

Demir Çelik Endüstrisinde Bir Asit Rejenerasyon Reaktöründe Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi

Özet

Bu çalışmada demir çelik sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin Asit Rejenerasyon Prosesi (ARP) tesisinde kazaya yol açabilecek tehlikelerin belirlenmesi ve risklerin değerlendirilmesi amacıyla tanımlayıcı ve kesitsel bir araştırma yapıldı. Bu amaçla üretim prosesinde veya ekipmanda meydana gelebilecek kazaların saptanması, analiz edilmesi ve ortadan kaldırılmaları için kullanılan ve nitel sonuçlar veren Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP) yöntemi kullanıldı. HAZOP ile elde edilen risklerin önceliklendirilmesi amacıyla Risk Değerlendirme Karar Matrisi Yöntemi kullanılmak suretiyle sonuçlar yarı kantitatif hale getirildi. Analiz sonucunda reaktörde seçilen karar noktaları olabilecek 5 düğümde 16 adet sapma tespit edildi. Sapmaya neden olan toplam 16 sapma nedeninin 13 adedinin ekipman arızasından, 3 adedinin katı madde ile ilgili sorunlardan kaynaklandığı gözlemlendi. Kaza riski oluşturabilecek 30 sonuç belirlendi. Bu sonuçların 9'u ekipman hasarı, 8'i üretimin düşmesi, 6'sı patlama, 6'sı yangın, 1 adedi ise toksik gaz açığa çıkması olarak tespit edildi. Daha gerçekçi sonuçlar elde etmek amacıyla risk derecelendirmesinin mevcut bariyerlerden sonra yapılması nedeniyle katastrofik, çok yüksek veya yüksek risk seviyesinde herhangi bir risk saptanmadı; 36 orta, 14 çok düşük, 3 düşük kaza riski saptandı. Bu risklerden 30'unun varlık, 12'sinin insan 11'inin çevre üzerinde etkili olduğu tespit edilirken, itibar üzerinde etkisi olan bir risk tespit edilmedi.

Anahtar kelimeler: Asit rejenerasyon prosesi, risk analizi, HAZOP

Hazard and Operability Analysis in an Acid Regeneration Reactor in Iron and Steel Industry

Abstract

In this study a descriptive and cross-sectional research was carried out to identify the hazards which lead accidents and evaluate the risks in an acid regeneration reactor in Iron and Steel Industry. For that purpose Hazard and Operability Analysis (HAZOP) which is a qualitative method has been used to determine, analyse and eliminate the accidents which may occur in production process or equipment. In order to prioritize the risks, the results has been made semi-quantitative by using Risk Assesment Decision Matrix Method. At the end of the analysis 16 deviations has been identified in 5 choosen nodes. 13 deviations caused by equipment failure and 3 deviations caused by handling of the solid material. 30 results have been identified that may create the risk of accidents. 9 of them determined as equipment damage; 8 of them determined as production decrease, 6 of them determined as explosion, 6 of them determined as fire and 1 of them is determined as the release of toxic gases. In order to obtain more realistic results risk rating has been made after the system barriers; because of that there were no catastrophic, very high or high risks in this process. 36 intermediate, 3 low and 14 very low risks has been identified. The 30 of them are effective on property, 12 of them are effective on human, 11 of them are effective on environment, there are no risks effective on prestige.

Key words: Acid regeneration process, risk analysis, HAZOP

¹ Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim Uzmanı
akarsuhandan@gmail.com

² Gazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği
İbrahim.tukenmez@gazi.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Demir çelik sektörü, entegre birçok ünit operasyon ve ünit prosesi içeren teknoloji yoğun bir sektör olup [1] iş sağlığı ve güvenliği bakımından ‘çok tehlikeli’ ve ‘tehlikeli’ sınıfta yer alır [2].

Endüstriyel olarak demir, yüksek fırında demir cevheri karbotermik yoldan indirgenerek elde edilir. Yüksek fırına üst taraftan hematit, manyetit gibi demir cevheri veya hurda demir, kok kömürü ve cüruf yapıcı katkı olarak kireç taşı birlikte yüklenir, alttan verilen sıcak hava ve gaz karışımıyla 2000 °C’ye kadar ısıtılır. Fırının altından gönderilen ısıtılmış hava, koku önce karbondioksit vererek yakar ve ısı verir. Yükselen karbon dioksit gazı kokun karbonu ile birleşir ve karbon monoksit gazı oluşturur [3]. Karbon monoksit demir oksidi indirgeyerek sıvı metalik demiri oluşturur. Kireç taşının yüksek sıcaklıkta ayrışmasıyla oluşan kalsiyum oksit cevherde bulunan silika, kükürt ve alümina gibi safsızlıklarla birleşerek ergiyik cüruf oluşturur [4]. Ergimiş haldeki sıvı demir ve üzerindeki ergimiş cüruf dipte toplanır, ayrı ayrı alınır. Yüksek fırından alınan ham demire pik denir. Pik demir çelik piki veya döküm piki olarak kullanılır. Pik demirden bazik oksijen fırını veya elektrik ark fırını kullanılarak sıvı çelik elde edilir. İngot döküm veya sürekli döküm tesislerinde sıvı külçe çelik katılaştırılarak yarı mamul çelik kütüğü (slab) haline getirilir [5] ve sıcak veya soğuk haddeleme işlemleriyle çubuk, tel, boru, levha, sac v.b mamul ürünlere dönüştürülür [4].

Sıcak haddeleme sırasında ürünlerin üzerinde oluşan oksit tabakası (tufal) asitleme hatlarında hidroklorik asit (HCl) banyolarından geçirilerek yapılan pikling (metal yüzeylerinin temizlenmesi) işlemiyle temizlenir [3]. Mamul parçalar, üzerindeki döküm, hadde izleri çapak vb. yüzey artıklarından temizlenmek üzere seyreltilmiş hidroklorik asit (HCl) banyosuna daldırılır. Proseste asit bileşimleri değişen bir dizi ardışık asit banyosu bulunur. Bu çözeltilerin asit bileşimi ilk hazırlandıklarında %16–18 (w/w)’dır. Pikling amacı ile kullanılmış asitlerin içlerinde fazla miktarda demir (FeCl₂ halinde) birikir. İşlem sonucu kalan sulu çözeltilerde %2-16 arasında HCl ve 90-140 g/L toplam demir (FeCl₂ halinde) bulunur. Demirce zenginleşen banyo çözeltilisinde serbest asit miktarı azaldığından taze asit ilave edilmesi gerekir [6].

