

Isı Transfer Yüzeylerinde Birikinti

Yard. Doç. Dr. Alp AKIN, Prof. Dr. Necdet ÖZBALTA
alp.akin@ege.edu.tr, necdet.ozbalta@ege.edu.tr

Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksek Okulu, Rafineri ve Petrokimya Bölümü
Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Isı transfer cihazlarının yüzeylerinde istenmeyen maddelerin oluşumu ve çökmesi olarak tanımlanan birikinti sistem performansını etkileyen en önemli sorundur. Isı transferinin çözölemeyen bir problemi olan birikinti nedeniyle büyük ekonomik kayıplar oluşmaktadır. Bu çalışmada birikinti türleri, oluşum mekanizmaları, birikinti ısı direncinin zamanla değişimi, temizleme yöntemleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Birikinti, Isı Transferi, Isı Değiştiriciler, Birikinti Mekanizmaları, Birikinti Temizleme Teknikleri

ABSTRACT

The accumulation and formation of unwanted deposits on the surface of heat transfer equipment is the most important problem which reduces the efficiency of the system called as fouling. Fouling as an unsolved problem for heat transfer causes important financial loss. In this work, categorization of fouling, fouling mechanism, change between heat resistance of fouling and time, fouling cleaning technique are investigated.

Key words: Fouling, Heat transfer, Heat Exchanger, Fouling Mechanism, Fouling cleaning technique

1. GİRİŞ

Endüstriyel proseslerin önemli bir elemanı olan ısı değiştiricilerde, istenmeyen yabancı maddelerin ısı transfer yüzeyine çökmesiyle oluşan birikinti, ısı değiştiricinin performansını ve tesisin ekonomik performansını önemli derecede etkiler. Isı değiştiriciler genelde işletme problemleri ve sağlıksız tasarım yöntemleri nedeniyle % 70-80 oranında daha büyük tasarırlar. Birikinti oluşumunun bu oran içindeki payı ise % 30-50 arasındadır [1]. Isı transfer cihazlarında birikinti oluşumu, sektöre ilave maliyetler getirmektedir. Bu ek maliyet, artan yatırım maliyetleri, enerji maliyetleri, üretim kaybı maliyeti ve bakım maliyetleridir. Birikinti etkisini telafi etmek için, ısı değiştiricinin ısı transfer alanı artırılır. Özel birikinti durumlarında, titanyum ve paslanmaz çelik gibi yüksek maliyetli malzemelere ihtiyaç duyulur. Aşırı

yüzey artışını ve akış kesitindeki azalma sonucunda oluşan basınç düşümü artışını karşılamak için pompalar ve fanlar normalden daha büyük kapasitede seçilir. Isıl verimdeki azalma ve basınç düşümündeki artış nedeniyle enerji kayıpları meydana gelir. Birikintinin temizlenmesi için sistemin durdurulması üretim kayıplarına neden olur. Çift hatlı ısı değiştiriciler, kirlenen ısı değiştiriciyi temizlerken üretimin devamını sağlamak için yerleştirilir. Isı transfer cihazlarının temizlenmesi bakım maliyeti getirir.

2. BİRİKİNTİNİN SINIFLANDIRILMASI

Birikinti; ısı transferi tipine (kaynama, yoğuşma), akışkan türüne (sıvı, gaz), uygulama çeşidine (soğutma, güç üretimi) bağlı olarak çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir [1, 2, 3, 4, 5]. Genel olarak birikinti oluşumu içerdiği fiziksel ve kimyasal prosese bağlı olarak: partikül birikintisi, kristalizasyon birikintisi, korozyon birikintisi, biyobirikinti, kimyasal reaksiyon birikintisi olarak sınıflandırılır. Bazı hallerde iki veya daha fazla birikinti oluşumu aynı anda meydana gelebilir. En çok karşılaşılan birikinti oluşumu ise partikül çökmesi, kristalizasyon ve kimyasal reaksiyon birikintisinin birlikte meydana gelmesidir.

