çalışması yapılırken tank 1 için yeterli malzeme

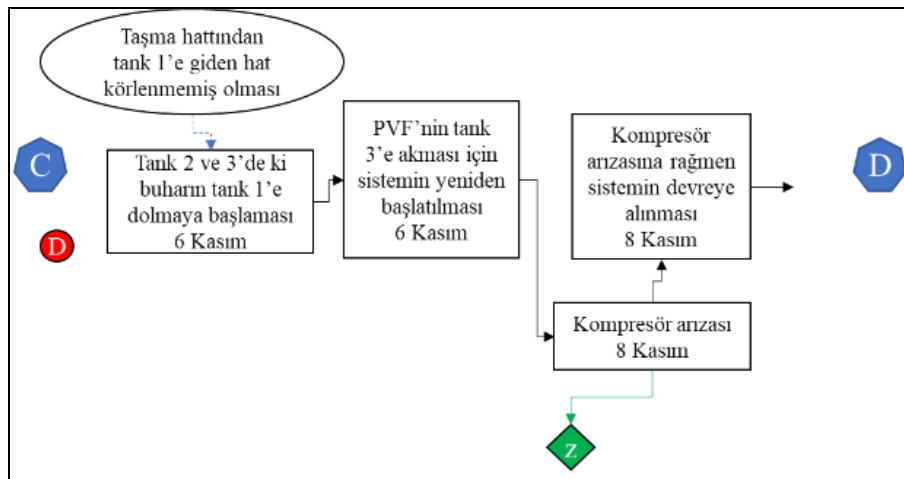
olmaması ve bu yüzden yüklenicinin müsait olacağı başka bir tarihe işin ertelenmesi eylemleri doğuran en önemli koşullar olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 4). Kısım 2'den sonra akış B ile gösterildiği gibi Şekil 5'de devam etmektedir.



Şekil 5. Kazanın ECF diyagramı (kısım 3)

Şekil 5'de ki analizin üçüncü kısmına bakıldığında iki adet koşul görünmektedir. Birincisi soğuk havanın etkisiyle PVF bulamacının boruda donarak boruyu çatlatması ve bu yüzden VF buharının tank 1'e dolma ihtimalidir. Bu koşul kesikli oval çizgiyle belirtilmiştir. İkinci koşul ise tesis mühendislerinin operasyonun güvenli olduğuna ve borudaki çatlakların herhangi bir tehlike arz etmediği sonucuna varmaları olarak belirlenmiştir. Bu koşul ise güçlü kanıtlara dayandığı için düz oval ile gösterilmiştir. Kazanın

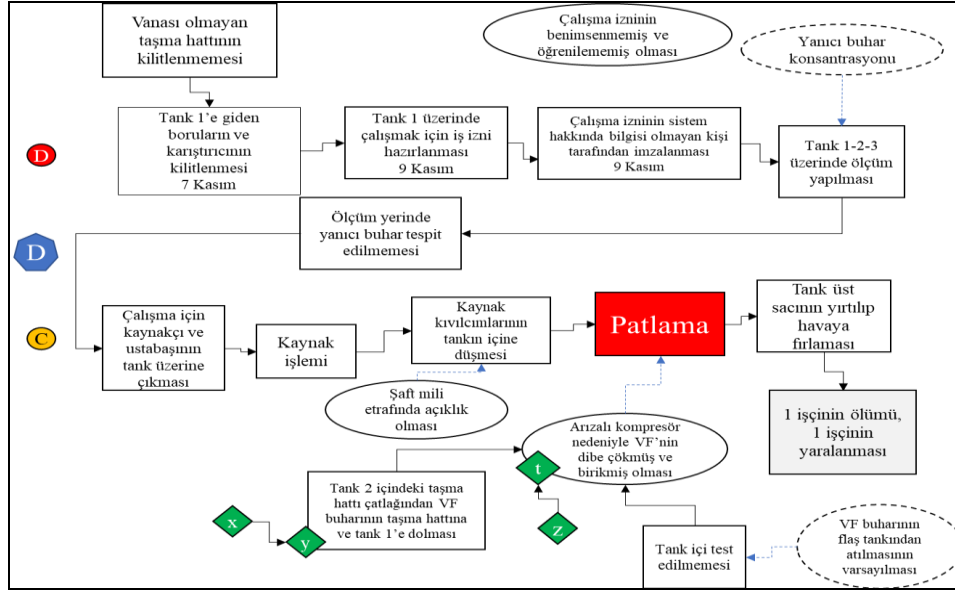
ana nedenlerinden olan VF buharının tank 1'e dolması bu kısımda başlamıştır. Şekil 5'de görüldüğü gibi yeşil dörtgen içindeki x patlamasının gerçekleşeceği kısıma bağlanmıştır. Proses yönetimindeki diğer açıklar bu kısımda yine ortaya çıkmıştır. Mühendisler borudaki çatlakların herhangi bir tehlike yaratmayacağı (koşul) fikrine varmaları, tankın hizmete açılabilirliği anlamına gelmiştir. Böylece tank 2 ve 3'de ki kilitler kaldırılmış ve sistem devreye alınmıştır. Akış, Şekil 5'den C sembolü ile Şekil 6'ya bağlanmıştır.