Asitleme hatlarında kullanılan ve kirlenen hidroklorik asit (HCl), Asit Rejenerasyon Prosesi (ARP) Tesisleri’nde temizlenerek geri kazanılır ve yeniden asitleme hatlarında kullanımı sağlanır [7]. ARP tesislerinde yan ürün olarak demir oksit (Fe₂O₃) üretilir [4]. Bu işlemle kullanılmış HCl’nin geri kazanılması ile birlikte akarsu vb. alıcıların kirlenmesi de önlenir. Bu suretle hem asit tasarrufu hem de çevre korumasına katkı sağlanır. Demir çelik üretimi yapılan tesislerde ARP tesislerinin bulunması maliyetin ve çevre kirliliğinin azaltılması bakımından önemlidir [8]. Öte yandan bu işlemler sırasında proseste önemli ölçüde HCl, partikül ve klor içeren korozif, sağlığa zararlı ve kirlenici baca gazı emisyonları ortaya çıkar [6]. Ayrıca, asit rejenerasyon gaz emisyonunda ve liköründe HCl’in yanında çevresel kirlenici birçok metal (Fe, Pb, Cr, Zn, Ni, Mn) bulunur [9].

Entegre birçok ünit operasyon ve ünit prosesi içeren demir çelik tesislerinde meydana gelebilecek olası bir ‘büyük endüstriyel kaza’ insan sağlığı, çevre ve ülke ekonomisi açısından olumsuz sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle üretimde yer alan her işlem ve proseste proses güvenliğini sağlamak amacıyla risk değerlendirme çalışmaları yapılmalıdır [10]. Bu çalışma ile demir çelik endüstrisinde yaşanabilecek büyük endüstriyel kazaların önlenmesi ve meydana gelebilecek kazaların kısa ve uzun süreli etkilerinin azaltılması için ‘tehlikelerin’ belirlenmesi ve ‘risklerin’ değerlendirilmesine yönelik yapılan çalışmalara katkı sağlamak hedeflenmiştir.

Bu amaçla bu çalışmada büyük bir demir çelik fabrikasında ARP prosesinde yer alan asit rejenerasyon reaktöründe işletmeden kaynaklanan ve kazaya neden olabilecek riskleri ve bu riskleri önlemek için gerekli eylemleri belirlemek amacıyla ‘Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi’ yöntemi kullanılarak risk değerlendirmesi yapılmıştır.

2. DENEYSEL METOD (EXPERIMENTAL METHOD)

2.1 Demir Çelik Üretimi ve Asitleme Prosesi Analizi (Iron Steel Production and Pickling Process Analysis)

Demir veya çelik üretimi iki ana aşamadan oluşan bir işlemdir. Birinci aşama, yüksek fırında pik demir üretimi; ikincisi ise, pik demirden ek işleme dövme demir veya çelik üretimidir [3].

Endüstriyel olarak, demir üretimi, yaklaşık 2000 °C sıcaklıkta bir yüksek fırında hematit (Fe₂O₃) ve manyetit (Fe₃O₄) içeren demir cevherinin karbotermik reaksiyonu (karbonla indirgeme) ile yapılır. Yüksek fırında, demir cevheri, kok formunda karbon ve kireç taşı üstten, ısıtılmış hava alttan beslenir. Isıtılmış basınçlı hava fırının altından gönderilir ve ekzotermik bir reaksiyonla koktan CO₂ oluşur[3]:



Açığa çıkan ısı ile 1300°C'de endotermik bir reaksiyonla CO₂ indirgen CO'ye dönüşür [3]:



Karbon monoksit, demir cevherini (hematit) ergimiş metalik demire indirger ve karbondioksite dönüşür[3]:



Fırının alt bölgesinde yüksek sıcaklıkta bulunan demir cevheri doğrudan kokla reaksiyona girer ve ergimiş demir verir[3]:



Cüruf yapıcı katkı maddesi olarak katılan kireç taşı fırın sıcaklığında ayrışarak sönmemiş kireç (kalsiyum oksit) verir[3]:



Kalsiyum oksit cevherdeki SiO₂, P₂O₅ ve Al₂O₃ gibi asidik oksitlerle birleşerek CaSiO₃, Ca₃(PO₄)₂, Ca(AlO₂)₂ bileşiminde fırının tabanında ergimiş demir üzerinde sıvı cüruf oluşturur, yandaki açıklıklardan demir ve cüruf ayrı ayrı atılıp alınır. Demir soğutulduktan sonra pik demiri olarak adlandırılır [5].

Yüksek fırından alınan ham demir (pik demiri) %4'ten fazla C ile %0.3-1.3 Si, %0.5-2 Mn, %0.1-1 P ve %0.02-0.08 S içerir. Dökme demir ve çelik üretimi için ilave rafine işlemleri gerekir. Kupola ocağı pik demiri, gri dökme demire dönüştürmek için kullanılır[5]. Kok, kireç taşı pik, dökme demir ve demir hurdaları dikey konumdaki ocağın üst kısmındaki yüklenme kapısından yüklenir. Ocağın gövde kısmındaki deliklerden verile basınçlı hava ile yanan kokun verdiği ısıyla metal ergir ve ocağın alt kısmında birikir. Ergiyen metal, metal alma deliğinden alınarak taşıma potaları yardımı ile kalıplara dökülür ve gri dökme demir elde edilir [11].

Pik demiri çeliğe dönüştürmek için kullanılan en önemli iki yöntem bazik oksijen fırını (BOF) ve elektrik ark fırını (EAF) yöntemleridir. Her ikisi de karbon çeliklerinin ve alaşımlı çeliklerin üretiminde kullanılır. BOF veya EAF'ında üretilen sıvı çelik ikincil metalurji tesislerinde alaşım elementleri ilavesiyle istenen kimyasal kompozisyona ve sıcaklığa getirilerek katılaştırma işlemleri yapılmak üzere ingot (külçe) döküm veya sürekli döküm tesislerine gönderilir, çelik kütüğü elde edilir[5]. Çelik kütüğü (slab, blum) haddehanelerde sıcak veya soğuk haddeleme işlemleri uygulanarak çubuk, tel, boru, levha, sac v.b yarı mamul ürünlere dönüştürülür[4].

