



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SÜPERKRİTİK SU OKSİDASYON CİHAZI
TASARIMI, İMALATI VE PERFORMANS
ANALİZİ

Fatih GERÇEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Fatih Gerçek tarafından hazırlanan ‘‘Süperkritik Su Oksidasyon Cihazı Tasarımı, İmalatı Ve Performans Analizi’’ adlı tez çalışması 09/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliğı ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Selim DOĞAN

Danışman

Doç. Dr. Mehmet BAĞCI

Üye

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YILDIZ

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
LEE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Fatih GERÇEK

Tarih: 04.09.2019

ÖZET**YÜKSEK LİSANS TEZİ****SÜPERKRİTİK SU OKSİDASYON CİHAZI TASARIMI, İMALATI VE
PERFORMANS ANALİZİ****Fatih GERÇEK****Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı****1.Danışman: Doç. Dr. Mehmet BAĞCI****2.Danışman: Prof. Dr. Mehmet Emin ARGUN****2019, 62 Sayfa****Jüri****Doç. Dr. Mehmet BAĞCI****Dr. Öğr. Üyesi. Selim DOĞAN****Dr. Öğr. Üyesi. İbrahim YILDIZ**

Çevre kirliliği problemi, son yıllarda giderek artan çevre bilinci ile ulusal ve uluslararası politik düzeyde çözülmesi gereken en önemli problemlerden biri haline gelmiştir. Yüzeysel ve yeraltı sularının kirliliği de en önemli çevre sorunlarının başında gelmektedir. Atık suların arıtımında mekanik, biyolojik, fiziksel ve kimyasal bir takım arıtma yöntemleri ayrı ayrı veya birlikte kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemler ile kalıcı ve toksik organik maddelerin giderimi konusunda zorluklar yaşanmaktadır. Kimyasal pıhtılaştırma/yumaklaştırma, kimyasal çöktürme gibi yöntemlerde, kalıcı toksik organik madde giderimi verimi düşük olmaktadır. Distilasyon ve adsorpsiyon üniteleri ile kalıcı ve toksik organik madde gideriminde yüksek verimler elde edilmesine rağmen oldukça pahalı yöntemlerdir. Membran sistemlerde Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) giderimi yüksek olmakla birlikte bu teknolojilerde konsantre su yöntemleri gerekmektedir. Bu nedenle, kalıcı ve toksik organik madde içeren endüstriyel atık suların arıtımında ileri oksidasyon teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Tüm bunlar dikkate alındığında kullanılan sistemler arasında Süperkritik Su Oksidasyon Yöntemi (SKSO) öne çıkmaktadır. SKSO yöntemi ile atık su arıtma sistemi kalıcı ve toksik madde gidermede %90'nın üzerinde başarı sağlamaktadır. Ayrıca diğer yöntemlerle uzun sürelerde gerçekleşen çalışmalar bu sistem sayesinde çok kısa sürelerde yapılabilmektedir. Süperkritik su, kritik sıcaklığın üstüne kadar ısıtılmış (374.8 °C) ve kritik basınçtan (221.3 Bar) öteye sıkıştırılmış bir akışkandır. Faz olarak sıvı ve gaz fazın karışımı özelliğini göstermektedir. Yoğunlukları sıvıya, difüzelebilen özellikleri ve viskoziteleri gaz fazın özelliğine yakındır. Yüksek difüzyon hızına sahip olmaları katı maddelerin içine rahatlıkla sızmalarını, sıvıya yakın yoğunlukları ise katı matrisleri çözmelerinde fayda sağlamaktadır. Bu sayede yüksek saflıklarda su arıtma yapılabilmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında değişik çalışma şartlarına ayarlanabilen (220-300 Bar basınç, 375-500 °C sıcaklık), farklı içerikteki atık suların (çöp atık suyu vb. kirliliği) arıtımını SKSO yöntemiyle gerçekleştirebilen bir cihaz tasarlanmış ve üretimi yapılmıştır. Ayrıca cihazın kritik öneme sahip reaktör bölümünün, 304 (X5CrNi18-10) ve 316 (X5CrNiMo17-12-2) kalite paslanmaz çelik malzeme kullanımındaki performans analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Süperkritik Su Oksidasyonu, Tasarım, İmalat, Performans Analizi

ABSTRACT**MS THESIS****SUPERCRITICAL WATER OXIDATION DEVICES DESIGN, PRODUCT AND PERFORMANCE ANALYSIS****Fatih GERÇEK****Konya Technical University Institute of Graduate Studies
Department Of Mechanical Engineering****1.Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet BAĞCI****2.Advisor: Prof. Dr. Mehmet Emin ARGUN****2019, 62 Pages****Jury****Assoc. Prof. Dr. Mehmet BAĞCI****Asst. Prof. Dr. Selim DOĞAN****Asst. Prof. Dr. İbrahim YILDIZ**

The problem of environmental pollution has become one of the most important problems to be solved at national and international political level with the increasing environmental awareness in recent years. Pollution of surface and groundwater is one of the most important environmental problems. In the treatment of wastewater, mechanical, biological, physical and chemical treatment methods are used separately or together. However, these methods have difficulties in removing persistent and toxic organic materials. In methods such as chemical coagulation / flocculation, chemical precipitation, permanent toxic organic material removal efficiency is low. Distillation and adsorption units are very expensive methods, although high yields are obtained in permanent and toxic organic matter removal. Chemical Oxygen Demand (COD) removal is high in membrane systems, but concentrated water methods are required in these technologies. Therefore, there is a need for advanced oxidation technologies in the treatment of industrial wastewater containing persistent and toxic organic matter. Considering all these, Supercritical Water Oxidation Method (SCWO) stands out among the systems used. With the SCWO method, the wastewater treatment system achieves over 90% success in removing permanent and toxic substances. In addition, long-term studies with other methods can be done in a very short time thanks to this system. Supercritical water is a fluid heated above the critical temperature (374.8 °C) and compressed beyond critical pressure (221.3 Bar). It shows the mixture of liquid and gas phase. Their densities are close to the liquid and their diffusibility and viscosity are close to those of the gas phase. Their high diffusivity allows them to easily penetrate into solids and close to liquid densities to dissolve solid matrices. In this way, high purity water purification can be done. In this thesis, a device which can be adjusted to different working conditions (220-300 Bar pressure, 375-500 °C temperature) and which can treat different wastewater (dirty water, waste water, etc.) is designed and produced. In addition, the performance analysis of the critical reactor section in the use of 304 (X5CrNi18-10) and 316 (X5CrNiMo17-12-2) grade stainless steel material was performed.

Keywords: Supercritical Water Oxidation, Design, Manufacturing, Performance Analysis

ÖNSÖZ

Süperkritik su oksidasyon sistemi dünyada giderek artan bir kullanıma sahiptir. Ülkemizde ise yeni yeni gelişme gösteren bir alandır. Bu çalışma, ülkemizde süperkritik su çalışmaları ve endüstriyel atık su arıtma tesisleri için önemli bir ön ayak olacaktır.

Tez çalışmamda, bana her türlü yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen danışmanlarım Doç. Dr. Mehmet BAĞCI ve Prof. Dr. Mehmet Emin ARGUN hocalarıma, çalışmalarıyla beni yönlendiren Arş. Gör. Havva ATEŞ hocama ve ayrıca maddi, manevi ve teknik her türlü desteklerini esirgemeyen BIOSAN Kimya Ve Laboratuvar Sistemlerinin bütün çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, yüksek lisans süreci boyunca bana karşı anlayış ve gösterdikleri destekten dolayı değerli aileme teşekkürü borç bilirim.

Fatih GERÇEK
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
3. SÜPERKRİTİK AKIŞKAN	8
3.1. Süperkritik Akışkan	8
3.1.1. Süperkritik akışkanların kullanım alanları.....	8
3.1.1.1. Gıda sektörü	9
3.1.1.2. Koku, esans ve kozmetik sektörü	9
3.1.1.3. Eczacılık sektörü.....	9
3.1.1.4. Hidrokarbon prosesleri sektörü.....	9
3.1.1.5. Kimyasal işlemler sektörü	10
3.1.1.6. Malzeme sektörü.....	10
3.1.1.7. Polimer sektörü	11
3.1.1.8. Analitik araştırma sektörü.....	11
3.1.1.9. Çevre sektörü	11
3.1.1.10. Reaksiyon uygulamaları	11
3.1.1.11. Yüzey işlemleri sektörü	12
3.2. Süperkritik Su Oksidasyonu	12
3.2.1. Süperkritik Suyun Yoğunluğu	14
3.2.2. Süperkritik Suyun Viskozitesi ve Difüzivitesi.....	14
3.3. Çalışmanın Amacı, Kapsamı ve Önemi.....	15
4. MATERYAL VE YÖNTEM	16
4.1. Süperkritik Su Oksidasyon Cihazı Tasarımı.....	16
4.1.1. Cihazın tasarım kriterleri	16
4.1.2. Cihazın kavramsal tasarımı.....	16
4.1.3. Cihazın elektriksel devre şeması.....	18
4.1.4. Cihazın ana elemanları ve çalışma prensibi.....	19
4.1.4.1. Yüksek basınç pompaları.....	19
4.1.4.2. Reaktör, reaktör bloğu ve ısıtıcı sistem	20
4.1.4.3. Isı değiştirici (eşanjör)	22
4.1.4.4. Seperatör	23
4.1.4.5. Bağlantı ve denetim elemanları	23
4.1.4.6. PLC (Programmable Logic Controller) kontrol ünitesi.....	26
4.1.5. Cihazın tasarım süreci.....	26
4.1.5.1. Cihazın tasarım sürecinde yaşanan problemler ve çözümler	27
4.1.6. Cihazın CAD tasarımı.....	31
4.1.7. Cihaza ait imalat resimleri	32
4.1.8. Cihazın üretim aşamasındaki parçalara ait resimler	33
4.2. Cihazın kullanımı hakkında	35
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	37
5.1. Test Çalışmaları	37

5.1.1. Basınç testi	37
5.1.2. Sıcaklık testi.....	37
5.1.3. Debi ölçümü ve kontrolü	38
5.2. Deneysel Çalışma	38
5.2.1. Deneyin yapılışı	39
5.2.2. Deney numunelerinin incelenmesi.....	39
5.2.3. Elde edilen deney sonuçları	40
5.3. Araştırma Bulguları	47
5.3.1. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi	51
5.3.2. Arıtım verimi ile ilgili sonuç	51
5.4. Tartışma	52
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR	54
EKLER	56
ÖZGEÇMİŞ	62

SİMGELER VE KISALTMALAR**Simgeler**

P (Bar)	Basınç
T (°C)	Sıcaklık
P _c (Bar)	Kritik Basınç
T _c (°C)	Kritik Sıcaklık

Kısaltmalar

SKSO	Süperkritik Su Oksidasyonu
SCW	Süperkritik Su
SCWO	Süperkritik Su Oksidasyonu
TOC	Toplam Organik Karbon
ISC	Yerinde Yanma
LTO	Düşük Sıcaklık Oksidasyonu
HTO	Yüksek Sıcaklık Oksidasyonu
TC	Termal Kırma
HPHT	Yüksek Basınç Yüksek Sıcaklık
DGSWR	Dinamik Gaz Sızdırmaz Duvar Tipi Reaktör
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
DCP	Diklorofenol
CFD	Hesaplama Akışkanlar Dinamiği
Dk	Dakika

1. GİRİŞ

Teknolojinin gün geçtikçe gelişimi ile mevcut sorunların çözümünde yeni metotlar ortaya çıkmaktadır. Çevre kirliliği sorununun çözümünde de birçok metodun yanında yeni teknolojilerde gelişme göstermektedir.

Kirli su arıtma ülkelerin önemli bir sorunudur. Arıtma işlemi için değişik yöntemler ayrı ayrı veya beraber uygulanmaktadır. Geleneksel yöntemlerin yanında teknolojikte birçok yöntem atık su arıtmada kullanılmaktadır. Süperkritik su oksidasyonu yöntemi de ileri teknoloji atık su arıtmada kullanılan önemli bir yöntemdir.

Termodinamik olarak kritik sıcaklıktan (T_c) ve kritik basınçtan (P_c) büyük veya eşit sıcaklık ve basınca sahip olan maddeler “Süperkritik Akışkan” olarak tanımlanır (Clifford,1999). Süperkritik koşullarda artan difüzyon hızı, değişen yoğunluk, viskozite, ısı kapasitesi, çözücü özellikleri, tepkime hızı yüksekliği gibi etkenlerden ötürü tekstil atık suları içerisindeki kompleks organik kirleticiler, atıksu içerisinde kolaylıkla çözünerek oksijen ile tepkimeye girer, oksitlenir ve tamamıyla CO_2 , H_2O ve inorganik tuzlara son derece yüksek verimlerde parçalanır (Gümüş, 2009).