2.1. Partikül Birikintisi

Gaz veya sıvı proses akımında, asılı olan katı parçacıkların ısı transfer yüzeylerinde çökmesidir. Çökme yer çekimi nedeniyle olabileceği gibi diğer çökme mekanizmaları ile de meydana gelebilir. Partikül birikintisine neden olan maddeler organik/inorganik esaslı, farklı şekil ve boyutlarda (mm mikron) olabilir. Büyük tanecikler yerçekimi etkisiyle yatay yüzeylerde birikir. Küçük partiküller eğimli ısı transfer yüzeyleri üzerine diğer mekanizmalarla birikir. Asılı partiküllerin derişimi, akışkan hızı, çökmenin meydana geldiği yüzeyin sıcaklık koşulları (ısıtılmış veya ısıtılmamış), ısı transfer yüzeyindeki ısı akısı gibi parametreler partikül birikintisi üzerinde etkilidir.

2. Kristalizasyon Birikintisi

Isı değiştiricilerde birikinti oluşumunun en yaygın yolu kristalizasyondur. Kristalizasyon proses akımında

çözünmüş inorganik tuzların, ısıtma veya soğutma süreci sonunda doymuşluğa erişerek ısı transfer yüzeyinde kristallenerek çökmesidir. Aşırı doymuşluk farklı koşullarda meydana gelebilir:

- Normal çözünürlüğe sahip tuz çözeltilerinin, çözünürlük sıcaklığının altına soğutulmaları,
- Ters çözünürlüğe sahip tuz çözeltilerinin, çözünürlük sıcaklığının üstüne ısıtılmaları,
- Çözünmüş türlerin çözünürlük sınırlarının dışına çözeltilerin buharlaştırılması,
- Farklı akımların karıştırılmaları ile aşırı doymuşluğa ulaşılması,
- Proses çözeltilisinin pH değerinin değişmesi.

Sodyum klorür (NaCl), kalsiyum klorür (CaCl_2) gibi normal çözünürlüğü olan tuzlar soğuk yüzeylerde çökelirken, kalsiyum karbonat (CaCO_3), kalsiyum sülfat (CaSO_4), kalsiyum fosfat $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, magnezyum hidroksit $\text{Mg}(\text{OH})_2$, sodyum sülfat Na_2SO_4 , kalsiyum silikat CaSiO_3 , magnezyum silikat MgSiO_3 , lityum karbonat Li_2CO_3 , lityum sülfat Li_2SO_4 gibi ters çözünürlüğü olan tuzlar sıcak yüzeylerde çökelirler. Kristalizasyon birikintisinin başlayabilmesi için kristal çekirdekçiklerinin oluşumu önemlidir. Birikinti oluşum hızı, tuz derişimi ve yüzey sıcaklığındaki yükselme ile artış gösterir. Kristalizasyon birikintisi, ham su, jeotermal akışkan, deniz suyu, sodyum hidroksit ve diğer tuzların sulu çözeltileri ile çalıştırılan ısı değiştiricilerde önemli bir sorun olarak ortaya çıkar.

2.3. Kimyasal Reaksiyon Birikintisi

Kimyasal reaksiyon birikintisi, akışkan akımı içinde oluşan kimyasal reaksiyonların sonucudur. Isı transfer yüzeyi katalizör işlevi görmesine karşın reaksiyona katılmaz. Bu birikinti türü, çevre sıcaklığından 1000 °C gibi geniş bir sıcaklık aralığında meydana gelebilmesine karşın, genelde yüksek sıcaklıklarda oluşur. Petro kimya sanayi, buhar fazı pirolizi, hidrokarbonların polimerizasyonu, koklaştırılması süreçlerinde meydana gelir. Kimyasal reaksiyon birikintisi oldukça dirençlidir ve ısı transfer yüzeyinin temizlenmesi aşamasında özel ölçüm gerektirir.