Yarı mamul çelikler sıcak şerit veya levha haddehanelerinde nihai ürüne dönüştürülür. Sıcak haddelenmiş ürünlerin bir kısmı siparişe bağlı olarak daha sonra soğuk haddeleme veya makas ve dilme hatlarında da yönlendirilerek soğuk haddelenmiş ürünler elde edilir. Sıcak haddeleme sırasında karbon çelik ürünlerin yüzeyinde oluşan kabuk tabakası ve kirler, çeliği asit çözeltilisine daldırmak suretiyle kimyasal olarak uzaklaştırılır; bu işleme pikling prosesi denir. Pikling (asitleme) prosesinde HCl demir çelik üzerinde oluşan demir oksit kabuk tabakası (ve bir miktar demirle) ile reaksiyona girerek onu demir (II) klorür vermek suretiyle çözer ve temizler [4].



Asit temizleme prosesinde çok miktarda çözünmemiş metal tuzları ve atık asit içeren kullanılmış pikling çözeltisi oluşur. Bu çözelti proses sonrasında nötralize edilip atılabilir veya asit rejenerasyon tesislerinde geri kazanılır. Asitleme hatlarında oksit tabakasının temizlenmesi için sülfirik asit (H₂SO₄) veya hidroklorik asit (HCl) kullanılır. Günümüzde aşağıdaki avantajlarından ötürü genellikle HCl tercih edilir [7]:

- Yüksek karbonlu çeliklerde düzgün açık gri bir yüzey oluşturur.
- Aşırı aşındırma olasılığı daha düşüktür.
- Demir konstanstrasyonları %13'e kadar çıkabilir.
- Demir klorürün yüksek çözünürlüğü nedeniyle durulamayı kolaylaştırır.
- H₂SO₄ ile karşılaştırıldığında nispeten daha güvenlidir, kirli atık bırakmaz.
- Pikleme işlemi daha düşük sıcaklıklarda yapılabilir.

Asitleme banyolarında demir klorür çözeltisinin atılarak veya demirsiz asit rejenerasyonu ile kontrol edilmesi gerekir. Atık pikling çözeltisinden HCl rejenerasyonu için çeşitli prosesler mevcuttur. Bunlardan en ekonomik ve ekolojik bakımdan en avantajlı olanı atık pikling çözeltisinin sprey pirohidroliz prosesidir. Bu processte demir (II) klorür hidrolitik olarak demir (III) oksit ve HCl'e parçalanır [5]:



Asit banyolarında kullanılan ve kirlenen HCl asit, Asit Rejenerasyon Tesisleri'nde (ARP) temizlenerek geri kazanılır ve yeniden asitleme hatlarında kullanımı sağlanır. Tesiste yan ürün olarak demir oksit üretilir [5].

2.2 Asit Rejenerasyon Prosesi, Ünit Operasyonlar ve Ünit Prosesler Analizi (Acid Regeneration Process, Unit Operations and Unit Processes Analysis)

Çalışmanın yapıldığı asit rejenerasyon tesisi akışkan yataklı tip hidroklorik asit rejenerasyonu teknolojisine sahiptir. Asit rejenerasyon prosesi (ARP) kullanılmış asitin doğrudan yanan bir ocağa atomize olacak şekilde püskürtülüp oksijenle temas ederek Fe₂O₃ tozu(katı faz) ve HCl (gaz fazı)'e ayrışmasıdır. Reaksiyon sıcaklığı 400-700 °C aralığındadır. HCl gazı suda absorplanarak %18'lik rejenere asit elde edilir ve bu asit yeniden piklingde kullanılır. Absorban sıvı olarak pikling hattından gelen hafif asidik durulama suyu kullanılır. Prosesin üç temel basamağı: deriştirme, kavurma ve absorpsiyondur [9].

Deriştirme: Pikling işlem hattından gelen ve demir klorür içeren atık likör atık pikling likörü ventüri evaporatöre beslenir, burada kavurucudan(reaktör/siklon) gelen sıcak kavurma gazının ısısı ile buharlaştırılarak deriştirilir. Venturi buharlaştırıcıdan gelen üründeki gaz ve sıvı fazları separatörde ayrılır, sıvı faz venturi buharlaştırıcıya geri sirküle edilir, gaz faz absorpsiyon kulesine gönderilir. Burada, atık asitin yaklaşık % 25-30'u buharlaşır, kavurma gazı yaklaşık 92-96 °C'e soğur. Toz parçacıkları kızartma gazından uzaklaştırılır [12].

Kavurma: Deriştiriciden gelen atık asit reaktörün tepesinden yüksek basınçla (4-10 bar) içine püskürtülerek teğetsel olarak monte edilmiş bir brülörden gelen yanma gazları ile doğrudan temas eder, demir klorür oksijen ve su ile reaksiyona girerek aşağıdaki pirohidrolitik reaksiyonlarla katı demir oksit (Fe₂O₃) ve gaz HCl oluşur [13].