Son yıllarda süperkritik su ortamında atık sulardaki organik kirleticilerin ve ağır metallerin uzaklaştırılması, giderek önem kazanan bir teknoloji haline gelmiş ve uygulaması yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu teknoloji, kirleticileri içeren atık suyun süperkritik koşullarda bir oksitleyici madde kullanarak organik kirleticilerin CO_2 ve suya parçalanması, kirletici metallerin de metal oksitleri halinde uzaklaştırılmasına dayanmaktadır. Bu prosesle kirleticiler, tek bir adımla saniyeler içinde ortamdan ayrıştırılabilmektedir. Oksitleyici madde olarak hava, oksijen (O_2) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) kullanılmaktadır (Erkonak vd., 2008).

Bu çalışmada süperkritik su oksidasyonu yapan laboratuvar tipi bir cihaz tasarımı, üretimi ve performans analizi yapılmıştır. Bu çerçevede, 300 Bar basınca ve $500\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığa ulaşabilen bir cihaz üretilmiş ve reaktör malzemesi olarak 304 (X5CrNi18-10) ve 316 (X5CrNiMo17-12-2) kalite paslanmaz çelik malzemelerin kullanımı için performans analizleri yapılmıştır. Yapılan cihaz Konya Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında atık su arıtma araştırmaları yapmak amacıyla kullanılacaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Söğüt yaptığı deneysel çalışmada, çeşitli endüstriyel atık suların sürekli akışlı boru tipi reaktör sisteminde Süperkritik Su Oksidasyon (SKSO) yöntemi ile arıtılmasını araştırmıştır. Bu bağlamda süperkritik akışkanlar ve SKSO prosesleri ile ilgili genel bilgiler derlenmiş ve çalışmada kullanılan yöntemler ile proses işleyişini aksatabilecek sorunların uygulamalı çözümleri aktarılmıştır. SKSO yönteminde reaktör sıcaklığının, organik kirletici derişimlerinin, oksidan derişimlerinin, reaktörde kalma süresinin ve sistem basıncının etkilerini bu çalışmada kullanılan atık su numuneleri için izlemek amacıyla yapılan deneylerin sonuçları değerlendirilmiştir (Söğüt, 2011).

Civan tez çalışmasında, çöp sızıntı suyunun süperkritik su ortamında Ni/Al₂O₃ katalizörü kullanılarak oksidasyonla arıtımı gerçekleştirmiştir. Deneyler sürekli akışlı reaktörde yapılmış ve oksijen kaynağı olarak hidrojen peroksit kullanılmıştır. Sıcaklık, basınç, H₂O₂ konsantrasyonu ve reaksiyon süresinin arıtım verimine etkisi incelenmiş ve maksimum seviyede arıtımın elde edildiği çalışma koşulları tespit edilmiştir (Civan, 2014).

Arslan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, süperkritik su ortamında peynir altı atık suyunun oksitleyici madde olarak H₂O₂ kullanarak arıtılması gerçekleştirilmiştir. SKSO yöntemiyle çok kısa reaksiyon sürelerinde (6–21 s) Toplam Organik Karbon (TOC) temelinde % 99.78 'e varan arıtım verimleri elde edilmiştir. Deneysel verilerden yola çıkarak oksidasyon reaksiyonunun, reaksiyon sıcaklığı, atık su ve oksitleyici konsantrasyonuna bağlı kinetik modeli önerilmiştir (Arslan ve ark., 2015).

García-Jarana ve arkadaşları, çoklu oksidan enjeksiyonlu SKSO işlemi, aynı miktarda oksidan beslemenin iki nokta arasında ayrıldığı sürekli bir akış sistemi üzerinde incelenmiştir. Reaktörün girişine ilk enjeksiyon ve ikinci bir enjeksiyon da reaktör boyunca üç farklı pozisyonda konumlandırılmıştır. Aynı çalışma koşullarında, bu çok enjeksiyonlu konfigürasyon, tek bir oksidan girişi ile elde edilenlere kıyasla avantajlar sunmuştur. Dahası, bir SKSO reaktöründeki oksidan dozu, enerji yönetiminde anahtar bir unsur olduğu anlaşılmıştır (García-Jarana ve ark., 2012).

Khansari ve arkadaşları yaptıkları derlemede, ISC (yerinde yanma) bazlı geliştirilmiş ağır yağ geri kazanımı karmaşıklığını, aynı anda gerçekleşen çok sayıda kimyasal reaksiyon olduğunu belirtmiştir. ISC içinde gerçekleşen dört ana reaksiyon sınıfının bulunduğu bilinmektedir: LTO (düşük sıcaklık oksidasyonu), HTO (yüksek sıcaklık oksidasyonu), TC (termal kırma) ve akuatermolizdir. Haznedeki ISC sırasında LTO ve TC reaksiyonları HTO 'ya yakıt sağlayarak önemli bir rol oynamaktadır. Literatürdeki birçok reaksiyon şemasında LTO aralığı, tek bir sıcaklık aralığını kapsayan tek bir reaktif bölge olarak düşünülür. Bu çalışmada LTO reaksiyon sıcaklık aralığının her biri kendi dominant reaksiyon ürünleri ile dört sıcaklık alt aralığına ayrıldığı önceden yayınlanmış termogravimetrik verilerin analizine dayanan yeni bir reaksiyon şeması önerilmiştir (Khansari ve ark., 2014).

Calzavara ve arkadaşları geliştirdikleri sistemde, prosesin iyi bilinen iki problemlerinden korozyon ve tuz tıkanmasının üstesinden gelmek için SKSO yöntemine özgü yeni bir reaktör geliştirmiştir. Bu reaktör hem korozyonu önleyen çift katman titanyuma, hem de inorganik bileşiklerin sedimantasyonunu (çökeltme) önleyen ve daha iyi ısı transferleri sağlayan türbülanslı akış oluşturan bir karıştırıcıya sahiptir (Calzavara ve ark., 2004).

Chen ve arkadaşları, SKSO teknolojisinin sanayileşmesi için önündeki en büyük engel olarak korozyon ve tıkanma; çoğunlukla ön ısıtıcı, reaktör, ısı eşanjörü ve soğutucu dahil olmak üzere yüksek basınçlı yüksek sıcaklıktaki (HPHT) bölümlerde meydana geldiğini belirtmiştir. Bu makalede, dinamik gaz sızdırmaz duvar tipi reaktöre (DGSWR) dayanan bir laboratuvar ölçekli SKSO sistemi ayrıntılı olarak tanımlanmış, test edilmiş ve tartışılmıştır. Sonuçlar, yüksek katı içeriğe sahip atıkların ön ısıtma problemlerinin çözüldüğünü ve DGSWR'nin "gaz sızdırmazlığı" nın 28-29 MPa ve yaklaşık 400 °C 'de başarıyla doğrulandığını göstermiştir (Chen ve ark., 2015).

Xu ve arkadaşları yaptıkları araştırmada, reaktörün tıkanmasının ve korozyonun SKSO yönteminin ticari uygulamalarını engelleyen başlıca problemler olduğunu ifade etmiştir. Bu sorunun, reaktörün iç yüzeyindeki tuz birikiminin önlenmesiyle verimli bir şekilde aşılabildiğini belirtmiştir. Bu çalışmada, tuz birikiminin neden olduğu sorunlar ve buna bağlı ana çözümler nesnel olarak ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Yeni reaktör, kanalizasyon çamuru arıtımı için yaklaşık 100 L/h'lik bir besleme hızı ile tasarlanmış ve

üretimiştir. Modar reaktör ve geçişli duvar reaktörünün karakteristik birleşimi olan ilk reaktör, tıkanma ve korozyonu önlemenin yanı sıra katalizör deaktivasyon oranını düşürmesi beklenmektedir. Bu kapsamda geliştirdikleri reaktör tipini ortaya koymuşlardır (Xu ve ark., 2010).

Pereda ve arkadaşları araştırmasında, çalışma kriterlerinin süperkritik reaktörlerin performansındaki etkisini anlama ve süreç çıktılarının kontrolünde son on yılda yapılan ilerlemeleri özetlemektedir. Çalışma, heterojen katalizli ve katalitik olmayan süperkritik reaksiyonları kapsar ve reaktifleri ve ürünleri homojen bir fazda tutma problemini çözmek için uygulanan deneysel ve modelleme araçlarını göstermiştir (Pereda ve ark., 2009).

Lee ve arkadaşları çalışmasında, SKSO yöntemiyle halojenli organik bileşikleri ayrıştıran anti-korozif bir reaktör incelemiştir. SKSO reaktörünün iki farklı tipi kullanılmıştır: gözeneksiz seramik tüplü yüzen tip reaktör ve gözenekli seramik tüplü geçirgen duvar tipli reaktör. Reaktör konfigürasyonları, bir SKSO sistemini korozyondan korumak için, halojenli hidrokarbon oksidasyonu ve kirleticiden ve nötrale edici maddenin tuz oluşumundan dolayı değerlendirilmiştir (Lee ve ark., 2005).

Cocero ve arkadaşları yaptıkları tasarımda, endüstriyel gereklilikler altında etkili bir şekilde çalışabilen bir SKSO reaktörünün yenilikçi tasarımı ve modellenmesini sunmuştur. Soğuk duvar reaktörü, reaksiyonun meydana geldiği bir reaksiyon odasına ve oksidan atmosferi olmayan, basıncı destekleyen bir basınç kabına sahiptir. Basıncı besleme akışı aşağıya akar ve reaksiyon odasını soğutur, böylece 400 °C basınçlı kapların sıcaklıkları için 800 °C 'ye kadar reaktör sıcaklıklarına çıkabilmektedir. Önerilen tasarım, organik kirleticilerin bozunması için olağanüstü sonuçlar ile pilot ölçekte test edilmiştir (Cocero ve ark., 2004).

Xu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, SKSO yönteminde korozyon, tıkanma ve yüksek işletme maliyeti ile ilgili mevcut problemler ve bunlarla ilgili çözümleri sistematik bir şekilde ortaya koymuştur. Pilot ölçekli tesisin detaylı sistem bileşenleri, belirgin özellikleri, gelişmiş kontrol yöntemleri ve birincil deney sonuçları objektif olarak açıklanmaktadır. Dahası, yakma ile basit bir ekonomik karşılaştırma yapılmakta ve daha sonra, işletmenin ticari uygulamasını daha da ilerletmek için derinlemesine

çalışmalar önerilmektedir. Bu bilgi kanalizasyon çamuru veya diğer organik atık suyun atılması için SCWO tesisinin tasarlanması ve inşa edilmesi için yararlı olabilecektir (Xu ve ark., 2012).

Asselin ve arkadaşları deneysel çalışmalarında, UNS N06625 (alaşım 625), UNS S31609 (alaşım 316 L), Ni-20Cr alaşımı ve Nb plakalarının, SKSO koşullarında oksijenlenmiş amonyaklı sülfat solüsyonuna maruz bırakıldığı daldırma testlerinin sonuçları sunmuştur. Alaşım 316 L (UNS S31603) SKSO reaktör borularının korozyon davranışı aynı koşullar altında sunulmaktadır. Reaktör borusu korozyona uğramış olarak kabul edilip, reaktörün uzunluğuna bağlı olarak 160-1500 mm/yıl arasındaki bir oranda aşınırken, daldırma plakaları 40 mm/yılı aşmayan bir oranda aşınmıştır. Plaka numunelerinde mevcut olan oksitlerin morfolojik ve kimyasal analizi, ilk önce paslanmaz alaşım 316 tüp yüzeyi üzerinde çökelen demir oksitlerin, ısı akışı tahrikli akışkan mekanik hareketi ile çıkarıldığını ve plakaların üzerine çöktükleri reaktörden taşınan bir oksidasyon olduğunu düşündürmektedir (Asselin ve ark., 2010).

Zhang ve arkadaşları, petrol geri kazanımını arttırmak için SKSO metoduyla çoklu termal akışkanların üretilmesi için yeni bir prosedür önermiştir. SKSO için iç ön ısıtmalı geçirgen duvar tipi reaktör, ön ısıtma bölümünün tıkanmasını önlemek için tasarlanmış ve test edilmiştir. Beslemeyi reaksiyon sıcaklığına önceden ısıtmak için yardımcı ısı kaynağı olarak sıcak su (400-600 °C) kullanılmıştır. Farklı işletme parametrelerinin iç ön ısıtma geçirgen duvarlı reaktörün performansı üzerindeki etkisi araştırılmış ve optimize edilmiştir (Zhang ve ark., 2014).