2.4. Korozyon Birikintisi

Korozyon bazı kimyasal bozunmalar nedeniyle malzemenin kaybı ya da bozunması olarak ifade edilebilir. Korozyonun başlangıcı proses akışkanın kendisi ya da akışkanı oluşturan bileşenler olabileceği gibi, akışkandaki safsızlıklar nedeniyle de oluşabilir. Isı transfer yüzeyi ile akışkan arasında

meydana gelen kimyasal veya elektrokimyasal tepkime sonucu korozyon ürünleri oluşur, yüzeyin ısı özellikleri değişir. Kimyasal reaksiyon birikintisinden farklıdır. Korozyon ürünleri, üretildikleri bölgede birikip ısı transfer yüzeyine bağlanabileceği gibi sistemin başka bir bölgesine partiküller halinde taşınarak partikül birikintisi oluşturabilirler. Çözeltinin pH değeri, süreci kontrol eden önemli bir parametredir. Örneğin alkali metaller, kükürt ve vanadyum gibi yakıttaki safsızlıklar, kazanlarda korozyona sebep olabilirler. Korozyon, sıvı tarafında çok ciddi sonuçlara neden olabilir.

2.5. Biyolojik Birikinti

Isı transfer yüzeyinde biyolojik kökenli bir maddenin gelişmesi ya da birikimi biyolojik birikinti olarak isimlendirilir. Gıda üretim tesisleri, güç sistemi yoğunlaştırıcıları gibi genelde su ile çalışılan sistemlerde meydana gelir. Biyolojik birikinti makrobiyal ve mikrobiyal olmak üzere iki türde incelenir. Bakteri, su yosunu, küf gibi mikroorganizmalar ve onların ürünleri ve mikrobiyal birikinti olarak isimlendirilir. Deniz yosunları, su yosunları ve midye gibi maddeler de makrobiyal birikinti olarak bilinir. Biyolojik birikintinin iki tipi de aynı anda oluşabilir. Biyolojik birikinti katmanı altında korozyon birikintisinin de meydana gelmesi mümkündür.

3. BİRİKİNTİ PROSESİNİN TEMELLERİ

Birikinti süreci son derece karmaşık bir olaydır. Birikinti sürecini etkileyen çok sayıda parametre bulunmaktadır. Birikinti mekanizması, başlama, taşıma, bağlanma (tutunma), yer değiştirme (uzaklaşma), yıpranma (yaşlanma) aşamalarından oluşur [2, 3, 4].

3.1. Başlama

Başlama aşamasında, yüzey daha sonra meydana gelecek olan birikinti oluşumu için hazırlanır. Bu periyod süresince oluşan birikinti miktarı ihmal edilebilir düzeydedir. Yüzey sıcaklığı, malzeme, son yüzey işlemleri, pürüzlülük ve kaplamalar güçlü bir şekilde kuluçka periyodunu etkiler. Dolayısıyla birikinti sürecini geciktirebilir. Örneğin, kristalizasyon birikintisinde, ısı transferi yüzey sıcaklığına bağlı olarak doymuşluk derecesi artarken, başlangıç periyodu kısalma eğilimindedir. Başlama periyodu süresince kristalizasyon birikintisinin meydana gelebilmesi için ısı transfer yüzeyinde kristal çekirdekçiklerinin oluşumu gereklidir. Genelde aşırı doymuş çözeltilerden kristalizasyonun başlaması için

kristal çekirdekçiklerinin miktarı eşik değerini aşmalıdır.

Kimyasal reaksiyon birikintisinde, başlangıç reaksiyonlarındaki hızlanma nedeniyle, artan sıcaklık ile gecikme periyodu kısalmır.

Yüzey pürüzlülüğü, başlangıç periyodunda gözlenen gecikme süresini kısaltır. Pürüzlü yüzey yapısı, kristal çekirdekçiklerinin oluşumu için gerek duyulan ilave bölgeleri sağlar. Yüzeydeki pürüzlülük, tanecik çökmesi için uygun zemin hazırlar.

3.2. Taşıma

Bu faz süresince, birikinti oluşturacak türler, akışkan kütlelerinden ısı transferi yüzeyine taşınır. Taşıma periyodu, kütle transfer sürecidir. Kütle transferi, birikintiyi oluşturacak türün derişiklik gradyanı ile orantılıdır. Taşıma; yayılım, sedimentasyon ve termoforez ile gerçekleştirilir. Yerel birikinti akısı (m_d) aşağıdaki eşitlikle tanımlanır:

$$m_d = h_D (C_b - C_s)$$

Bu eşitlikte h_D taşınım kütle transfer katsayısı, C_b ve C_s sırasıyla akışkan akımında ve ısı transfer yüzeyine komşu akışkanda çökelen türün derişimidir. h_D , akışa ve geometrik parametrelere bağlı olarak Sherwood sayısından elde edilir. Akışkan içinde makro parçacıkların varlığı durumunda, yerçekimi etkisiyle tanecikler eğik veya yatay yüzeye taşınır. Bu proses, sedimentasyon olarak bilinen, partiküllerin ağır ve akışkan hızının düşük olduğu uygulamalarda önem kazanır. Termoforez, sıcaklık gradyanı varlığında akışkan akışı içindeki küçük partiküllerin hareketidir. Sıcak duvarlar bu partikülleri iterken, soğuk duvarlar koloidal partikülleri çeker. Termoforez, çapı 5 μm 'nin altındaki partiküller için önemlidir ve yaklaşık 0.1 μm civarında hakim olan proses olarak görülür.

3.3. Bağlanma (Tutunma)

Yüzeye taşınan birikinti oluşturacak maddelerin bir bölümü, doğrudan yüzeye tutunur veya tepkimeye girer ve ardından yüzeye çöker. Bu proses hakkında önemli belirsizlikler mevcuttur. Birikinti oluşturacak maddelerin yüzeye tutunma derecesini belirlemek için olasılık yöntemlerinden yararlanılır. Yüzeye yaklaşıldığında taneciklere etki eden van der Waals kuvvetleri, elektrostatik kuvvetler, yer çekimi kuvveti gibi kuvvetler, taneciklerin yüzeye tutunmasını belirleyebilmek için önemlidir. Ayrıca, malzemenin yoğunluk, boyut gibi özellikleri ve yüzey koşulları önemlidir. Pürüzlü yüzeylerde temas alanının daha

büyük olması nedeniyle yüzey pürüzlülüğü, partikül ile yüzey arasındaki çekme kuvvetinin artışına neden olur.

3.4. Yer Değişirme (Uzaklaşma)

Bazı maddeler, yüzeyden çökme sürecinden sonra hemen ve bazısı ise daha sonra uzaklaştırılır. Genelde, akışkan ile çökelen birikinti tabakası arasındaki ara yüzeydeki kayma gerilmesi, yer değiştirmenin sorumlusu olarak kabul edilir. Kayma gerilmesi, yüzeydeki hız gradyanına, akışkanın viskozitesine ve yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Yer değiştirme aşamasında, çözünme, aşınma, parçalanma yoluyla çökelen madde yüzeyden uzaklaşır. Çözünmede, yüzeyden uzaklaşan malzeme iyonik yapıdadır. Aşınmada, malzeme tanecikli yapıdadır. Aşınma, akışkan hızı, tanecik boyutu, yüzey pürüzlülüğü ve malzemenin yüzeye tutunma derecesinden etkilenir. Malzeme parçalanırken büyük kütleler halindedir. Parçalanma, ısı transfer prosesinin etkisi sonucu birikinti içinde meydana gelen ısı gerilmelerden etkilenir.

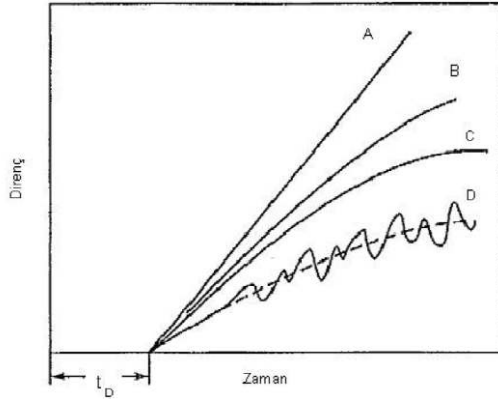
3.5. Yıpranma (Yaşlanma)