Şekil 6. Kazanın ECF diyagramı (kısım 4)

Bu aşamadan sonra borudaki çatlaktan tanklara dolan buhar taşma hattından tank 1'e dolmaya başlamıştır. Bu sırada atık VF'yi tanka döndüren kompresör arızalanmıştır. Bu arızaya rağmen sürece devam edilmiştir (Şekil 6). Kompresör

arızasının sistemdeki VF buharının konsantrasyonunun artmasına ve patlamayı hızlandırıcı etki yapması yeşil zeminde z dörtgeni ile gösterilmiş ve Şekil 7'de ki t dörtgenine bağlanmıştır.



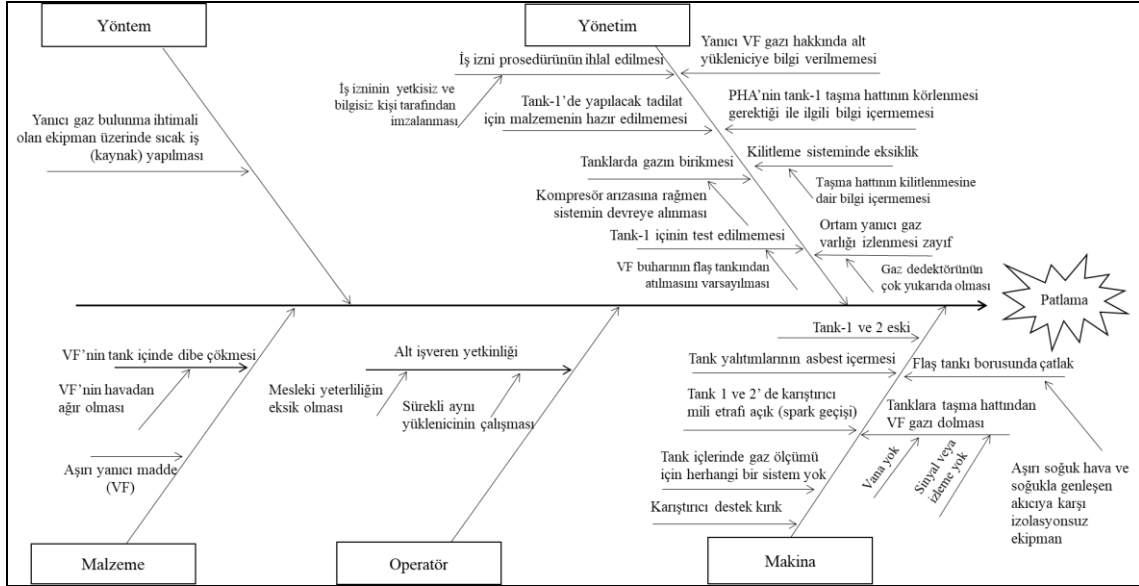
Şekil 7. Kazanın ECF diyagramı (kısım 5)