Azadia ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, süperkritik su (SKS) reaktörlerinde reaktör verimliliği ve ürün dağılımı, bu reaktörlerin ısıtma bölümünün tasarımından büyük ölçüde etkilendiğini göstermiştir. Bununla birlikte, bu tür sistemlerde ısı transfer oranını tahmin etmek için çok az deneysel veya teorik çalışma mevcuttur. Bu çalışmada, boru tipi SKS reaktörlerinde ısı transferinin CFD modellenmesi yapılmıştır. Çeşitli işletme parametrelerinin etkileri; yani reaktör sıcaklığı ve basıncı, akış oranı, reaktör çapı ve harici ısıtma mekanizması, ısıtma zamanı sabiti, reaktör boyunca sıcaklık profili ve reaktör kalış süresi üzerinde araştırılmıştır. Sayısal simülasyonlara dayanarak, ısıtma zaman sabitinin reaktör çalışma koşullarının bir fonksiyonu olarak tahmin edilmesi için yarı teorik bir model önerilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, sürekli SKS reaktörlerinin

tasarımında ve bu tür sistemlerden elde edilen deneysel verilerin analizi için yararlı bilgiler sağlamaktadır (Azadi ve ark., 2011).

Sarradea ve arkadaşları deneysel çalışmada, süperkritik akışkan ne olursa olsun yapısal materyallerin performansı endüstriyel uygulamalarda kilit bir konudur. Paslanmaz çelikler ve nikel bazlı alaşımlar da dahil olmak üzere çelikler, süperkritik ortamlarda araştırılan ana alaşımlardır. SKS yoğunluğunun korozyon mekanizmalarını nasıl değiştirdiğini vurgulamaktadır. Yoğunluğun yanı sıra, sıcaklık ve kirlilikler (özellikle klor) kilit rol oynamaktadır. Sıcaklık, su ve kirleticiler, üniform veya lokalize korozyon oranlarını arttıran en önemli faktörlerdir (Sarradea ve ark., 2017).

Fauvel ve arkadaşları geliştirdikleri tasarımda, tuz birikimini ve korozyonu minimize etmek için içte gözenekli bir tüp olan çift duvarlı reaktör kullanmışlardır. İçteki seramik tüpün termal değişimlere duyarlılığından dolayı güvenilirliği basınç düşüşü bir ölçü olarak kontrol edilmiştir. Ekzotermik reaksiyonlarda meydana gelen termal değişimlerde bu boru tuz çökmesini azaltmada ve korozyonun engellenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Alifatik nitro bileşiklerin CO_2 , N_2 , H_2O gibi basit bileşiklere dönüştürülmesinde en çok tercih edilen yöntem bu bileşiklerin süperkritik suda parçalanmasıdır. Süperkritik akışkanlarda birçok özellikte meydana gelen kimyasal reaksiyonlar basınç ve yoğunluğa bağlıdır. Bu etki süperkritik çözücüler kullanılarak geliştirilen teknolojilerde önemlidir (Fauvel ve ark., 2004).

Anikeev ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, seçilen nitro bileşiklerin RNO_2 (nitrometan, nitroetan ve 1-nitropropan) süperkritik suda parçalanmasını incelemiştir. Çalışmada kullanılan her üç bileşiğin parçalanmasında SKS yoğunluğu ile H_3O konsantrasyonunun yoğunluğuyla aralarında bir korelasyon olduğu görülmüştür. Alifatik nitro bileşiklerin oksidasyon hızları karbon sayılarının artması ile artarken, SKS'de parçalanma hızının karbon atom sayıları arttıkça düştüğü görülmüştür. Nitro bileşiklerin parçalanmasından elde edilen deneysel veriler, birinci mertebeden reaksiyon kabul edilerek hesaplanan görünen hız sabitlerinin, sabit sıcaklıkta artan basınçla arttığını göstermektedir (Anikeev ve ark., 2005).

Serikawa yaptığı deneysel çalışmada, 4800 ml'lik reaksiyon kulesine, uygun yerlere safirden pencereler koyarak 25 MPa basınçta süperkritik suda hidrotermal alevlenmeyi incelemiştir. Reaktörde hacimsel olarak %2'den fazla organik giriş

konsantrasyonu ve hava oranı 1.8'den fazla olduğu zaman 2-propanol'ün oksidasyonunda aşağı akışlı hidrotermal alevlenme olduğu grlmştir. Çalışmada %99.9 TOC giderim verimi elde edilirken, bu reaktör tasarımı ve 1 dakika reaksiyon sresinde, dioksinler %99.9 gibi yüksek bir oranda bileşenlerine ayrılmıştır (Serikawa, 2002).

şentürk yaptığı tez çalışmasında, sıvı deterjan üretimi yapan bir fabrikadan alınan deterjan atık suyunun süperkritik su ortamında arıtımı gerçekleştirilmiştir. Oksitleyici olarak Hidrojen Peroksit (H_2O_2) zeltisi kullanılan deneyler sürekli akışlı boru tipi reaktörde yapılmıştır. Sıcaklık, reaksiyon süresi, basınç ve H_2O_2 konsantrasyonu değişimlerinin arıtım verimi üzerine etkisi incelenmiş ve en yüksek arıtımın elde edildiği çalışma koşulları belirlenmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde; reaksiyon süresi, sıcaklık ve O_2 konsantrasyonu arttığında arıtım verimlerinin de arttığı, reaksiyon basıncının artmasıyla ise arıtım veriminin düştüğü tespit edilmiştir (şentürk, 2015).

Farklı SKSO cihazlarından elde edilen sonuçların verildiği bu kaynak araştırmasında ayrıştırma süreçleri değişik şekillerde ve farklı cihazlar kullanılarak modellenmiş olup, yapılan tez çalışmasındaki çıkan tasarımın bu çalışmalardan farklılıklar oluşturması planlanmıştır.

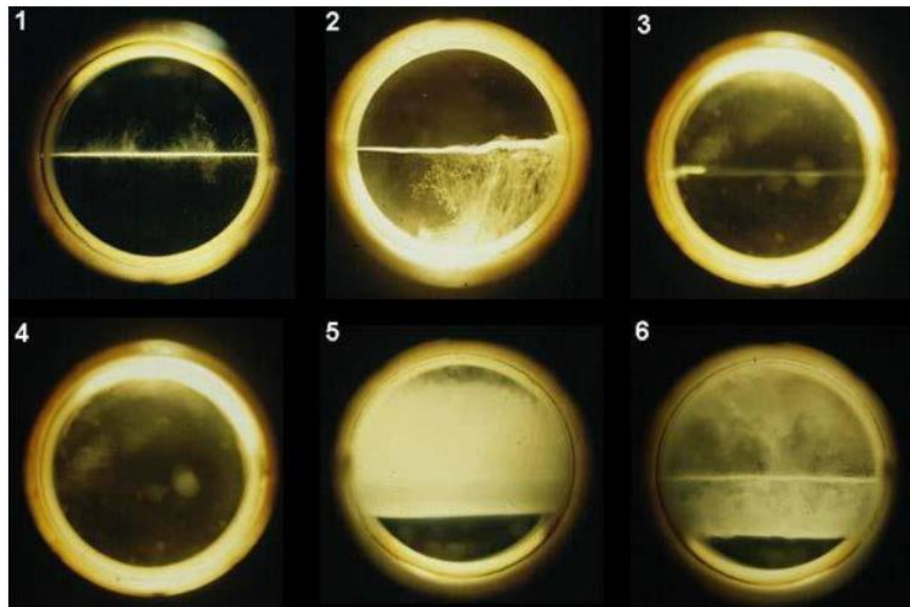
Yapılan çalışmalara benzer olarak, boru tipi reaktör kullanılmıştır. Bu reaktör tipinde başlıca görülen korozyon ve tıkanma sorunu mevcuttur. Korozyon oluşumu uzun süreçler gerektirdiği için performans analizinde diğer çalışmalardan farklı olarak, tıkanma sorunu ile ilgili malzeme üzerindeki birikimden dolayı oluşan ağırlık artışları incelenmiştir.

Sonuç olarak, 300 Bar basınç ve 500 °C sıcaklık kapasitesine sahip bir cihaz üretilerek, reaktör malzemesi olarak 304 ve 316 kalite paslanmaz elik malzemelerinin performans analizinin yapıldığı bu tez çalışması ortaya koyulmuştur.

3. SÜPERKRİTİK AKIŞKAN

3.1. Süperkritik Akışkan

Süperkritik akışkanlar sıcaklık ve basınçları, kritik noktaları üzerinde olan gaz ve sıvılardır (kritik sıcaklık T_c , kritik basınç P_c). Kritik nokta, bir maddenin sıvı ve buharının denge halinde bulunabildiği en yüksek sıcaklık ve basınç değerlerini ifade eder. Kritik noktanın üzerindeki sıcaklık ve basınçta bulunan madde, süperkritik akışkan olarak adlandırılır. Kritik sıcaklığın üzerinde sıvı veya gaz olmayan üniform tek bir faz mevcuttur. Kritik sıcaklığın altında ise yoğunlaşma ile sıvı faz ya da buharlaşma ile gaz faz mevcuttur. Kritik noktada akışkanın sıkıştırılabilirliği sonsuza gider (Erkonak, 2007).



Şekil 3.1. 1- İki ayrı faz, 2- Sıvı faz genişliyor, 3- Faz ayrımı belirsizleşiyor 4- Süperkritik faz 5- Faz ayrımı belirginleşiyor 6- Sıvı gaz ayrımı oluşuyor (Civan, 2014)

Şekil 3.1’de bir akışkanın süperkritik faza geçişini ve sonrasında soğutularak sıvı ve gaz faza geçişleri gösterilmektedir.

3.1.1. Süperkritik akışkanların kullanım alanları

Süperkritik akışkan günümüzde birçok sektörde kullanılmaktadır. Farklı sektörlerde kullanılan uygulamalar aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

3.1.1.1. Gıda sektörü

Süperkritik akışkan metodu gıda sektöründe; kahve ve çaydan kafeinin giderilmesi, baharat konsantrelerinin hazırlanması, yağlı çekirdeklerden yağ ekstraksiyonu, aroma ekstraktlarının hazırlanması, kolesterolün uzaklaştırılması, tütünden nikotin ve katranın uzaklaştırılması, narenciye sularının acılığının giderilmesi, yağ ve aromaların fraksiyonlanması, şerbetçi otu ekstraktı eldesi, tütün hücrelerinin geliştirilmesi, reçel sterilizasyonu gibi birçok işlem için kullanılmaktadır.

3.1.1.2. Koku, esans ve kozmetik sektörü

Süperkritik akışkan metodu koku, esans ve kozmetik sektöründe; esansiyel yağların ekstraksiyonu, doğal esans ve aromaların hazırlanması, ağır yağların fraksiyonlanması, ayrılması, renk ve tat maddelerinin ekstraksiyonu gibi birçok işlem için kullanılmaktadır.

3.1.1.3. Eczacılık sektörü

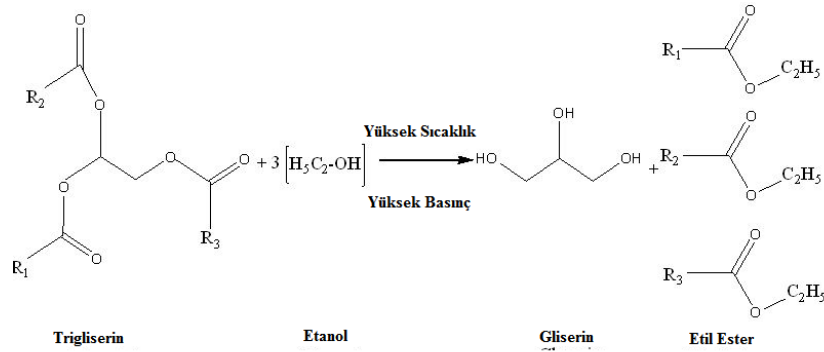
Süperkritik akışkan metodu eczacılık sektöründe; bitkilerden aktif maddelerin ekstraksiyonu, biyoteknolojiye dayalı karışımların fraksiyonlanması, yüksek molekül ağırlıklı ilaçların fraksiyonlanması, etki süresi uzun ilaç üretimi, ilaç sanayiye yönelik katı partiküllerin, kristallerin ve kapsüllerin üretimi, tanecik tasarımı, yüksek basınç mikronizasyonu ve püskürtmeli kurutma (toz halinde aktif madde üretimi), kristalizasyon (kaplama), yüksek basınç sterilizasyonu gibi birçok işlem için kullanılmaktadır.