Yüzeyde tortular biriktiğinde, yaşlanma süreci de hemen başlar Yıpranma (yaşlanma) birikintinin kimyasal veya fiziksel özelliklerinin değişimidir. Kristal veya kimyasal yapıdaki değişimler sebebiyle birikintinin mekanik özellikleri bu faz sırasında değişebilir. Kristal yapısındaki değişim, kimyasal bozunma zamanla bağ kuvvetlerinin azalmasına neden olur. Örneğin yüzeydeki korozyon sebebiyle mikroorganizmaların yavaş zehirlenmesi, biyobirikinti tabakasını zayıflatabilir. Birikinti yüzeyinde kimyasal reaksiyon meydana gelmesi, birikintinin kimyasal bileşimini etkiler ve dolayısıyla mekanik dayanıklılığını da değiştirebilir. Ayrıca yüzey sıcaklığının artması bağ kuvvetlerinde artışa neden olur. Birikinti oluşumu, yüzey sıcaklığında azalmaya dolayısıyla bağ kuvvetlerinin de azalmasına neden olur.

4. BİRİKİNTİ EĞRİLERİ

Birikinti oluşumu, birikinti ısı direnci dikkate alınarak açıklanır [2, 6]. Birikinti direncinin zamanla değişimi birikinti eğrisi olarak isimlendirilir (Şekil 1).





Şekil 1. Birikinti ısı direnci zaman eğrisi

Bir yüzeyde birikinti oluşumu, çökeltme ve taşınma hızları arasındaki farka bağlı olarak (katı-sıvı ara yüzeyinde kütle dengesi) aşağıdaki denklemlerle tanımlanabilir:

$$\frac{dm}{dt} = \phi_D - \phi_R$$

Burada m : birim alanda oluşan çökelti kütlesi,

ϕ_D : yüzeyin birim alanı başına birikintinin çökeltme hızı,

ϕ_R : yüzeyin birim alanı başına birikintinin taşınma hızıdır. Tüm birikinti süreçlerinde birim alanda çökelen madde miktarı (m), birikinti ısı direnci (R_f), çökelen maddenin yoğunluğu (ρ), ısı iletim katsayısı (k), kalınlığı (x) ile ilişkilidir.

$$m = \rho x = \rho k R_f$$

Burada $R_f = x/k$ olarak tanımlanmıştır.

Birikinti ısı direncinin zaman ile değişimi genelde, doğrusal, azalan, asimptotik, testere dişi hızı olmak üzere dört farklı karakterdedir.

Doğrusal Hız: En basit modeldir. Eğer birikinti çökeltme hızı sabit ve yüzeyden uzaklaşma hızı ihmal edilebilir veya çökeltme ile yüzeyden uzaklaşma hızları arasındaki fark sabit ise birikinti ısı direnci-zaman ilişkisi doğrusaldır. Başlangıçtaki gecikme periyodu da dikkate alınarak doğrusal değişimin gözlemlendiği bu modelde birikinti direnci aşağıdaki denklemlerle verilir.

$$R_{ft} = \frac{dR_f}{dt} (t - t_i)$$

Burada R_{ft} , t anında birikinti ısı direnci, t_i , gecikme periyodudur. dR_f/dt oranı deneysel bulgulardan elde edilmelidir.

Azalan Hız: Doğrusal ve asimptotik birikinti eğrileri

arasında bulunur. Eğer birikinti çökeltme hızı, birikinti kalınlığı ile ters orantılı ise bu tür davranış gözlenir. Süreç sabit taşınma hızı, azalan çökeltme hızı veya artan taşınma hızı ve azalan çökeltme hızı olarak meydana gelir. Azalan hız periyodunda birikinti ısı direncinin zamanla değişiminin itici güçle orantılı olduğu kabul edilmiştir. Sıcaklık farkının sabit olması halinde birikinti direncinin değişimi aşağıdaki eşitlikle tanımlanır.

$$\frac{dR_f}{dt} = \frac{K}{(R_c + R_f)^n}$$

Burada R_c , temiz koşullarda ısı direnci, R_{ft} , birikinti ısı direnci, K ve n değerleri birikinti oluşumunun reaksiyon veya yayılım kontrollü oluşuna bağlıdır.

Asimptotik Hız: Birikinti çökeltme hızı sabit, yüzeyden uzaklaşma hızı birikinti tabakası kalınlığı ile orantılı ise asimptotik birikinti eğrisi elde edilir. Kern ve Seaton tarafından önerilen birikinti oluşum modeli aşağıda verilmiştir.

$$R_{ft} = R_{fc} [1 - \exp(-\beta t)]$$

Burada R_{ft} , t anında birikinti ısı direnci, R_{fc} , sonsuz zamandaki birikinti ısı direnci asimptotik değer, β , sistem özelliklerine bağlı sabittir.