Son diyagramda (Şekil 7) da görüldüğü gibi patlama ihlallerin yoğunlaştığı 5. kısımda meydana gelmiştir. Patlamayı meydana getiren sürecin koşulları ve eylemleri bu kısımda irdelenmiştir. 7 Kasım günü tank 1 boruları ve tank üzerindeki karıştırıcı kilitlemiştir. 9 Kasım'da tank üzerinde çalışma yapmak için bir sıcak iş izni hazırlanmıştır. Müteahhit süpervizörü, bulamaç tankındaki onarım çalışmaları için gerekli sıcak çalışma iznini tamamlamıştır. İzin, yüklenicilerin bulamaç tankının üstünde yakma, kaynaklama ve taşlama işleri yapacağını belirtmiştir. Bu iznin gereklilik bölümünde, yanıcı malzemenin işin 1,5 m yakınında olup olmayacağı sorulmuştur. Sıcak çalışma, VF'yi atmosfere vermek üzere tasarlanmış bulamaç flaş tankının 1,5 m yakınında gerçekleştirilmesine rağmen bu bölüm risk değerlendirme sırasında atlanmıştır. Müteahhitler, Tedlar sürecine ve ilgili süreç ekipmanı hakkında bilgileri de eksik olduğu tespit edilmiştir. Çalışanlar, flaş tankının ne olduğunu veya içinde hangi kimyasalların bulunduğu hakkında

bilgilerinin olmadığı tespit edilmiştir. Tankların üzerinde buhar ölçümü yapılmış ancak herhangi bir yanıcı gaz tespit edilmemiştir. Bunun üzerine kaynak işlemine başlanmıştır. Kaynak işlemi sırasında kıvılcıklar karıştırıcı şaftı boşluğundan tank 1'in içine girmeye başlamıştır. Taşma hattından gelen VF gazı dibe çökmüş ve arızalı kompresör sebebiyle yoğunluğu artmıştır. Tank içi test edilmediği için kıvılcıklar ve üst tank sacı altında oluşan kaynak dikişinin oluşturduğu sıcaklık ile patlama meydana gelmiştir. Patlama ile üst sac havaya uçmuş ve bir kısmı tanka yapışık kaldığı için menteşe görevi görmüştür. Patlamada 1 işçi ölmüş, diğeri de ağır yaralanmıştır [12].

3.3. Kazanın Balık Kılçığı Yöntemi İle Kök Sebeplerinin Analizi

Kazanın balık kılçığı ile analizinde 5 adet ana başlık kullanılmıştır. Bunlar metod, yönetim, malzeme, insan (operatör) ve makine'dir.



Şekil 8. Kazanın balık kılıçlığı diyagramı

3.3.1. Metod

Tamiratın yapılması için seçilen metod, ark kaynağı yöntemidir. Burada tamirata başlamadan önce tank üzerindeki çelik profilin tanka sabitlenmesi için başka bir yöntem kullanılıp kullanılmayacağı hakkında bir analiz yapılması gerektiği halde yapılmamıştır. Amaç tehlikeyi ortaya çıkarmadan korunma hiyerarşisinin birinci adımını gerçekleştirmek olması gerektiği halde bu adımın atıldığı tespit edilmiştir. Somun cıvata ile birleştirme yapılabilmesi için önceden tankın iç kısmında göz ölçümü yapılması gerektiği eğer uygun ise delik delinerek cıvata sistemi ile birleştirme yapılması gerektiği tespit edilmiştir. İki yöntem arasında ki fark kaynak işleminde tank sac yüzeyinde oluşan sıcaklığın somun cıvata montajında açılan delik sırasında ki sıcaklığa göre daha fazla olmasıdır. Bu sıcaklıkta patlamayı tetikleyen etkenlerden biri olmuştur.

3.3.2. Yönetim

Kimyasal ekipmanların veya ürünlerin bulunduğu tesislerde proses yönetim sistemi kazaların önlenmesi için uygulanan sistemdir. Bu sistemde tanımlanan araçlara uyum son derece önemlidir.

Bu olayda yönetim sisteminde kazayı oluşturan etkenler şu şekildedir: İş izin sistemi yetkisiz kişi tarafından imzalanmış böylece izin sisteminde ihlal oluşmuştur. Yanıcı VF gazı hakkında kaynak yapan personele bilgi verilmemesi de önemli bir eksiklik olarak tespit edilmiştir. Burada alt işveren yönetiminde eksiklikler olduğu göze çarpmaktadır. Proses tehlike analizinin eksik yapılmasından dolayı taşıma hattının körlenmesi gerektiği atlanmış böylece yanıcı buhar kaynak yapılan tanka dolmuştur. Loto prosedürü de bu aşamada herhangi bir gerekliliğe işaret etmediği için proses emniyeti yönetiminde açıkların olduğu tespit edilmiştir.