3.1.1.4. Hidrokarbon prosesleri sektörü

Süperkritik akışkan metodu hidrokarbon prosesleri sektöründe; kömür sıvılaştırma, kömürden gazlaşabilir maddelerin ve yağların ekstraksiyonu, yağlardan asfaltın uzaklaştırılması, kalıntı ekstraksiyonu, katranlı kumlardan yağların ekstraksiyonu, jeolojik oluşumlardan yağ ve gaz oluşumu gibi birçok işlem için kullanılmaktadır.

3.1.1.5. Kimyasal işlemler sektörü

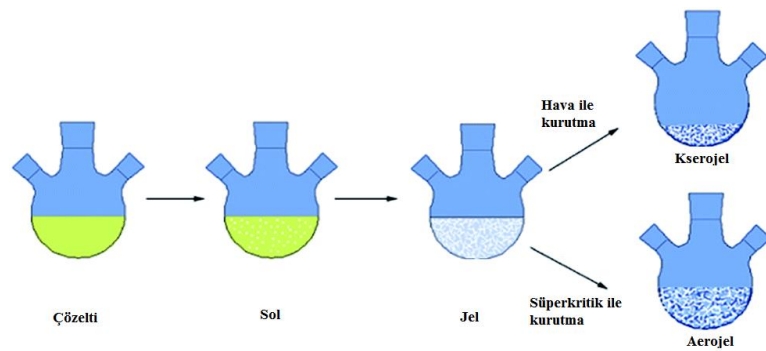
Süperkritik akışkan metodu kimyasal işlemler sektöründe; düşük buhar basınçlı yağların fraksiyonlanması veya saflaştırılması, seramik işleme, yapay yarı iletken elmas eldesi, gözenekli maddeler ve katalizör hazırlanması, aero ve silika jellerin hazırlanması, kurutulması, polar ve polar olmayan bileşenlerin ayrılması gibi birçok işlem için kullanılmaktadır. Şekil 3.2’de örnek bir ayrışma verilmiştir.



Şekil 3.2. Kimyasal proseslerde süperkritik oksidasyon ile gliserin ve etil ester eldesi (Reddy, 2015)

3.1.1.6. Malzeme sektörü

Süperkritik akışkan metodu malzeme sektöründe; implant malzemelerin tasarımı, mikro ve nano boyutta taneciklerin tasarımı, arojel eldesi (Şekil 3.3), otofretaj (yüksek basınç dizel yakıt enjeksiyonu borularının işlenmesi), su jetiyle kesme/temizleme gibi birçok işlem için kullanılmaktadır.



Şekil 3.3. Süperkritik kurutma yöntemi ile arojel eldesi (Zhang, 2014)

3.1.1.7. Polimer sektörü

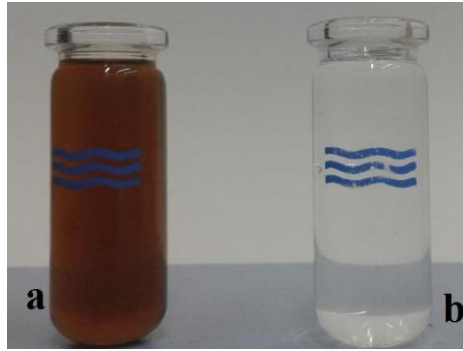
Süperkritik akışkan metodu polimer sektöründe; polimerizasyon, polimerik köpüklerin üretimi, polimer aşılama, polimerlerin fraksiyonlanması, atık selüloz ve polimer işleme, kaplama, polimer işleme gibi birçok işlem için kullanılmaktadır.

3.1.1.8. Analitik araştırma sektörü

Süperkritik akışkan metodu analitik kullanım sektöründe; süperkritik akışkan kromatografisi gibi işlemler için kullanılmaktadır.

3.1.1.9. Çevre sektörü

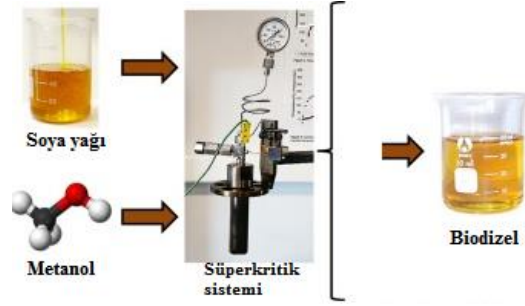
Süperkritik akışkan metodu çevre sektöründe; sulu çözeltilerden organik atıkların uzaklaştırılması, atık suların arıtılması, proses akımlarından toksik malzemelerin uzaklaştırılması, topraktan ağır metallerin uzaklaştırılması gibi birçok işlem için kullanılmaktadır. Şekil 3.4'te kirli su arıtmanın ilk hali ve son hali verilmiştir.



Şekil 3.4. Süperkritik atıksu arıtma öncesi (a), sonrası (b) (Civan. 2014)

3.1.1.10. Reaksiyon uygulamaları

Süperkritik akışkan metodu reaksiyon sektöründe; transesterifikasyon reaksiyonları ve biyodizel üretimi (Şekil 3.5), biyoreaksiyonlar, Fischer-Tropsch sentezi, hidroformülasyon reaksiyonları, alkilleme reaksiyonları, oksidasyon reaksiyonları, hidrojenasyon reaksiyonları gibi birçok işlem için kullanılmaktadır.



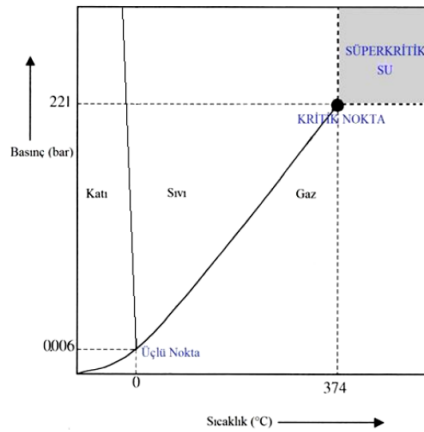
Şekil 3.5. Süperkritik yöntemle biodizel üretimi (Palacios-Nereo, 2016)

3.1.1.11. Yüzey işlemleri sektörü

Süperkritik akışkan metodu yüzey işlemleri sektöründe; tekstil boyama işlemleri (polietilen elyafları), tekstil temizleme ve kuru temizleme gibi birçok işlem için kullanılmaktadır.

3.2. Süperkritik Su Oksidasyonu

Doğadaki en önemli çözücü olan suyun, süperkritik koşullarda reaksiyon çözücüsü olarak çok ilginç özellikleri vardır. Suyun kritik sıcaklık ve kritik basınç değerleri sırasıyla 374.8 °C ve 221.3 Bar'dır (Şekil 3.6). Özellikleri, benzer bir polar sıvıdan hemen hemen apolar bir akışkana doğru değişir. Bu değişim, oldukça geniş bir sıcaklık aralığında gerçekleşir. Kritik noktadan daha yüksek sıcaklıklarda beklenildiğinden daha asidik olur ve difüzyon hızı artar.



Şekil 3.6. Saf suyun faz diyagramı (Sögüt, 2011)

Normal ve süperkritik fazdaki suyun özellikleri birbirinden farklılıklar göstermektedir. Çizelge 3.1’de normal ve süperkritik şartlardaki suyun özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Suyun normal ve süperkritik şart özellikleri

Özellik	Normal Şartlar	Süperkritik Akışkan
Sıcaklık (°C)	25	400-500
Basınç (MPa)	0.1	25-25
Yoğunluk (kgm ⁻³)	1	0.17-0.078
Statik dielektrik sabiti	78.5	5.9-1.46
pK _w	14	19,4-23
Dinamik viskozite (kgm ⁻¹ s ⁻¹)	89*10 ⁻⁵	3*10 ⁻⁵ -3*10 ⁻⁵

Ayrıca, süperkritik fazın fiziksel özellikleri diğer fazlardan farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Gaz, sıvı ve süperkritik akışkanların fiziksel özellikleri

Özellik	Gaz	Süperkritik akışkan		Sıvı
	P=0.1 MPa T=15-30 °C	T _c P _c	T _c 4P _c	P=0.1 MPa T=15-30 °C
Yoğunluk (g/cm ³)	0.0006-0.002	0.2-0.5	0.4-0.9	0.6-1.6
Difüzyon katsayısı (cm ² /s)	0.1-4	0.7*10 ⁻³	0.2*10 ⁻³	(0.2-2)*10 ⁻⁵
Viskozite (cP)	0.01-0.03	0.01-0.03	0.03-0.09	0.2-0.3

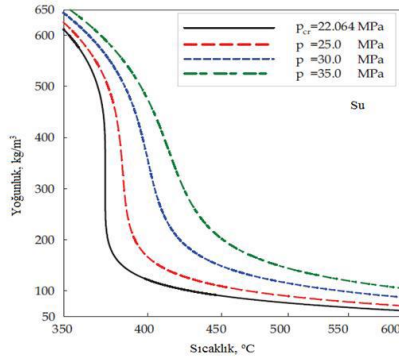
Su ile yüksek sıcaklıklarda çalışılıyor olması, ısıl reaksiyon hızını artırır, bu da reaktördeki karıştırma hızını artırarak organik maddelerin iyi çözünmesini, oksijenle hızlı reaksiyona girilmesini ve tuzların çöktürülmesini sağlar. Bu nedenle süperkritik su, çözünürlüğe dayalı bir kontrol mekanizması, düşük viskozite ve yüksek difüzyon yeteneğine dayalı mükemmel taşınım özellikleri ve hidroliz veya kısmi oksidasyon için yeni reaksiyon imkânları sunan bir çözücüdür. Süperkritik su ile ilgili uygulamalara bakıldığında çalışmaların daha çok;

- Atık sulardan kirletici unsurların uzaklaştırılması,
- Kömür ve ham petrolün dekompozisyonu,
- Atık plastiklerin geri kazanımı ve dekompozisyonu,
- Evsel atık suların dekompozisyonu,

alt başlıkları altında incelenmesi mümkündür (Akgün ve Söğüt, 2008).

3.2.1. Süperkritik Suyun Yoğunluğu

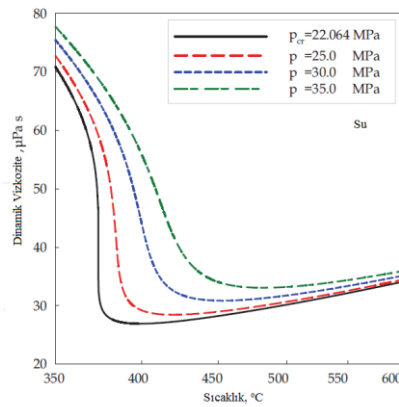
Sabit basınçta artan sıcaklığa bağlı olarak, suyun yoğunluğu azalmaktadır (Şekil 3.7). Örneğin 25 MPa basınç altında 100°C sıcaklıktaki suyun yoğunluğu 970 kg/m³, 300°C sıcaklıktaki suyun yoğunluğu ise 740 kg/m³'tür. Ortam basıncının artması ise su yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır. 300°C'deki suyun basıncı 50 MPa basınca çıkartıldığında, yoğunluğu da 770 kg/m³'e yükselmektedir.



Şekil 3.7. Süperkritik suyun sıcaklık – yoğunluk grafiği

3.2.2. Süperkritik Suyun Viskozitesi ve Difüzyivitesi

Süperkritik su, yüksek sıcaklıklarda taneciklerin hızlı hareket etmelerinden dolayı, düşük viskozite değerlerine sahiptir. Standart koşullardaki suyun viskozitesi 1,002 cP iken, bu değer 400°C ve 25 MPa koşullarındaki suda 0,03 cP değerine inmektedir. 25 MPa basınç altındaki suyun viskozitesinin sıcaklık ile değişimi Şekil 3.8'de gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Değişik basınçlarda suyun dinamik viskozitesinin sıcaklıkla değişimi

Süperkritik koşullarda suyun viskozitesinin azalması, aynı zamanda difüzyon hızının da artması anlamına gelmektedir. Kritik noktadaki suyun difüzyon hızı, standart koşullardaki suyun yaklaşık olarak yirmi dört katıdır. Difüzyon hızının artması ve viskozitenin azalması sayesinde, taneciklerin yer değiştirmeleri ve çarpışmaları sonucu reaksiyona girmeleri çok daha kolay olmaktadır. Böylelikle süperkritik su hızlı ve verimli yüksek reaksiyonların gerçekleştiği homojen bir ortam haline gelmektedir. Kütle aktarım kısıtlamalarının olmaması, katalitik reaksiyonların daha verimli gerçekleşmesi için uygun koşulları sağlamaktadır.