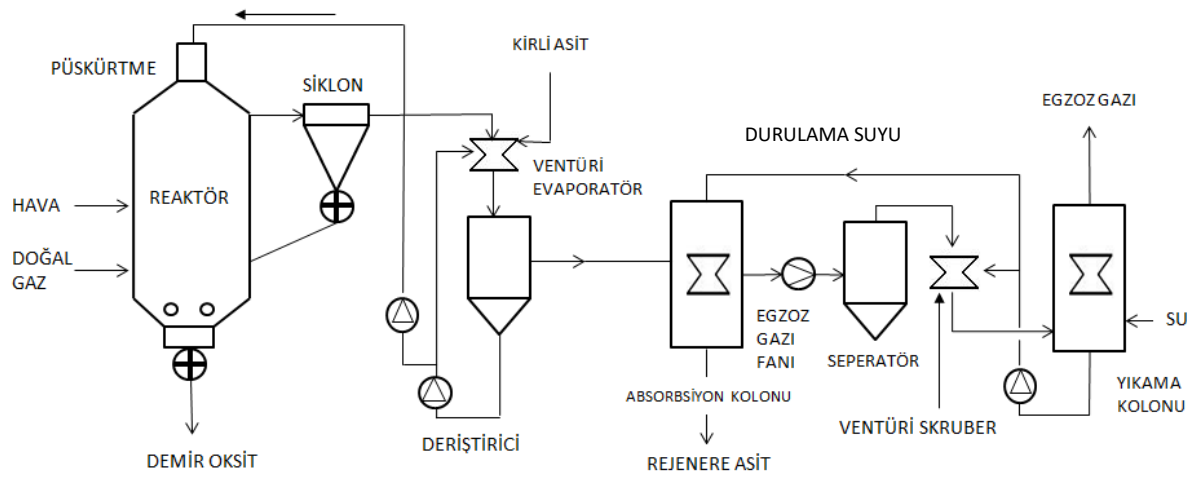
HCl gazı reaktörün tepesinden buhar ve yanma gazlarıyla birlikte alınır; katı demir Fe₂O₃ reaktörün konik tabanında çöker ve pnömatik olarak uygun bir depoya taşınır. Reaktör, sıcak bir girdap oluşturan teğetsel olarak monte edilmiş brülörler tarafından doğrudan ateşlenir. Reaktör içindeki sıcaklık 700 °C (brülör seviyesi) ve 370 °C (kavurma gazı çıkış kanalı) arasında değişir. Kavrulmuş gaz kanalında bulunan bir siklonla kavurma gazıyla taşınan iri oksit partikülleri gazdan ayrılarak reaktöre geri beslenir. Siklondan gelen gazlar bir venturi skruberden geçirilerek sıcaklığı 400 °C'den 100 °C'in altına düşürülerek soğumuş halde absorpsiyon kolonuna verilir [14].

Absorpsiyon: Deriştiriciden absorpsiyon kolonuna gelen soğutulmuş doymuş kavurma gazında bulunan hidrojen klorür bileşiği kulenin tepesinden ters akımla verilen pikling hattından gelen asit durulama suyunda adyabatik olarak absorplanarak rejenere HCl elde edilir. Rejenere edilmiş asit (tipik derişim: %18 w/w HCl) absorpsiyon kolonunun altından sürekli pompalanarak alınır. Atık gaz klor skrubere gönderilir [12].

Atık gazı arıtma: Kavrurma gazları sistemde bir atık gaz çekiş fanı yardımıyla iletilir. Fanlar tüm üst akımdaki negatif basıncı (-3 mbar) otomatik olarak düzenleyerek gaz kaçaqlarını önler. Fanları soğutma, fanlarda tıkanma ve atık gazlardan HCl'in tamamen uzaklaştırılması soğutma suyu ile yıkanarak sağlanır. Bu soğutma suyu atık gaz akımından fanın yüksek basınç tarafında bulunan sis eliminatörü ile ayrılır. Son yıkayıcı sistem, genellikle venturi temizleyiciler gibi ıslak yıkayıcılar ve yıkayıcı kolonlardan oluşur; atık gazda arta kalan eser miktardaki HCl ve tozlar su ile yıkanarak uzaklaştırılır. Bazı tesislerde, sodyum hidroksit NaOH ve $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ gibi absorban maddeler kullanılarak HCl ve Cl_2 (bazı şartlarda, tüm sprej kavrurma reaktörlerinde değil, bazı sprej kavrurma reaktörlerinde oluşur) bağlanır [7].

Çevresel Etki: Pirohidroliz temelli asit rejenerasyon prosesleri önemli miktarlarda HCl, klor gazı ve partikül içeren baca gazı emisyonları verir; bunlar çevre yasasınca kısıtlanmıştır [15].

Tipik bir akışkan yataklı asit rejenerasyon prosesi Şekil 1.'de verilmiştir[15].



Şekil 1. Asit Rejenerasyon Prosesi Akım Şeması (Acid Regeneration Process Flow Diagram)

ARP'de yer alan temel ekipman olması nedeniyle prosesdeki potansiyel tehlikeli ekipman asit rejenerasyon reaktörü olarak belirlenmiştir. Bütün bu etkenler göz önünde bulundurularak bu çalışmada ARP prosesinde yer alan asit rejenerasyon reaktöründe işletmeden kaynaklanan ve kazaya neden olabilecek tehlike ve riskleri ve bu riskleri önlemek için gerekli eylemleri belirlemek amaçlanmıştır.

2.3 Tehlike ve Risk Belirleme Çalışmaları (Hazard and Risk Identification Studies)

Bu çalışma, Mayıs-Eylül 2016 tarihleri arasında bir demir çelik tesisinin asit rejenerasyon ünitesinin asit rejenerasyon reaktöründe yapılan "Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP)" ile gerçekleştirildi.

Çalışmanın yapıldığı demir çelik fabrikası ülkemizde ARP tesisi içeren, bu sektörde faaliyet gösteren entegre işletmelerden biri olması nedeniyle seçildi. Risk değerlendirme çalışmaları için tesisin büyüklüğü nedeniyle risk değerlendirme ekibi tarafından tesiste bulunan prosesler önceliklerine göre sıralandı. Bu amaçla tesis yetkilileri ve iş güvenliği birimi çalışanları ile tesisteki proseslerin akış şemaları, ünite konumları, meydana gelmiş kaza ve ramak kala kayıtları incelendi ve ARP'de meydana gelebilecek bir kaza sonucu oluşabilecek yayılım, yangın ve patlama olaylarının tesisin tümüne, çalışanlara, topluma ve çevreye zarar verebileceği konusunda yapılan değerlendirmeler sonucu çalışmanın bu tesiste yürütülmesine karar verildi.