3.3.3. Malzeme

Patlama vinil florür tankında meydana gelmiştir. Proses gereği vinil florürün tankta bulunması kaçınılmazdır. Burada vinil florür patlamayı oluşturan ana etken olduğu ortadadır. VF havadan ağır olduğu için dibe çökmüş ve gaz algılayıcılar tarafından tespit edilememiştir.

3.3.4. İnsan

Tankta meydana gelen patlamada çalışan kaynakçı bir alt işveren elemanı olarak çalışıyordu. Kaynak

işlemini yapacağı tankın içeriği ve genel proses hakkında bilgisi olmadığı için kazanın önemli etkenlerinden olan insan başlığı oluşturmaktadır.

3.3.5. Makine

Makine başlığı içinde tanklar ele alınmıştır. Tanklarda ki fiziksel eksiklikler kazanın meydana gelmesinde etkili rol oynamıştır. Örneğin patlama yaşanan tankta karıştırıcı mili etrafındaki açıklık kaynak kıvılcıklarının tank içine girmesini sağlamıştır. Bir başka fiziksel hata tankların içinde gaz izleme sistemi olmaması kazanın oluşumuna etki eden etkenlerdendir. Tanklarda ki taşma hattında vana veya herhangi bir körleme sistemi olmaması yanıcı gazın tanka dolmasına olanak sağlamış kaynak sıcaklığı ve kıvılcıklar ile ateş alarak patlamaya sebep olmuştur.

4. SONUÇLAR

Şekil 8'den de anlaşılacağı gibi kazayı oluşturan ihmallerin yaklaşık %80'i (ana kılıçığı oluşturan yan kılıçıklar) yönetim ve makine kısmında toplanmıştır. Bu sonuçta sıcak iş kazalarının proses emniyeti ve tasarım yönetiminde oluşacak ihmallerden kaynaklandığını net olarak ortaya koymaktadır. Proses emniyet yönetimi balık kılıçığının yönetim kısmında yer almaktadır. Proses emniyeti çatısı altında tesislerin emniyetli yönetimi için en önemli 6 prosedür aşağıda verilmiştir.

1. İş İzni Sistemi
2. EKED Sistemi
3. Proses Tehlike Analizi
4. Alt İşveren Yönetimi
5. Bakım Yönetim Sistemi
6. Değişim Yönetim Sistemi

İş izin sistemi uygulamasında sahada yetkisiz ve patlamanın yaşandığı tesis ile ilgili teknik bilgisi yetersiz bir kişi tarafından imzalanmış olması hata sürecinin onaylanmış olması anlamına gelmektedir. Ayrıca işi yapacak olan çalışanları tankların içindeki madde hakkında bilgilerinin yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Sıcak iş izni aynı zamanda bir ön risk değerlendirmesidir ve kaza günü patlamanın yaşandığı tankların hemen yanında tüm ilgililer ile yapılmadığı için kaynakçı

ve ustabaşının yanıcı madde ile ilgili bilgisinin yetersiz kalmış ve süreç devam etmiştir. Sürecin devamında tank içi gaz ölçümü yapılmadan işe başlandığı için sonuç patlama ile neticelenmiştir. Jahangiri 2015'te yayınladığı bir makalede iş izni sürecinde en yüksek insan hatası olasılığının "yanıcı gaz testi" (0,507) ile ilgili olduğunu belirtmiş, ortalama insan hatası olasılığının 0,112 olduğunu göstermiştir [5]. Flaş tankındaki U boru çatlağı tank-2 ye VF'nin akmasına sebep olması ve bu durumun bir tehlike yaratmayacağını varsayılması tesisin PHA (Process Hazard Analysis)'da ki eksik bir konu olarak öne çıkmaktadır. PHA'da tankın içine buhar sızıntısı gibi bir öngörü ile belirtilmiş olsaydı kaynak çalışması öncesi sistem kapatılabilir ve kaynak işlemi iptal edilebilme olasılığının olduğu tespit edilmiştir. Taşma hatlarında vana olmaması ve taşma hattının her 3 tanka doğrudan bağlı olması olası sızıntılarda bakım çalışmalarında tehlike riske dönüşme ihtimalini artırmaktadır. Tasarım hatasına rağmen tank-1 de ki kaynak işlemi öncesinde tanka bağlı olan tüm boru hatlarının körlenmemiş olması patlamayı doğurmuştur. Onarım çalışmasında kaynak yönteminin oluşturduğu kıvılcıklar karıştırıcı mili etrafında ki açıklıktan tank içine girmesi alt işveren yönetimi ve bakım onarım işlerinde uygulanması gereken prosedürde açıklar olduğunu göstermektedir. Örneğin kaynak işlemi sırasında kıvılcıklara karşı herhangi bir önlemin (battaniye gibi) alınmadığı tespit edilmiştir.