3.3. Çalışmanın Amacı, Kapsamı ve Önemi

Tez çalışmasında, süperkritik şartlarda atıksu arıtımı yapan laboratuvar tipi bir cihaz tasarımı, üretimi ve performans analizi yapmak amaçlanmıştır. Bu kapsamda yapılan cihazın reaktör malzemesi ile ilgili deneyler yapılmıştır. Reaktör malzemesi olarak tercih edilen iki farklı malzeme, deneyler sonucunda analiz edilerek performansları karşılaştırılmıştır. Reaktör kısmında reaksiyonlar sonucu korozyon ve malzeme birikimi sonucu reaktörün tıkanması gibi ciddi sorunlar oluşmaktadır. Korozyon sorunu tespiti uzun çalışmalar sonucu somut bir sonuç verdiğinden, korozyon ile ilgili analiz sonuçlarına değinilmemiştir. Bu yüzden malzeme birikim sorunu ele alınarak, deneylerde ağırlık artışına bağlı performans analizi yapılmıştır.

Yapılan çalışma, atıksu arıtma yöntemi olarak, günümüz şartlarında yüksek maliyetler yüzünden endüstriyel boyutta tercih edilmemektedir. Fakat ilerleyen zamanlarda maliyet sorunu çözüldüğünde, bu çalışmanın ciddi katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Süperkritik Su Oksidasyon Cihazı Tasarımı

Çalışmanın ilk aşamasını oluşturan tasarım kısmında, cihazdan istenen özellikler, kullanım amacı ve kısıtlamalar belirlenmiştir. Daha sonra gerekli bilgiler toplanarak ön tasarım ve nihai tasarım aşamasına geçilmiştir.

4.1.1. Cihazın tasarım kriterleri

Üretimin ilk aşaması olan tasarımda, öncelikle tasarlanacak olan cihazın çalışma şartları ve özellikleri belirlenmiştir.

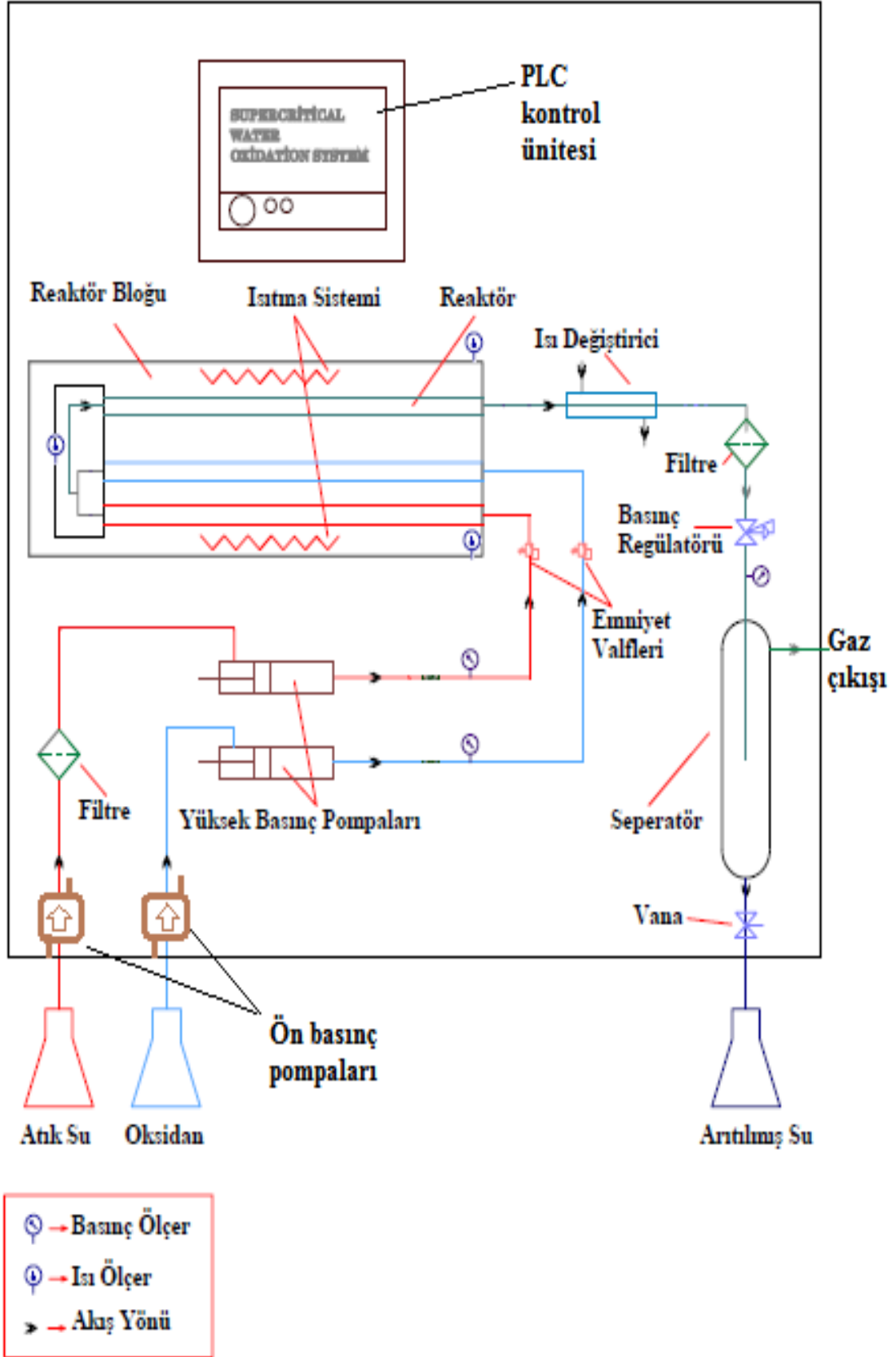
Bu cihaz, atık su arıtma amacıyla Konya Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde kullanılacaktır. Cihaz laboratuvar ölçekli olarak süperkritik su koşullarını sağlamak üzere tasarlanmıştır.

Cihazdan beklenen başlıca özellikler aşağıda verilmiştir:

- Cihaz elemanları su ortamında çalışabilecek özellikte seçilmelidir,
- Cihaz maksimum 300 Bar (30 MPa) basınca ulaşabilecek basınç sistemine sahip olmalıdır,
- Cihaz maksimum 500 °C sıcaklığa ulaşabilecek ısıtma sistemine sahip olmalıdır,
- Sıcaklığın korunmasını sağlayacak yeterli yalıtım sistemi tasarlanmalıdır,
- Sıcaklığın hassas kontrolü için gerekli elektronik sistem oluşturulmalıdır,

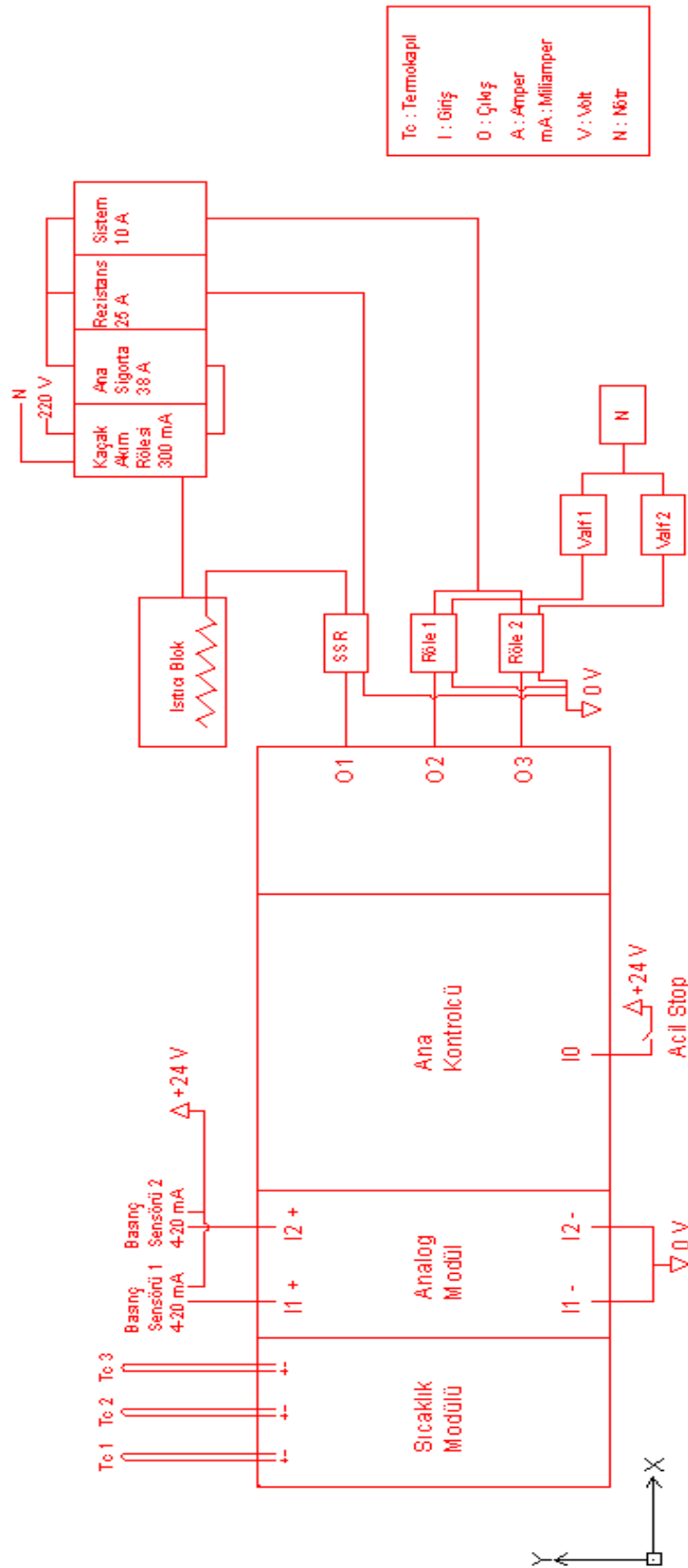
4.1.2. Cihazın kavramsal tasarımı

Cihazın proses şeması Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Sisteme ilk olarak kirli su ve oksidan beslemesi ön basınç pompalarıyla yapılmaktadır. Daha sonra, yüksek basınç pompaları istenen basınç değerine ulaşması planlanmıştır. Sistemin ısıtma kısmı da, istenilen sıcaklık değerlerine ulaşması amaçlanmıştır. İşlem gören sıvı son ayrışma kısmına gitmeden önce ısı değiştiricide sıcaklığı düşürülmektedir. Sıcaklığı düşürülen sıvının, basınç regülatörü kullanılarak basıncı düşürülüp seperatöre gönderilmiştir. Buradan gaz ve sıvı fazlar ayrıştırılarak işlem tamamlanır.



Şekil 4.1. Sistemin proses şeması

4.1.3. Cihazın elektriksel devre şeması



Şekil 4.2. Sistemin elektriksel devre şeması

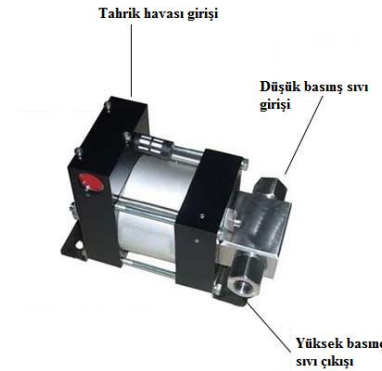
4.1.4. Cihazın ana elemanları ve çalışma prensibi

Bu bölümde cihazda kullanılan sistem elemanlarının özellikleri ve ne amaçla kullanıldıkları açıklanmıştır.

4.1.4.1. Yüksek basınç pompaları

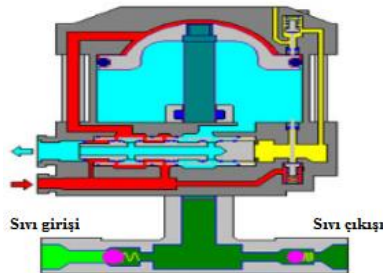
Pompalar yüksek basınç dönüşümüne sahip olarak, akışkan basıncı 300 Bar'a yükseltmeye uygun olarak seçilmiştir.

Sistemin yüksek basınç gereksinimini karşılamak için Wellness marka booster tip pompa seçilmiştir. Şekil 4.3'te resmi verilen pompa yüksek basınç dönüşümüne sahiptir. Seçilen pompa 340 Bar basınçlara kadar çıkabilmekte ve istenilen basıncı sağlamaktadır.