HAZOP çalışmasına başlamadan önce Asit Rejenerasyon Ünitesi iş güvenliği uzmanı, elektronik otomasyon mühendisi, işletme mühendisi, İş Güvenliği Müdürlüğü'nden iki iş güvenliği mühendisi, iş güvenliği uzmanı ve ünite çalışan bir operator ile risk değerlendirme ekibi oluşturuldu ve süreci yönetmek üzere ekipte yer alan kişilerin ortak kararı ile işletme mühendisi ekip lideri olarak seçildi. Daha sonra ünite operatörü ile ünite ayrıntılı olarak yerinde incelenerek, proses ve kontrol sistemleri hakkında ayrıntılı bilgi alındı. Çalışma boyunca proses zaman zaman ziyaret edildi ve işletim sistemi incelendi. Toplantılarda sekreteryaya ekip üyeleri tarafından dönüşümlü olarak yapılarak analiz sonuçları ekip tarafından hazırlanan HAZOP formlarına kaydedildi. HAZOP ile elde edilen risklerin önceliklendirilmesi amacıyla Risk Değerlendirme Karar Matrisi Yöntemi [16,17] kullanılarak sapmaların yol açtığı riskler insan, çevre, varlık ve itibar olmak üzere dört grupta sınıflandırıldı. Riskler için geçmiş kaza ve ramak kala kayıtları ve literatür verileri temel alınarak

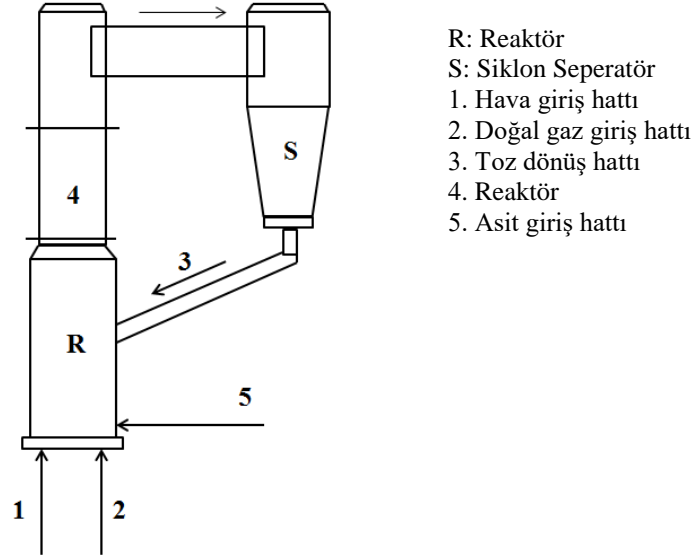
olasılık puanı; varlık, çevre, insan ve itibar üzerindeki etkileri değerlendirilerek şiddet puanı atandı; olasılık ve şiddet çarpımına göre risk seviyeleri belirlendi. Risk derecelendirilmesi mevcut bariyerlerden sonra yapıldı.

3. BULGULAR ve TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

Bu araştırmada ARP tesisinin temel ekipmanı olan reaktörde yarı kantitatif HAZOP yöntemi kullanılarak olası kaza risklerinin niteliği, düzeyi ve etkisi analiz edildi. Literatürde asit rejenerasyon reaktöründe bu konuda yapılan yarı kantitatif HAZOP çalışmasına rastlanmamıştır. Bu çalışma ile asit rejenerasyon proseslerinde yapılacak risk değerlendirmesi çalışmalarına başlangıç bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışma kapsamında IEC 618822:2016 HAZOP standardına göre [16] kılavuz kelimeler ve parametrelerin kombinasyonları ile asit rejenerasyon reaktöründeki olası sapmalar listelenerek en kötü sonucu verenler seçildi. Risk değerlendirme ekibinin belirlediği kılavuz kelimeler şunlardır:

- Yok
- Daha Fazla
- Daha Az

ARP tesisinde yerinde ünite incelemelerinde yapılan tespitler, geçmişte yaşanan kazalar ve ramak kala olaylar, literatürde yer alan kaza veya aksaklıklar değerlendirilerek akış diyagramları incelenip üzerlerinde çalışmanın yapılacağı düğümler (nodlar; karar noktalar) seçildi. Reaktör ve siklon separatorünün bulunduğu 5 adet düğüm belirlendi. Seçilen düğümler Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Reaktör üzerinde seçilen düğümlerin gösterimi

Düğümlerde meydana gelebilecek sapmaları belirlemek üzere belirlenen proses parametreleri:

- Sıcaklık
- Basınç
- Akış

HAZOP ekibiyle yapılan değerlendirme sonucu her düğümde meydana gelebilecek sapmalar, proses parametrelerinin ve kılavuz kelimelerin birlikte kullanılması ile belirlendi (Tablo 1).

Tablo 1. Kılavuz kelimelerin ve parametrelerin birlikte kullanımı (Application of guide words and parameters together)

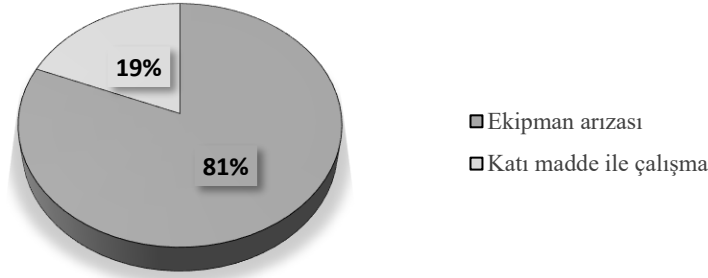
Kılavuz kelimeler	Parametreler		
	Akış	Sıcaklık	Basınç
Yok	X		
Düşük	X	X	X
Yüksek	X	X	X

Kılavuz kelimeler ve parametrelerin kombinasyonları ile sistemdeki olası sapmalar listelenerek sapmaların içerisinde en kötü sonucu verenler seçildi. Buna göre seçilen 5 düğümde 16 adet sapma tespit edildi. Tablo 2’de düğümlerdeki sapmalar gösterilmiştir.