ABD Kimyasal Güvenlik Kurulu (CSB) 1990'dan beri sıcak çalışma işlerindeki patlama ve yangınlardan dolayı 60'tan fazla ölüm meydana geldiğini tespit etmiştir. Sıcak çalışmanın tehlikeleri iyi belirlenmiş ve uygulama kılavuzları mevcut olsa da, sıcak işle ilgili yangın ve patlamalarda sık ölümler ve ciddi yaralanmalar meydana gelmeye devam etmektedir. CSB, araştırdığı kazalar arasında işçi ölümlerinin en yaygın nedenlerinden birinin sıcak iş olduğunu tespit etmiştir [12].

Bu çalışmada bir kimya tesisinde meydana gelen sıcak iş kazası olayı kök sebep analiz tekniklerinden ECF ve Balık kılıçığı yöntemleri ile analiz edilmiştir. Balık kılıçığı diyagramından elde

edilen verilere göre kazanın 16 nedeninin 8'i yönetim başlığında bulunmaktadır. Bu sonuca göre tesisler PSM prosedürlerini eksiksiz olarak uygulamalı ve PHA'lerinde bütün tehlikeli alanları dahil etmelidir. Çalışma ayrıca sıcak iş kazası riski bulunan tesislerin PSM'lerinde ki risk değerlendirmeleri ve talimatları için tekrar gözden geçirme ve her bir kılçık (kök) veya her bir ECF kutucuğundaki olgu için aksiyon alma fırsatı oluşturmalıdır. Ayrıca gelecekte bu tip kazanın yaşanmaması için dünyaca kabul görmüş araçlar, tesisler için kırmızı çizgi niteliğinde olmalı ve tolerans gösterilmeden uygulanmalıdır. Diğer iyi güvenlik uygulamalarıyla birlikte aşağıda verilen yedi önemli konuyu uygulamak, sıcak işlerden kaynaklanan ölümleri ve yaralanmaları önleyebilir.

- Alternatif birleştirme yöntemi bulunup bulunmadığını düşünmek ve varsa kıvılcım çıkarmayan işlem tercih edilmelidir.
- Sıcak çalışmaya başlamadan önce, işin kapsamını, potansiyel tehlikeleri ve tehlike kontrol yöntemlerini tanımlayan bir tehlike değerlendirmesi yapılmalıdır. Tüm alanlar kapsama alanına alınmalıdır.
- Yanıcı bir atmosferin beklenmediği alanlarda bile, sıcak çalışma öncesinde ve sırasında kalibre edilmiş bir yanıcı gaz izleme cihazı ile çalışma alanında etkili gaz izleme gerçekleştirilmelidir.
- Tank ve boru sistemlerinde sıcak çalışma yapılmadan önce tüm girişler açılarak sistem havalandırılmalı ve test edilmelidir.
- Yazılı iş izin prosedürünü eksiksiz ve bu konuda bilgisi olan kişiler uygulamalıdır.
- Tüm personele sıcak iş ve tehlikeleri konusunda düzenli aralıklarla eğitilmelidir.
- Sıcak çalışma yürüten yükleniciler için güvenlik denetimi sağlanmalı ve yükleniciler yanıcı malzemelerin mevcudiyeti dail sahaya özgü tehlikeler hakkında bilgilendirilmelidir [16].