Şekil 4.3. Booster Pompa (Wellness Co.)

Booster çalışma mantığı, giriş ve çıkış yüzey çap farkından yararlanarak yüksek basınç dönüşümünü sağlamaktır. Şekil 4.4'te booster pompanın çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Booster pompa akış gösterimi (Wellness Co.)

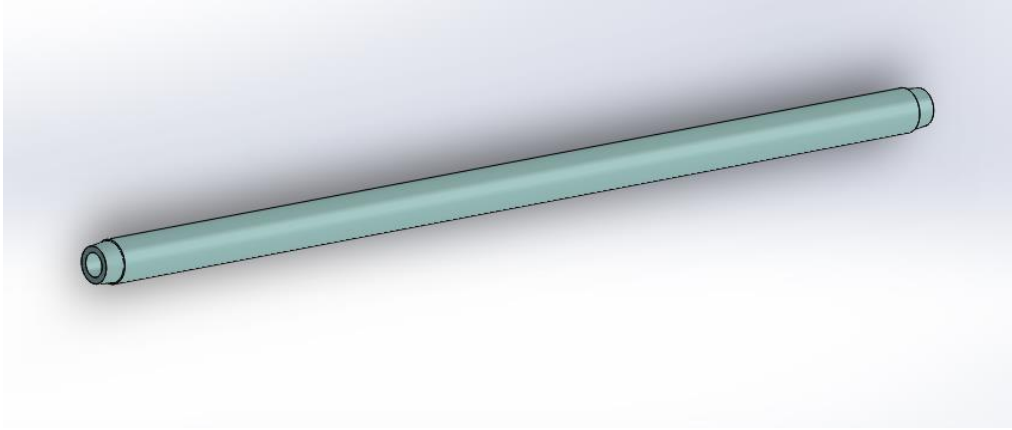
Booster pompa istenilen basınca kısa sürelerde çıkabilmekte, bu sayede işlem süresini kısaltmaktadır. Ayrıca boyutsal olarak da az yer kaplaması sebebiyle tercih edilmiştir.

4.1.4.2. Reaktör, reaktör bloğu ve ısıtıcı sistem

Reaktör bloğu, içerisinde yüksek basınç (Max: 300 Bar) ve yüksek sıcaklıkta (Max: 500 °C) reaksiyonların gerçekleştiği sistem elemanıdır. Reaktör bloğuna iki adet giriş olup (atık su ve oksidan madde), blok içerisinde bu iki hat birleştirilerek reaktöre bağlanmıştır. Reaktör çıkışı ise tek hattır.

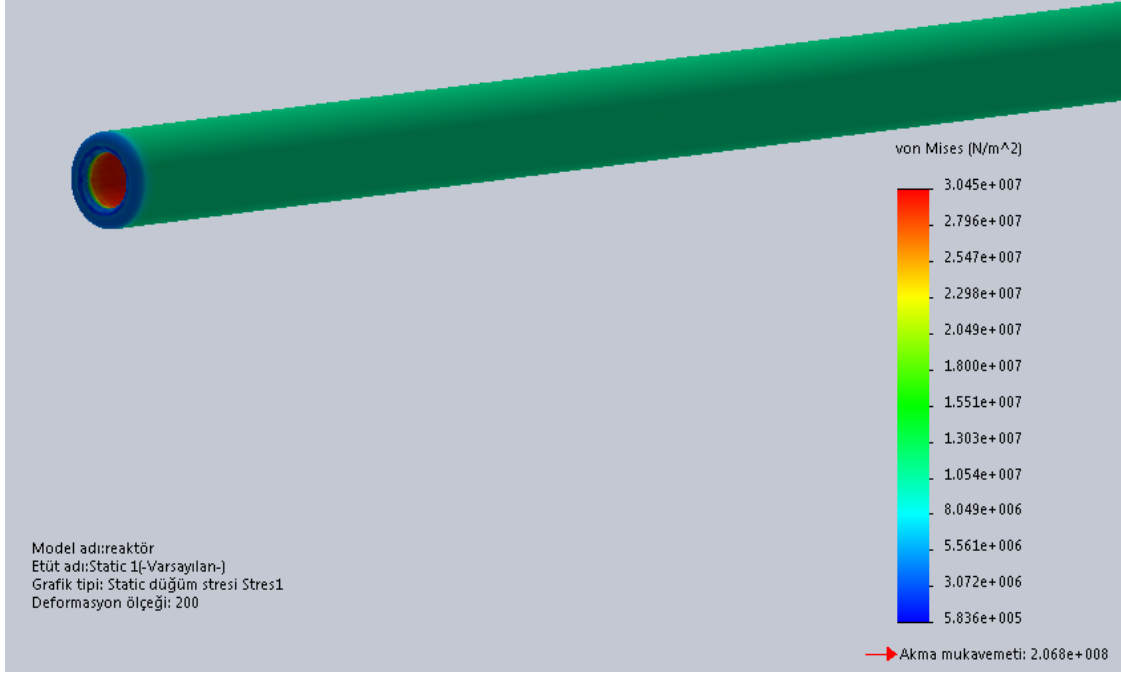
Seçilen malzeme basınç ve sıcaklık şartlarına dayanabilecek şekilde seçilmiştir. Ayrıca korozif ortam şartlarına da uygun olmalıdır. Malzeme birikiminden dolayı da, tıkanma yaşanmaması çapının geniş olması gerekmektedir.

Tüm şartları karşılayacak şekilde, paslanmaz çelik malzemeli boru tipi reaktör yapımına karar verilmiştir (Şekil 4.5). Basınç ve sıcaklık dayanımlarına firmaların tablolarından bakılarak malzeme seçimi yapılmıştır.



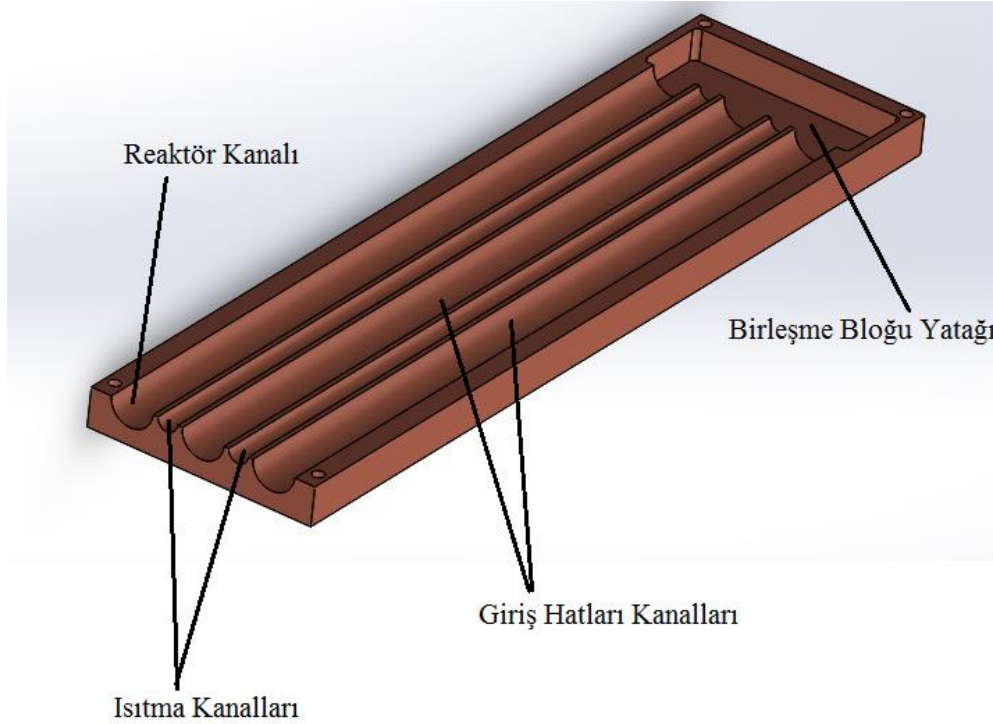
Şekil 4.5. Boru tipi reaktör

Isıtma işlemi reaktör bloğunun içinden yapılarak, hassas bir ısı dağılımı sağlanmıştır. Ayrıca reaktör bloğunun farklı bölgelerinden sensörler aracılığıyla sıcaklık ölçümü yapılarak ısıtmadaki hassasiyet kontrol altına alınmıştır.



Şekil 4.6. Boru tipi reaktör

Reaktörle ilgili yapılan sonlu elemanlar analizinde (Şekil 4.6), 300 Bar basınç ve 500 °C sıcaklık şartlarında malzemenin akma mukavemetinin altında kaldığı görülmüştür.



Şekil 4.7. Reaktör Bloğu

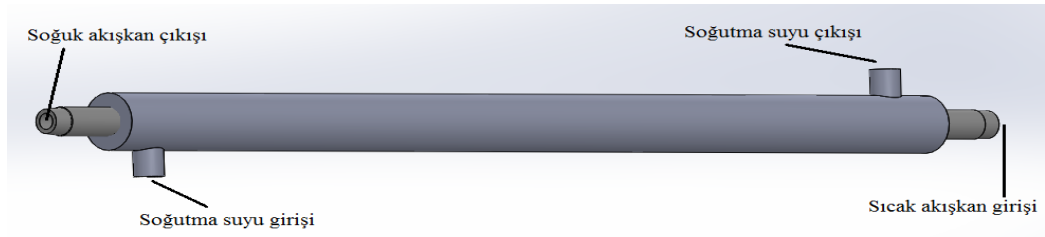
Şekil 4.7’de verilen reaktör bloğu iki parça olarak imal edilecektir. Bu sayede reaktör istenildiği zaman sökülerek temizlenebilme özelliğine sahip olacaktır. Reaktör bloğu malzemesi bakır olacaktır. Bakır malzemenin yüksek ısı iletkenliğinden yararlanılarak homojen ve hassas bir ısı iletimi sağlanması amaçlanmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Bazı metallere ait ısı iletkenlik katsayıları

Metal	Elektrik iletkenliği (mega-siemens/m)	Isı iletkenliği (W/mK)	Elektriksel direnç (nΩm)	Erime sıcaklığı (°C)
Gümüş (Ag)	63	406	16	961
Bakır (Cu)	59	385	17	1083
Altın (Au)	43	314	23	1063
Alüminyum (Al)	36	205	28	660
Tungsten (W)	18.2	180	55	3410
Çinko (Zn)	16	112	62	419
Nikel (Ni)	12.9	99	78	1455
Demir (Fe)	9.5	80	105	1539
Platinyum (Pt)	9.4	72	106	1773
Titanyum (Ti)	2.4	22	420	1668

4.1.4.3. Isı değiştirici (eşanjör)

Reaktörden yüksek basınç ve sıcaklıkta çıkan malzeme ısı değiştiriciye girmekte ve burada su kullanılarak sıcak akışkan soğutulmaktadır.



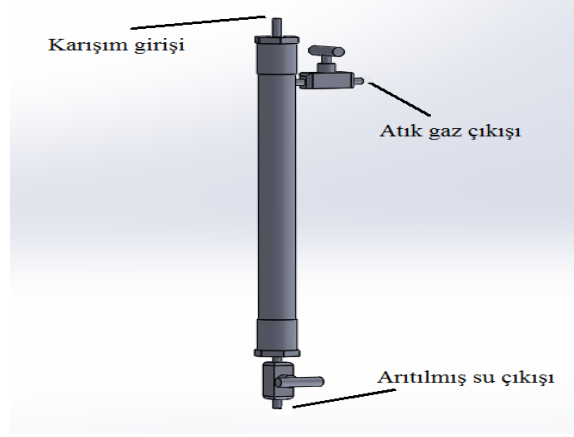
Şekil 4.8. Eşanjör tasarımı

Şekil 4.8’de verilen eşanjör karşıt akışlı olarak tasarlanmıştır. Yüksek sıcaklıkta (500 °C) eşanjöre giren akışkan, eşanjörden soğutulmuş olarak (40-50 °C) çıkacaktır. Soğutma suyu şebeke suyundan karşılanacak ve proses tamamlanıncaya kadar akış devam edecektir.

4.1.4.4. Seperatör

Basıncı ve sıcaklığı düşürülen malzeme seperatör bölümüne girerek, sıvı ve gaz fazların birbirinden ayrılması sağlanmaktadır (Şekil 4.9).

Seperatör malzemesi paslanmaz çelikten sökülebilir ve temizlenebilir bir yapıda tasarlanmıştır.