Tablo 2. Düğümlerdeki sapmalar (Deviations at nodes)

Düğüm	Akış	Düşük	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük
	Yok	Akış	Akış	Sıcaklık	Sıcaklık	Basınç	Basınç
Hava giriş hattı	X	X	X				
Doğal gaz giriş hattı	X	X	X				
Toz dönüş hattı	X	X	X	X			
Reaktör				X		X	X
Asit giriş hattı	X	X	X				

Prosesteki sapmaların nedenleri incelenerek sapmaya neden olan toplam 16 neden tespit edildi. Bu 16 sapma nedeninin 13 adedinin (%81) ekipman arızasından, 3 adedinin (%19) katı madde ile ilgili sorunlardan kaynaklandığı görüldü. Proses sapmalarının nedenlerinin dağılımı Şekil 3’te verilmiştir.

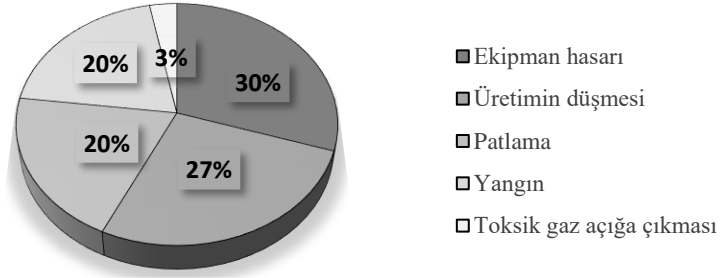


Şekil 3. Proses sapmalarının nedenlerinin dağılımı (Distribution of the reasons of the process deviations)

Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı ve Rand Şirketinin ortak yürüttüğü bir çalışma [18] kapsamında demir çelik sektöründe faaliyet gösteren bir tesisin asit rejenerasyon prosesinde yer alan, bu çalışmanın yapıldığı sistem ile aynı özelliklere sahip akışkan yataklı bir reaktör-siklon seperatör sisteminde gaz ve katıların reaksiyona girdiği proseslerin işletiminin çok zor olduğu rapor edilmiştir. Merrow’un söz konusu çalışmasında, en yaygın sorunlar olarak katı transfer (%54) ve mekanik ekipman (%48) hataları bildirilmiştir[18]. Less tarafından yapılan başka bir araştırmada [19] ise büyük kimyasal kaza nedenlerinde en büyük payı (%29,2) ekipman hatalarının oluşturduğu belirtilmiştir.

Asit rejenerasyon reaktöründe kaza riski oluşturabilecek 30 sonuç belirlendi. Bu sonuçların 9’u (%30) ekipman hasarı, 8’i (%27) üretimin düşmesi, 6’sı (%20) patlama, 6’sı (%20) yangın, 1 adedi (%3) ise toksik gaz açığa çıkması olarak tespit edildi. Belirlenen 30 sonucun 13 tanesi (%43) büyük endüstriyel kaza riskleri bulunan patlama, yangın ve toksik gaz açığa çıkmasıdır.

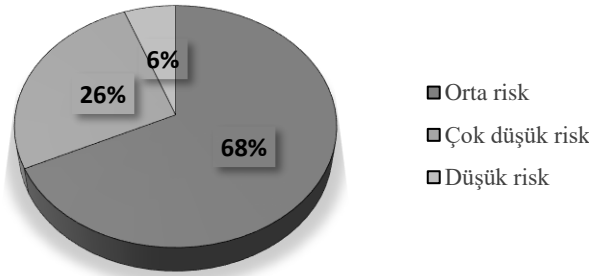
Prosesteki sapmaların olası sonuçlarının dağılımı Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Prosesteki sapmaların olası sonuçlarının dağılımı (Distribution of the possible results in the process)

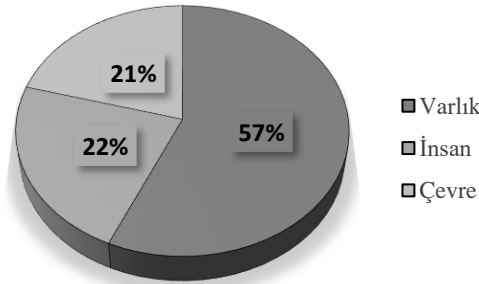
Sapmaları önlemek üzere yapılan çalışmada sistemde 16 bariyer tespit edildi. Bunlardan kritik bariyerler paralel bağlıdır ve yedekli çalışır. Sistemdeki en önemli bariyer ise egzoz fanıdır. Diğer bariyerler PLC (programlanabilir kontrol cihazı) ile egzoz fanına bağlıdır ve sistemde herhangi bir sapma olduğunda egzoz fanı sistemi tamamen durdurur.

Risk derecelendirmesi sonucu katastrofik, çok yüksek veya yüksek risk seviyesinde herhangi bir risk saptanmadı. Risk derecelendirmesi sonuçlarına göre risk seviyelerinin dağılımı 36 orta (%68), 14 çok düşük (%26), 3 düşük kaza riski (%6) olarak belirlendi ve Şekil 5'te verilmiştir.



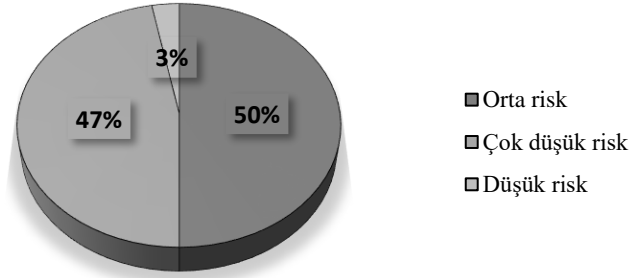
Şekil 5. Risk derecelendirmesi sonuçlarına göre risk seviyelerinin dağılımı (Distribution of the risk levels according to risk rating)

Belirlenen risklerden 30'u (%57) varlık, 12'si (%22) insan, 11 adedi (%21) ise çevre üzerinde etkili olup, itibar üzerinde etkisi olan bir risk tespit edilmedi. Risklerin varlık, insan ve çevre üzerindeki etkilerinin dağılımı Şekil 6'da verilmiştir.