Sıcak iş izin formu bir formdan ziyade bir ön tehlike analizidir. Bu sistem yüksek riskli durumlarda (sıcak işler, kapalı alan girişleri, bakım faaliyetleri, tehlikeli madde taşıma ve elektriksel veya mekanik izolasyonlar) kullanılması

gerekebilir. Bu sistemde sorumluluk sahibi bireyler çalışma prosedürlerini değerlendirmeli ve tüm aşamalarında güvenliği kontrol etmelidir. Ayrıca, izinler saha yöneticileri, tesis denetçileri ve operatörler arasında etkili iletişim araçlarıdır [17].

Bu çalışmada incelenen kaza 2010 yılında gerçekleşmiştir. Günümüzde eski iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarına göre birçok gelişme olmasına rağmen benzer kazalar yaşanmaktadır. Bu kazalar ECF yöntemi ile analiz edilip kazayı oluşturan faktörlerin her birisine kalıcı önlemler alınması bu tip kazaların bir daha yaşanmamasına yardımcı olacaktır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada değerli desteklerini sunan Sn.Sedat Can TÜRK'e ve Sn. Kerem TOPAL'a teşekkürlerimizi sunarız.

6. KAYNAKLAR

1. Behie, S.W., Halim, S.Z., Efaw, B., O'Connor, T.M., Quddus, N., 2020. Guidance to Improve The Effectiveness of Process Safety Management Systems in Operating Facilities. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 68 104257.
2. Nwankwo, C.D., Theophilus, S.C., Arewa, A.O., 2020. A Comparative Analysis of Process Safety Management (PSM) Systems in the Process Industry. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 66(2020) 104171.
3. Hale, A.R., Heming, B.H.J., Smit, K., Rodenburg, F.G.Th., van Leeuwen, N.D., 1998. Evaluating Safety in the Management of Maintenance Activities in the Chemical Process Industry. Safety Science, 28(1) 21-44.
4. Chemical Safety Board (CSB) <https://www.csb.gov/investigations/completed-investigations/?Type=2>, Erişim Tarihi: 10.12.2021.
5. Jahangiri, M., Hoboubi, N., Rostamabadi, A., Keshavarzi, S., Hosseini, A.A., 2015. Human Error Analysis in a Permit to Work System: A Case Study in a Chemical Plant, Safety and

- Health at Work, 7 (6-11).
6. Ahrens, M., 2021. Structure Fires Caused by Hot Work, NFPA Research.
 7. <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/US-Fire-Problem/Fire-causes/osHotWork.ashx>, Son Erişim:30.12.2021.
 8. Wang, B., Zhu, Z., Wu, C., Zhang, H., Liao, X., 2020. PDE Accident Model From A Safety Information Perspective And Its Application to Zhangjiakou Fire And Explosion Accident, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 68, 104333.
 9. NFPA, <https://www.nfpa.org/Training-and-Events/By-topic/Hot-Work>, Erişim Tarihi: 30.12.2021.
 10. BS EN 62740: 2015 C.2, Events and Causal Factors (ECF) Charting, C.8 Fishbone or Ishikawa Diagram.
 11. Sivaraman, S., Varadharajan, S., 2021. Investigative Consequence Analysis: A Case Study Research of Beirut Explosion Accident, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 69, 104387.
 12. U.S. Chemical Safety Board, Investigation Report, 2010, E.I. DuPont De Nemours Co. Fatal Hotwork Explosion. <https://www.csb.gov/e-i-dupont-de-nemours-co-fatal-hotwork-explosion> U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation.
 13. Solomons, T.W.G., 1998, Organic Chemistry, Fourth Edition, 242-446.
 14. Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Vinyl_fluoride, Erişim Tarihi: 21.12.2021.
 15. Inel, B., Inel, C., 1995. Events and Causal Factors Analysis, Technical Research and Analysis Center Scientech, Inc., Idaho, 12.
 16. CSB, 2018. CSB's Drivers of Critical Chemical Safety Change, Safe Hot Work Practices. <https://www.csb.gov/recommendations/hot-work/>, Erişim Tarihi: 10.05.2022.
 17. HSE, <https://www.hse.gov.uk/safemaintenance/permits.htm>, Erişim Tarihi: 15.11.2021.