Testere Dişi Hız: İşletme koşullarındaki periyodik değişim testere dişi davranışa neden olabilir.

5. ISI DEĞİŞTİRİCİ TEMİZLİĞİ

Birikinti oluşumu nedeniyle ısı değiştirici etkinliğinin öngörülen düzeyin altına düşmesi sistem temizliğini gerektirir [2, 3, 4, 7]. Temizleme işlemi, sistem çalıştırılırken (on-line) yapılabileceği gibi bazı durumlarda ise sistem durdurularak (off-line) yapılır. Birikinti temizliği, mekanik temizlik ve kimyasal temizlik olmak üzere iki yöntemden yararlanılarak gerçekleştirilir. Birikinti bileşiminin belirlenmesi, birikinti kaynağının saptanması uygun temizleme yönteminin seçiminde yararlıdır. Birikinti düzeyi, birikintiyi oluşturan maddenin/maddelerin doğası, ısı değiştirici malzemesinin ve sistem bileşenlerinin temizleme kimyasalları ile uyumluluğu (korozyon oluşturmaması), temizlenecek yüzeye ulaşılabilirlik, maliyet, temizleme yönteminin seçiminde dikkate alınmalıdır.

Sistem durdurularak yapılan mekanik temizlik endüstride sıkça kullanılan yöntemdir. Bu yöntemle ısı transfer yüzeyindeki direngen birikintinin uzaklaştırılması, her borunun temizliğinin oldukça iyi yapılabilmesi mümkündür. Ancak U-şeklindeki boru demetlerinin bu yöntemle temizliğinin zor olması

nedeniyle demontajı ve işçilik maliyeti olumsuz yönüdür. Plakalı, spiral ısı değiştiricileri gibi erişimin kolay olduğu, boru demetlerinin sökülebilir olduğu durumlarda elle temizlik yapılabilir. Yüksek basınçta su püskürterek özellikle erişimin kolay olduğu dış yüzeylerin temizliği yapılabilir. Hava veya su akımı ile uygun aşındırıcı malzemenin yüksek hızda kirlenen yüzeye çarptırılması ile temizlenmeleri mümkündür. Yoğuşturucu ve ısı değiştirici yüzeylerindeki yağ ve benzeri maddelerin temizlenmesi için buhardan yararlanılır. Gerektiğinde buharla birlikte uygun kimyasallardan yararlanılır. Hava, su, buhar akımında kesici, fırça kullanılarak boru tarafının temizliği mümkündür.

Sistem çalıştırılırken mekanik temizleme yöntemlerinden de uygulamada yararlanılmaktadır. Temizlik işleminin ısı değiştiricinin çalışır durumda gerçekleştirilmesi olumlu yönüdür. Boru içinden sünger toplar, kum, cam ya da metal kürecikler geçirilerek temizleme yapılır. Kıvrılmış tel veya plastik malzemelerin akış sırasında eksensel ve radyal titreşimleri ile temizleme yapılabilir. Soğutma suyu sistemlerinde filtre kullanımıyla, biyolojik organizmalar ve alınan sudaki parçacıkların sisteme girişi engellenir. Manyetik alan, sonik tekniklerin kullanımı da mümkündür.

Isı değiştiricilerin kimyasal temizliğine, diğer temizleme yöntemleri yetersiz kaldığında başvurulur. Bu yöntemde temizleyici akışkan ile oluşan kimyasal tepkimeye sonucu birikintinin çözünmesi sağlanır. Ulaşılması zor alanların temizlenmesi mümkündür. Çoğunlukla erişilmesinin zor olması nedeniyle mekanik olarak tam temizlenemeyen alanların temizliğinde kimyasal yöntemlerden yararlanılır. Kimyasal temizleme yöntemleri çoğunlukla sistem durdurularak gerçekleştirilir.