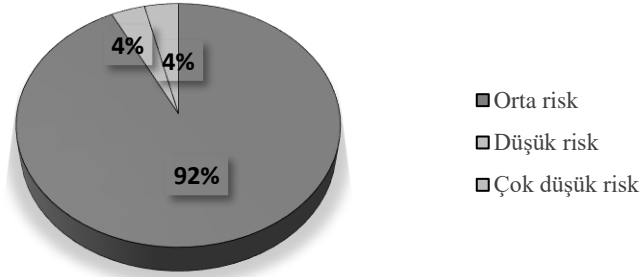
Şekil 6. Risklerin varlık, insan ve çevre üzerindeki etkilerinin dağılımı (Distribution of the risks that effective on property, human and environment)

Varlık üzerinde etkili risklerin 15'i (%50) orta; 14'ü (%47) çok düşük; 1'i (%3) düşük risk seviyesindedir. Varlık üzerinde etkili risklerin seviyelerinin dağılımı Şekil 7'de verilmiştir.



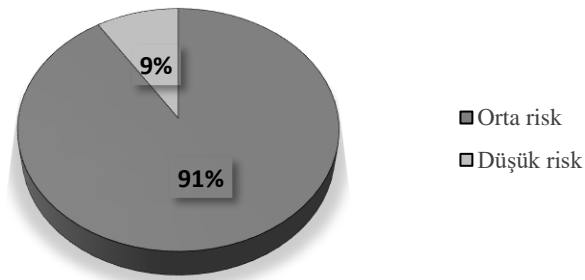
Şekil 7. Varlık üzerinde etkili risklerin seviyelerinin dağılımı (Distribution of the risks that effective on property)

İnsan üzerinde etkili risklerin 10'u (%92) orta, 1'i (%4) düşük, 1 adedi (%4) ise çok düşük risk seviyesindedir. İnsan üzerinde etkili risklerin seviyelerinin dağılımı Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. İnsan üzerinde etkili risklerin seviyelerinin dağılımı (Distribution of the risks that effective on human)

Çevre üzerinde etkili risklerin ise 10 adedi (%91) orta 1 adedi (%9) düşük risk seviyesinde yer alır. Çevre üzerinde etkili risklerin seviyelerinin dağılımı Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Çevre üzerinde etkili risklerin seviyelerinin dağılımı (Distribution of the risks that effective on environment)

Proseste en fazla kaza riski hava ve doğal gaz giriş hatlarında bulunur. Özellikle tesisin devreye alınması sırasında reaktörün içinde bulunan hava-doğal gaz karışımı oranı çok önemlidir. Reaktöre doğru oranda karışım verilmediğinde ya devreye alma gerçekleşmemekte ya da patlama riski oluşmaktadır.

4. SONUÇ (CONCLUSIONS)

Asit rejenerasyon reaktöründe sapmaya neden olan toplam 16 sapma nedeninin 13 adedinin (%81) ekipman arızasından, 3 adedinin (%19) ise katı madde ile ilgili sorunlardan kaynaklandığı belirlendi. Sapma nedenlerine bakıldığında literatür [18,19] ile benzer nitelikler taşıdıkları; ancak bu çalışmanın yapıldığı proseste yaşanabilecek en büyük zorluğun ekipman hasarından kaynaklandığı görüldü. Bu durum insan hatasını en aza indirmek için kurulan bilgisayarlı proses kontrol sistemlerinin önemini gösterir. Analiz sonucu kaza riski oluşturabilecek 30 sonuç belirlendi. Bu sonuçların 9'u (%30) ekipman hasarı, 8'i (%27) üretimin düşmesi, 6'sı (%20) patlama, 6'sı (%20) yangın, 1 adedi (%3) ise toksik gaz açığa çıkması olarak tespit edildi. Kaza riski oluşturabilecek 30 sonucun 13 adedi (%43) büyük endüstriyel kaza riskleri olan patlama, yangın ve toksik gaz açığa çıkması şeklindedir. Tesiste bunları önlemek için bariyerlerin bulunması risk seviyelerini düşürür. Ancak bu tesiste önceki yıllarda yangın olayı yaşandığı da göz önüne alınarak etkili yangın söndürme sistemleri kurulması gereklidir. Sistemde bulunan bariyerler paralel bağlıdır ve yedekli çalışır. Sistemdeki en önemli bariyer egzoz fanıdır. Diğer bariyerler PLC ile egzoz fanına bağlıdır ve sistemde herhangi bir sapma olduğunda egzoz fanı durmakta, fanın durmasıyla birlikte sistem tamamen durdurulmaktadır. Sapma sonucu bütün sistemin durması ve aksaklık giderildikten sonra tekrar devreye alınması maliyeti artıran bir durum oluşturur. Maliyetin yanı sıra HAZOP sonuçlarına göre sistemdeki en önemli riskler devreye alınma sırasında oluşur. Bu durum ARGE çalışmalarına önem verilmesi ve yapılacak çalışmalarla sık sık sistemin tümünün durdurulmasının önüne geçilmesi gerektiğini gösterir. Risk derecelendirmesi sonucu katastrofik, çok yüksek veya yüksek risk seviyesinde herhangi bir risk saptanmayıp; 36 orta (%68), 14 (%26) çok düşük, 3 (%6) düşük kaza riski saptandı. Bu durumun nedeni daha gerçekçi sonuçlar elde etmek amacıyla risk derecelendirmesinin mevcut bariyerlerden sonra yapılmasıdır. Risk derecelendirmesinin mevcut bariyerlerden önce yapılması zaten var olan önlemleri yok sayarak risklerin gerçekte olduğundan daha yüksek görünmesine neden olur. Bu durumda risk önceliklendirmesi de gerçekçi olmayabilir ve zaman kaybına neden olur. Bariyerlerden sonra yapılan derecelendirme sonucu katastrofik, çok yüksek veya yüksek risk seviyesinde herhangi bir risk saptanmaması bariyerlerin etkin bir şekilde çalıştığını gösterir. Saptanan risklerden 30'u (%57) varlık, 12'si (%22) insan, 11 adedi (%21) ise çevre üzerinde etkili olup itibar üzerinde etkisi olan bir risk tespit edilmedi. Risklerin %57'sinin varlık üzerinde etkili olması sistemdeki risklerin çoğunun maliyet bakımından zarara yol açabileceğini gösterir. Daha dayanıklı ekipman seçimi, ekipman bakım ve onarımlarının düzenli yapılması ve kayıt altına alınması, sistem durdurulmadan müdahale edilmesini sağlayacak bariyerlerin geliştirilmesi gibi proaktif bir yaklaşımla bu risklerin önüne geçilmesi mümkündür. Varlık üzerinde etkili risklerin 15'i (%50) orta; 14'ü (%47) çok düşük; 1'i (%3) düşük risk seviyesine sahiptir. İnsan üzerinde etkili risklerin 10'u (%92) orta, 1'i (%4) düşük, 1'i (%4) ise çok düşük risk seviyesindedir. Çevre üzerinde etkili risklerin ise 10 adedi (%91) orta, 1 adedi (%9) düşük risk seviyesinde yer alır. Görüldüğü gibi varlık, insan ve çevre üzerindeki risklerin çoğu orta risk seviyesindedir. Bunun nedeninin, büyük kazaya neden olabilecek risklerin olasılıklarının çok düşük olmasına rağmen, kazanın gerçekleşmesi halinde zararın çok yüksek olması şeklinde düşünülebilir. Proseste en fazla kaza riski hava ve doğal gaz giriş hatlarında bulunur. Özellikle tesisin devreye alınması sırasında reaktörün içinde bulunan hava-doğal gaz karışımı oranı çok önemlidir. Patlama riskini önlemek için işletmenin gerektiğinde tesisi bekleme (stand-by) durumuna getirmesi ve tamamen durdurulmaması olumludur. Ayrıca sistemde bilgisayarlı göstergeler bulunmasına rağmen operatörler tarafından da manuel olarak kontrol edilmesi sistem güvenliğini artırır.