Şekil 4.9. Seperatör tasarımı

4.1.4.5. Bağlantı ve denetim elemanları

Cihazdaki elemanların birbiriyle bağlantısını sağlamak ve sistem kontrolünü sağlamak amacıyla; borular, filtreler, valfler, vanalar, basınç regülatörü, basınç ölçerler ve ısı ölçerler kullanılmıştır.

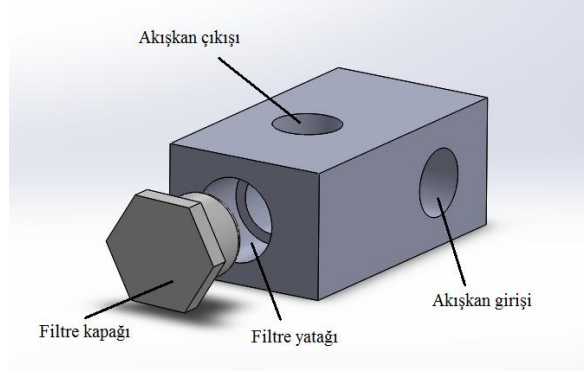
Borular sistemin iletim hattını oluşturup, gereken şartları taşıyacak şekilde hesaplanıp tedarik edilmiştir (Şekil 4.10). Boruların en az 300 Bar ve üzeri basınç dayanımı olması gerekmektedir. Ayrıca korozyona karşı dayanımlı olması için paslanmaz çelik malzemeden seçilmiştir.



Şekil 4.10. Sistemde kullanılan iletim hattı boruları

Filtreler, akışkan içindeki partikülleri tutarak sistemin tıkanmasını engellemektedir. Sistem elemanlarının da hassas çalışması gerektiği için filtrenin oldukça küçük partikül tutma kapasitesinde olması gerekmektedir.

Filtre sisteme uyumlu bir şekilde tasarlanarak üretilmiştir (Şekil 4.11). Temizlenebilir olması için de sökülebilir bir şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 4.11. Filtreleme sistemi

Emniyet valfleri, çalışma esnasında oluşabilecek yüksek basınç tehlikelerini ortadan kaldırmak için kullanılmıştır. Yüksek basınç göz önünde bulundurulduğunda emniyet valfleri son derece önemlidir. Boru çaplarına ve basınç değerlerine göre uygun olan valfler tedarik edilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Basınç emniyet valfi (Fer-ro Hidrolik)

Vanalar, seperatör gaz ve sıvı çıkışlarına konulmuştur. Gerektiğinde açıp kapatarak akış kontrol altına alınacaktır. Paslanmaz malzemeden imal edilmiş olarak seçilmiştir (Şekil 4.13).



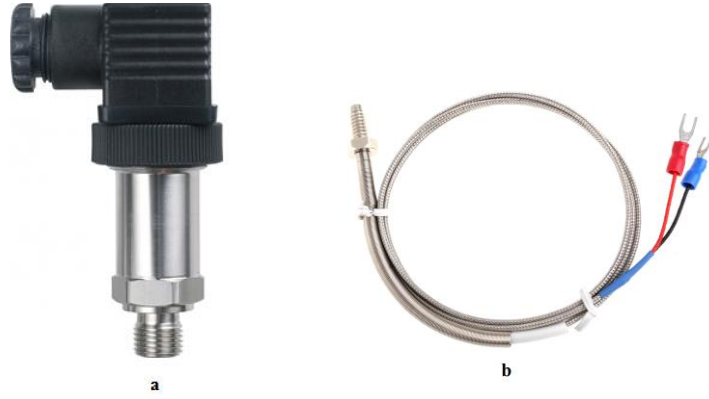
Şekil 4.13. Vana (Katalor Inc.)

Geri basınç regülatörü, yüksek basınçta gelen akışkanın basıncını düşürmede kullanılmıştır. Bu sayede sistem istenilen basınçta tutularak, değişik çalışma basınçları sağlanmıştır. Yüksek basınç (300 Bar) göz önünde bulundurularak kullanılan oksidan malzemesine dayanıklı sızdırmazlık elemanı bulunan geri basınç regülatörü temin edilmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Geri basınç regülatörü (Wofly Inc.)

Basınçölçerler ve ısıölçerler (Şekil 4.15), gereken noktalara konumlandırılarak, o noktadaki istenen değerlerin elde edilip edilmediğini kontrol etmek için kullanılmıştır.



Şekil 4.15. Basınçölçer (a-Gentek elektronik) ve ısıölçer (b-Isıso endüstriyel)

4.1.4.6. PLC (Programmable Logic Controller) kontrol ünitesi

Sistem genel olarak mekanik kontrollü olup belli kısımlar elektronik olarak kontrol edilmiştir (Şekil 4.16). Reaktör bloğu içindeki ısıtma sistemi kontrol panelinden yönetilerek hassas bir ısı kontrolü sağlanacak olup tepkime sırasında ısının sabit olması yanında dalgalanmanın da minimum seviyede olması sağlanmıştır.



Şekil 4.16. PLC kontrol ünitesi (Beijer Inc.)

4.1.5. Cihazın tasarım süreci

Cihazın son ürün haline gelmesi aşamasına kadar altı farklı cihaz tasarımı ve denemeler yapılmıştır.

1. Tasarım: Cihazın reaktör kısmının sökülüp takılabilen, sürekli akışlı ve PID kontrollü modeli,

2. Tasarım: Cihazın reaktör kısmı sabit, sürekli akışlı, PID kontrollü ve hızlı ön sıvı beslemeli modeli,
3. Tasarım: Cihazın reaktör kısmı sabit, sürekli akışlı, PID kontrollü ve yavaş ön sıvı beslemeli modeli,
4. Tasarım: Cihazın reaktör kısmı sabit, kesikli akışlı, PID kontrollü ve yavaş ön sıvı beslemeli modeli,
5. Tasarım: Cihazın reaktör kısmı sabit, kesikli akışlı, PLC kontrollü, yavaş ön sıvı beslemeli modeli,
6. Tasarım(nihai ürün): Cihazın reaktör kısmı sabit, kesikli akışlı, PLC kontrollü, yavaş ön sıvı beslemeli, reaktör kısmının temizlenmesini sağlayan ve numune koymak için açılabilir kapak sistemli modelidir.

4.1.5.1. Cihazın tasarım sürecinde yaşanan problemler ve çözümler

Tasarım ve imalat süreci boyunca birçok sorunla karşılaşılmış ve bunlar için çözümler aranmıştır.

1. tasarımda, reaktörün temizlenebilmesi için sökülüp takılabilir bir şekilde tasarlanıp imal edilmiştir (Şekil 4.17). Fakat yüksek basınç ve sıcaklıktan dolayı reaktörün montaj edildiği noktalardan kaçak oluşmuştur.



Şekil 4.17. Sökülebilir tip reaktör

Bu kaçağı önlemek amacıyla, reaktörün montaj kısmına basınç ve sıcaklığa dayanıklı sızdırmazlık elemanları takılmıştır (Şekil 4.18). Fakat istenen sızdırmazlığı sağlayamamış ve her çalışmadan sonra değiştirilmesi gerekliliğinden dolayı kullanışlı bulunmamıştır.



Şekil 4.18. Bakır sızdırmazlık elemanı

Daha sonra Şekil 4.19’da verilen yüksek sıcaklığa dayanıklı silikon kullanılarak sızdırmazlık sorunu çözülmüştür. Fakat bu silikonun kullanılması için her sökölmede tekrar yapılması gerekmekte, uzun sürede donmakta ve zamanla çalışılan numunelerin içine nüfuz etmesinden dolayı kullanışsız bulunmuştur.



Şekil 4.19. Yüksek sıcaklık silikonu (Soudal)

Son olarak reaktör sisteminin sızdırmaz kaynaklı olarak bağlantı yapılmasına karar verilmiştir. Şekil 4.20’de verilen sistem, temizlenebilirlik yönünden dezavantajlı olmasına rağmen en kullanışlı ve uygun bir yöntem olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.20. Kaynak bağlantılı reaktör

2. tasarımda, sızdırmazlık sorunu çözülmüş fakat çalışmalar sırasında reaktör içinde oluşan tepkimeler sonucu oluşan gazlaşmalardan dolayı pompalar sıvıları emmekte zorlanmıştır. Bunun için ise, pompalardan önce ön besleme pompaları (Şekil 4.21) konulmuştur.

Ön besleme sayesinde, pompalarla ilgili sorun çözülmüştür.



Şekil 4.21. Hızlı ön sıvı beslemeli pompa

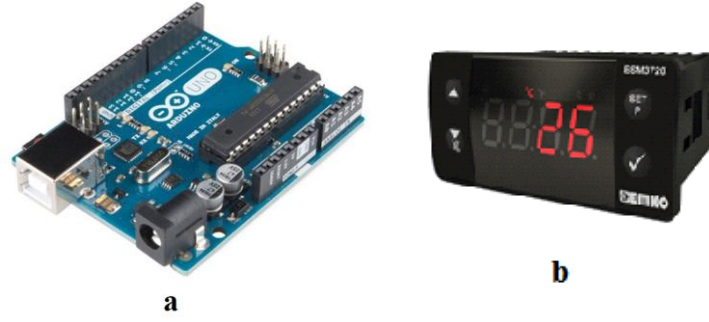
3. tasarımda, hızlı ön besleme pompaları başta emişle ilgili sorunu çözmüştür. Ancak, daha sonra pompa içinde hızlı şekilde karışan sıvılarda oluşan tepkime sonucu yüksek basınç pompaları basmakta zorluk çekmeye başlamıştır. Bu soruna çözüm olarak yavaş ön beslemeli pompa kullanılmıştır (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Yavaş ön sıvı beslemeli pompa

4. tasarımda, sistem sürekli olarak çalışmaktadır. Fakat sistemde oluşan gazlaşma tepkimelerinden dolayı sistemin dengeli çalışması ile ilgili sorun yaşanmıştır. Bu yüzden sistemden beklenen verim ve sonuçlar alınamamıştır. Bu yüzden sistemin kesikli olarak çalışmasına karar verilmiştir.

5. tasarımda, sisteminin ilk olarak PID kontrollü, bilgisayar destekli yazılım yardımıyla sağlanmıştır (Şekil 4.23). Zamanla sistem ve bilgisayar arasında bağlantı kopma sorunu ortaya çıkmıştır. Bu sorun birçok kez yazılım güncelleştirilerek çözülmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.23. Arduino (a) ile kontrol edilen PID ısı kontrolcü (b-Enda)

Daha sonra kontrol sistemi ile ilgili sorun, PLC kontrol sistemine (Şekil 4.24) geçilerek çözülmüştür. PLC sistem ile kontrolcü cihaz üzerinde entegre olduğu için bağlantı sorunu ortadan kalkmıştır.



Şekil 4.24. PLC kontrol sistemi (Beijer Inc.)

6. tasarımda ise, sistemle ilgili sorunlar çözülmüş son ürün elde edilmiştir. İlk başta karşılaşılan reaktörün sökölüp temizlenmesiyle ilgili sorun son tasarımda, reaktörün çıkış kısmına koyulan açılabilir kapaklı bir parçanın (Şekil 4.25) takılmasıyla bir miktar çözülmüştür.