Isı değiştiricilerin kimyasal olarak temizlenmesinde birikinti bileşimi önceden belirlenmelidir. Genel olarak organik (proses tarafı) ve inorganik (su tarafı) şeklinde sınıflandırılacak birikintinin kimyasal analiz sonuçlarına göre en uygun kimyasal çözgen ve uygulanacak işlem seçilir. Kimyasal temizleme çözeltisi ile sistem parçalarının uyumluluğu kontrol edilmelidir. Korozyon testleri temizlik işlemi öncesi ve sırasında yapılmalıdır.

Mineral asitleri, organik asitler, alkali bazlar, kompleks kimyasallar, yükseltgeme kimyasalları, indirgeme kimyasalları ve organik çözücüler kimyasal temizlikte kullanılırlar. İnhibitör ve yüzey aktif maddeler korozyonu azaltmak ve temizleme etkisini iyileştirmek için eklenirler. Sistem durdurularak yapılan kimyasal temizlik farklı şekillerde uygulanabilir. Bu kapsamda temizlenecek eleman temizleme çözeltisi ile

doldurulur ve çözelti bir pompa yardımıyla sistemden geçirilir. Küçük elemanların temizliğinde cihaz temizleme çözeltisi ile doldurulur, bir süre beklendikten sonra boşaltılır. İstenen sonuca ulaşıncaya kadar işlem birkaç kere tekrar edilir. Buhar ve temizleyiciden oluşan derişik karışım yüzeye püskürtülerek temizlik gerçekleştirilir.

Demir oksit, kalsiyum ve magnezyum karbonat gibi inorganik (su tarafı) esaslı birikinti temizliğinde mineral asitleri, organik asitler kullanılır. Organik (proses tarafı) esaslı birikinti, hafif hidrokarbonlardan polimerlere kadar değişim gösterir, sodyum hidroksit, sodyum silikat, sodyum fosfat gibi bazik maddeleri içeren çözgenler kullanılarak temizlenirler.

6. SONUÇ

Birikinti, her ne kadar temizlenmeye çalışılsa da tekrar eden bir durumdur. Isı değiştiricilerde birikintinin azaltılması ve temizleme teknikleri her bir sisteme göre ve dolayısıyla birikintinin tipine göre değişiklik gösterir. Seçilen temizleme yöntemi, oluşan birikinti tipini etkili olarak temizlemeli ve yıllık bakım maliyeti de minimum olmalıdır. Birikinti maliyetleri ve temizleme kriterleri dikkate alınarak optimum temizleme zamanı belirlenmelidir [8]. *

KAYNAKLAR

- [1] Bansal, B., Chena, X. D., Müller-Steinhagen, H., Analysis of classical deposition rate law for crystallisation fouling, Chemical Engineering and Processing, 47, 12011210, 2008.
- [2] Kakaç, S., Liu, H., Haet Exchangers: Selection, Rating, Thermal Design, CRC Press, 2002.
- [3] S. N. Kazi, N. S., Fouling and Fouling Mitigation on Heat Exchanger Surfaces, http://cdn.intechopen.com/pdfs/30778/InTech-Fouling_and_fouling_mitigation_on_heat_exchanger_surfaces.pdf
- [4] Awad, M. A., Fouling of Heat Transfer Surfaces, http://cdn.intechopen.com/pdfs/13202/InTech-Fouling_of_heat_transfer_surfaces.pdf
- [5] Al-Mutairi, N. N., Fouling Studies and Control in Heat Exchangers, <http://repository.ksu.edu.sa/jspui/bitstream/123456789/8756/1/Fouling%20Studies%20and%20Control%20in%20Heat%20Exchangers.pdf>
- [6] Bott, T. R., Fouling of Heat Exchanger, Elsevier Science & Technology Books, 1995.
- [7] Steinhagen H. M., Malayeri M., R., Watkinson A., P., Heat Exchanger Fouling: Mitigation and Cleaning Strategies, Heat Transfer Engineering, 32(3-4), 189-196, 2011.
- [8] Ezgi, C., Özbalta, N., Deniz Soğutmalı Gövde Borulu Isı Değiştiricide Birikintinin Ekonomik Analizi ve Temizlik Optimizasyonu, 483-490, Anadolu Enerji Sempozyumu, Fırat Üniversitesi, 2011.