Bu çalışmada, asit rejenerasyon reaktöründe yapılan HAZOP çalışması sonucu öncelikle kaza riski orta olarak belirlenen risklerin güvenli seviyeye çekilmesi için, risk değerlendirme ekibince ortak değerlendirme sonucu belirlenmiş aşağıdaki ek önlemler gerekli bölümlere önerilmiştir:

- I. Literatürde reaktörün tasarım sıcaklığından düşük sıcaklıklarda çalıştırılması nedeniyle kimyasal reaksiyonun tam gerçekleşmemesiyle tanklara HCl taşıyan borularda H₂ birikimini sonucu patlama yaşandığı rapor edilmiştir. Bu nedenle reaktör çıkışında H₂ birikimi olup olmadığının araştırılmalıdır.
- II. Toz dönüş hattında kullanılan malzeme kalınlığının artırılması için ARGE çalışmaları yapılmalıdır.
- III. Toz dönüş hattında daha dayanıklı bir malzeme kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmalıdır.
- IV. Reaktörde oluşabilecek yangın riskine karşı otomatik yangın söndürme sistemi (automatic sprinkler) kullanımının araştırılması gerekir.
- V. Prosesin devreye alma (start-up) talimatları gözden geçirilmelidir.
- VI. Prosesin tamamında bulunan tehlikeli ekipmanlar belirlenmeli, önceliklendirilmeli ve bu ekipmanlar için de bu çalışmaya benzer çalışmalar yapılmalıdır.

5. SİMGELER (SYMBOLS)

%	Yüzde
°C	Santigrat derece
mbar	Milibar
PLC	Programlanabilir Kontrol Cihazı
w/w	Yüzde derişim

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans tezi olarak Çalışma Bakanlığı Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi (ÇASGEM)'in desteğiyle yapılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Yaşar, O., Türk İmalat Sanayinde Lokomotif Bir Sektör: Demir Çelik Sanayi, Marmara Coğrafya Dergisi, 42-78, 2009
2. İşkolları Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, 28502, 19.12.2012
3. Oliveira, P (ed.), The Elements Periodic Table Reference, 424-426.
4. ABC Demir Çelik Fabrikaları Proses Tanıtımı Broşürü, 2015
5. Öz, B., Demir Çelik Üretimi, <http://kalitelicelikciler.tr.gg>, Erişim Tarihi Eylül 21, 2016.
6. *Demir Çelik Üreticileri Derneği*, Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol (IPPC) Demir Haddeme Prosesinde Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanı, Ankara, 2001.
7. Harris, L.J.F. Introduction to spray roasting process for hydrochloric acid regeneration and its application to mineral processing. in: Hydrometallurgy. Chapman & Hall, London, 923-937, 1994
8. Austin, G.T., Shreve's Chemical Process Industries, 5th Ed., McGraw-Hill, New York, 340-342, 1984.
9. EPA, National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Steel Pickling-HCl Process Facilities and Hydrochloric Acid Regeneration Plants– Background Information for Proposed Standards, US Environmental Protection Agency, 1997.
10. ÇSB, Büyük Endüstriyel Kaza Risklerinin Azaltılması (BEKRA) İşletmeciler İçin Rehber, Ankara, 2014.
11. MEB, Metalürji Teknolojisi, Kupol Ocağı, Ankara, 3-5, 2011.
12. Ferreira S. A., Mansur B., M., Statistical analysis of the spray roasting operation for the production of high quality Fe₂O₃ from steel pickling liquors
13. Kladnig, W.F. New development of acid regeneration in steel pickling plants, 15, J. Iron Steel Res, 1–6, 2008.
14. Itoh, S., Endo, I., Maki, K., and Kosaka, A., Ferric oxide produced by spray roasting of HCl pickling liquor, 62, Tetsu-to-Hagane, 1035-1044, 1976.
15. ISPATGURU, Acid Regeneration For Spent Hydrochloric Pickle Liquor, <http://ispatguru.com/acid-regeneration-for-spent-hydrochloric-pickle-liquor/>, Yayın Tarihi Eylül 20, 2013, Erişim Tarihi Ekim 24, 2014.
16. IEC., IEC 618822:2016 Hazard and Operability Studies (HAZOP Studies)-Application Guide, Genova, 2016.
17. Özkılıç, Ö., Risk Değerlendirmesi, Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu, Ankara: Ajans-Türk Gazetecilik Matbaacılık İnşaat Sanayi A.Ş., 183-184, 2014.
18. Merrow, W. E., A Quantitative Assesment of R&D Requirements of Solids Processing Technology, Research Report, Rand Corporation, 1986.
19. Lees, F. P., Loss Prevention in the Process Industries, 2nd Ed., Boston:MA:Buterworth-Heinemann, 1996.