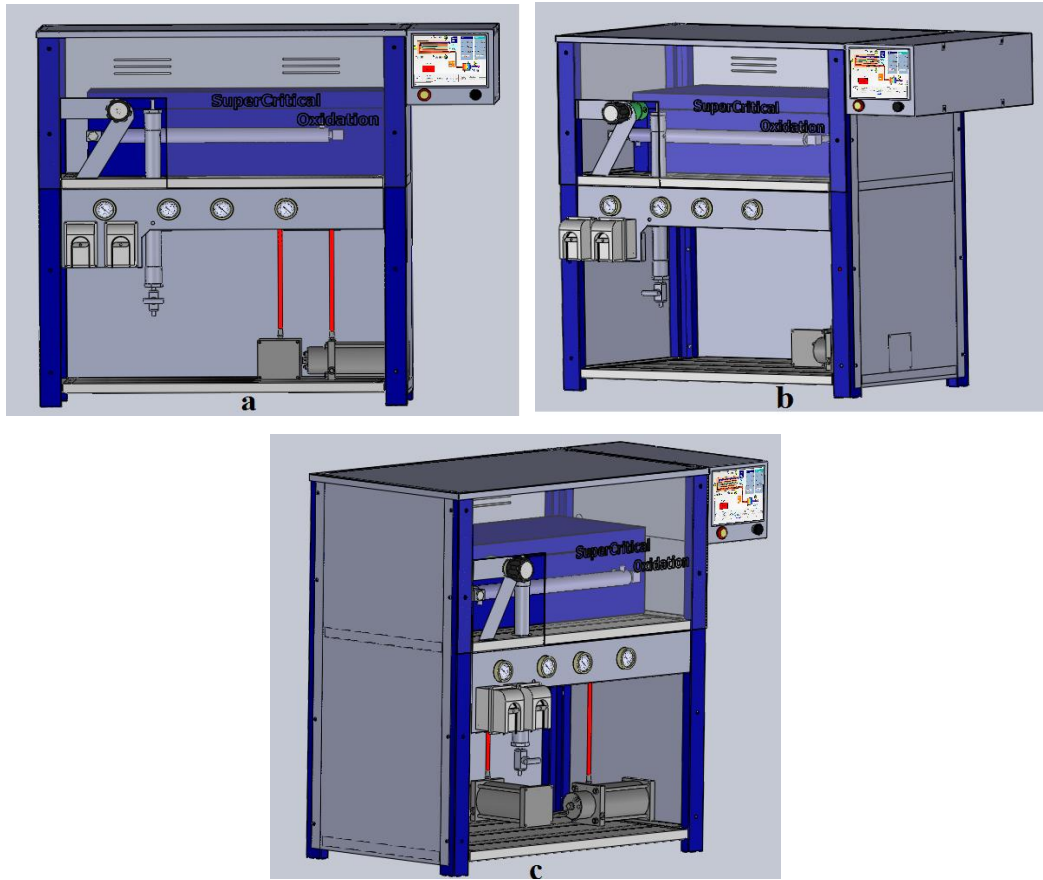


Şekil 4.25. Açılabilir kapak sistemi kapalı (a) ve açık (b) hali

Ayrıca, bu açılır kısım sayesinde test numuneleri reaktör içine konularak, deneylerin yapılması sağlanmıştır.

4.1.6. Cihazın CAD tasarımı

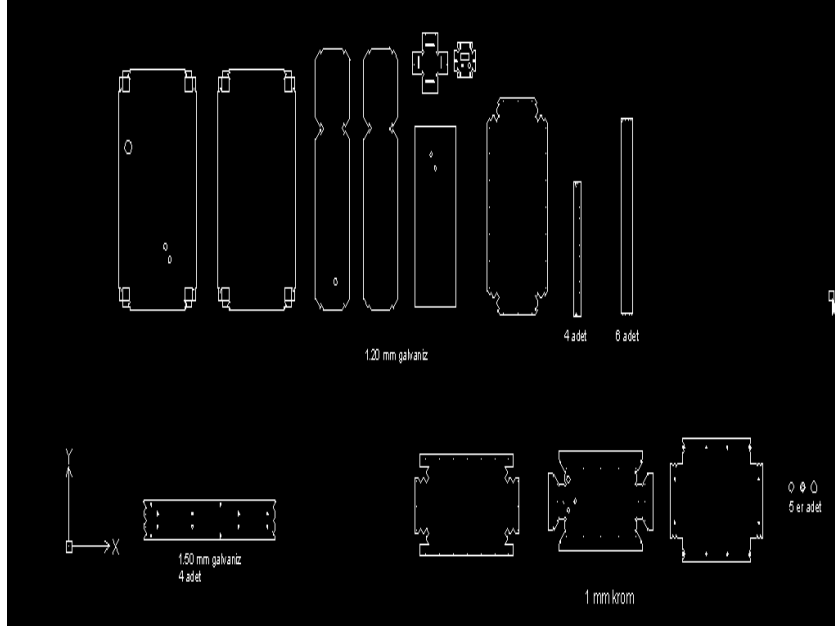
Cihazın ilk üretim aşaması olan tasarım kısmına ait çizimler Şekil 4.26'da verilmiştir. İstenilen özellikleri sağlayacak şekilde parçaların çizimleri yapılmış, hazır olarak alınan parçaların da çizimleri yapılarak genel montaj resimleri oluşturulmuştur.



Şekil 4.26. Cihazın Cad tasarımına ait ön (a), sağ perspektif (b) ve sol perspektif (c) görüşler

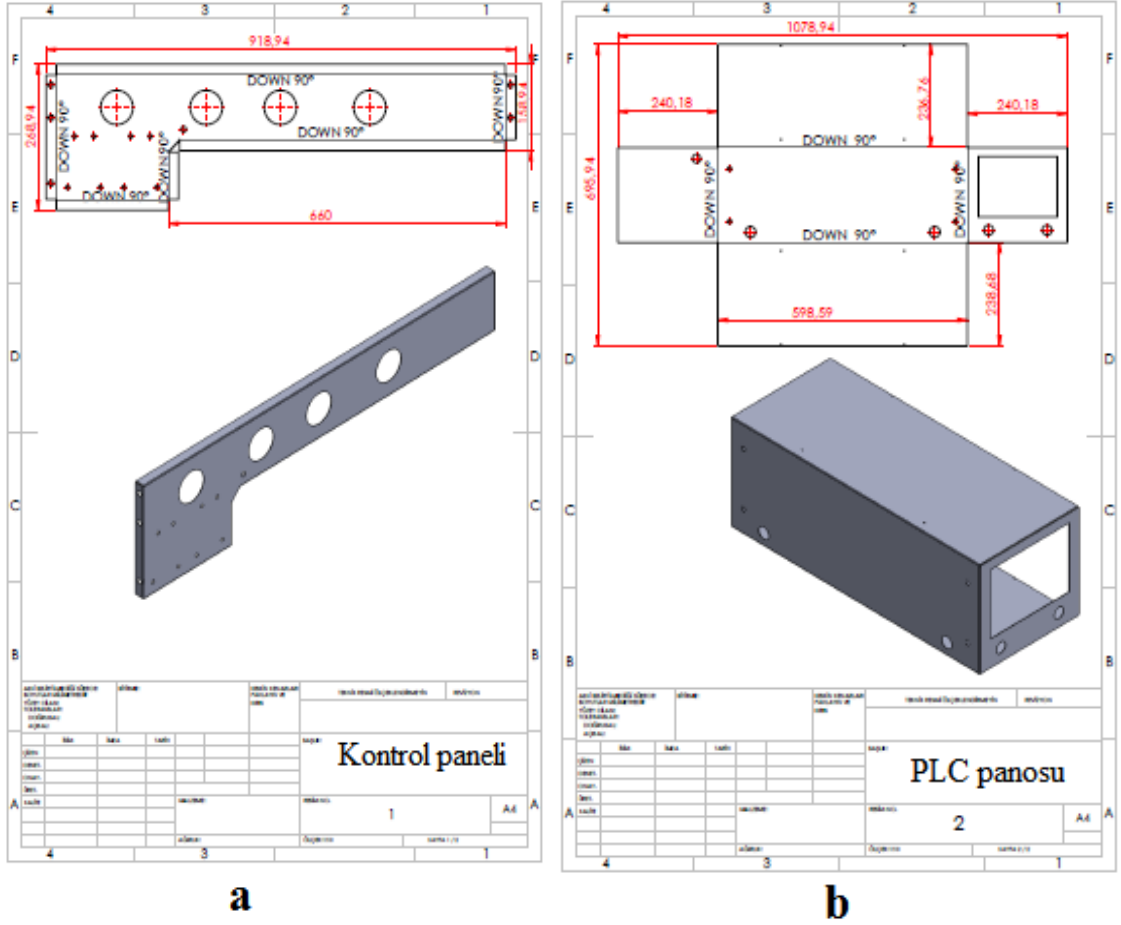
4.1.7. Cihaza ait imalat resimleri

CAD tasarımından sonra, imalat sürecine geçmek için parçaların imalat resimlerinin çıkarılması gerekmektedir. Şekil 4.27’de cihazın sac malzemelerine ait kesim imalat resimleri verilmiştir.



Şekil 4.27. Cihazın St37 kalite sac malzemelerinin lazer kesim imalat resimleri

Sac kesim çizimleri tamamlandıktan sonra, çıkan malzemeler büküme gönderilmiştir. Büküm için Şekil 4.28’deki resimler hazırlanmıştır.



Şekil 4.28. Cihazın kontrol paneli (a) ve PLC panosuna (b) ait büküm imalat resimleri

Bükümden gelen malzemeler, kaynak ve taşlama işlemlerine girerek son şekillerini alırlar. Ön montaj denemesi yapılan parçalarda herhangi bir sorun yaşanmazsa, son işlem olan boyamaya gönderilir. Boyadan gelen malzemeler son montaj işlemi yapılarak cihazın montaj işlemi tamamlanır.

4.1.8. Cihazın üretim aşamasındaki parçalara ait resimler

Cihazın reaktör, oksidan ve su hatları Şekil 4.29’da verilmiştir. İlk olarak ayrı ayrı imal edilen parçalar daha sonra kaynaklı birleştirme yapılarak reaktör sistemi ortaya koyulmuştur.



Şekil 4.29. Reaktör, oksidan ve su hattı için imal edilen parçalar

Isıtma bloğu alt ve üst kısımları Şekil 4.30’da verilmiştir. Talaşlı imalat yöntemi ile üretilen ısıtma bloğu iki parça halinde ve sökülebilir cıvatalı bağlantı kullanılarak imal edilmiştir.



Şekil 4.30. Reaktör hattı ve ısıtma bloğuna ait parçalar

Reaktör hattı montajı tamamlandıktan sonra Şekil 4.31’deki ısıtma bloğu içerisine montaj edilmiştir.



Şekil 4.31. Reaktör hattı ve ısıtma bloğu montajı

4.2. Cihazın kullanımı hakkında

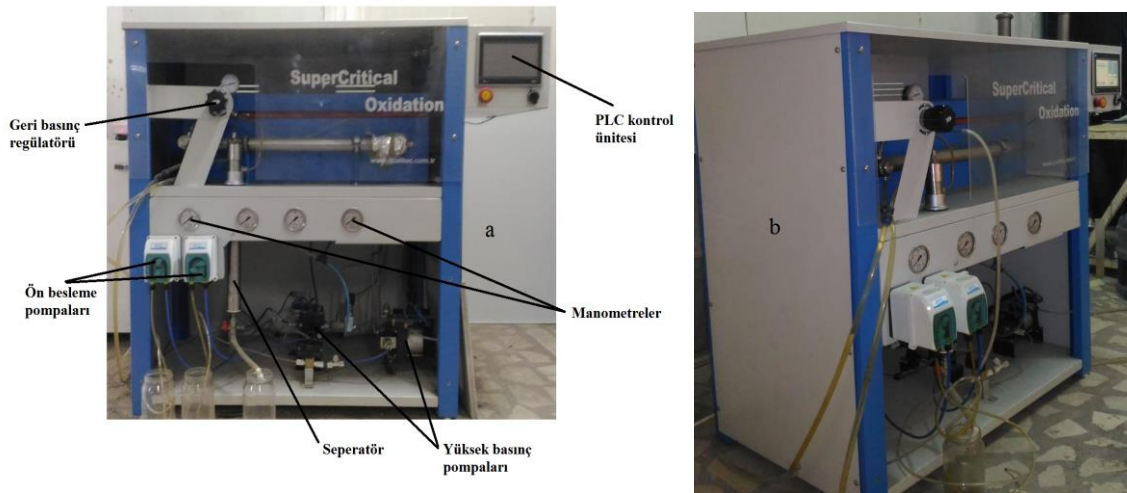
Cihaz kullanılacağında, öncelikle sisteme elektrik beslemesi sağlanır. Daha sonra, PLC kontrolcü üzerinden sistemin çalışılmak istenen basınç ve sıcaklık değerleri girilir. Sistem çalıştırılarak öncelikle istenen çalışma sıcaklığına gelmesi beklenir. İstenilen sıcaklığa ulaşıldıktan sonra, sistemin pompalarının çalışması başlatılarak, istenen basınç değerine ulaşılması sağlanır. İstenen basınç ve sıcaklık değerine gelen sistemin içindeki malzeme ilk olarak dışarı atılır. Bu sayede ilk girişteki istenen reaksiyon değerlerine ulaşmayan sıvı numunelerin atılması sağlanır.

Daha sonra istene değerlere ulaşmış olan sıvı numuneler gerekli miktar toplanana kadar kesikli olarak sistemden temin edilir.

Bu çalışmalar sırasında, eşanjör sisteminde sürekli olarak soğuk su dolaşması sağlanarak hem çıkan numunenin soğutulması sağlanır hem de sistemin zarar görmesi engellenir.

Sistemde bulunan basınç regülatörü sayesinde çalışma basıncı hassas olarak ayarlanarak, istenen basınçta tutulması sağlanır.

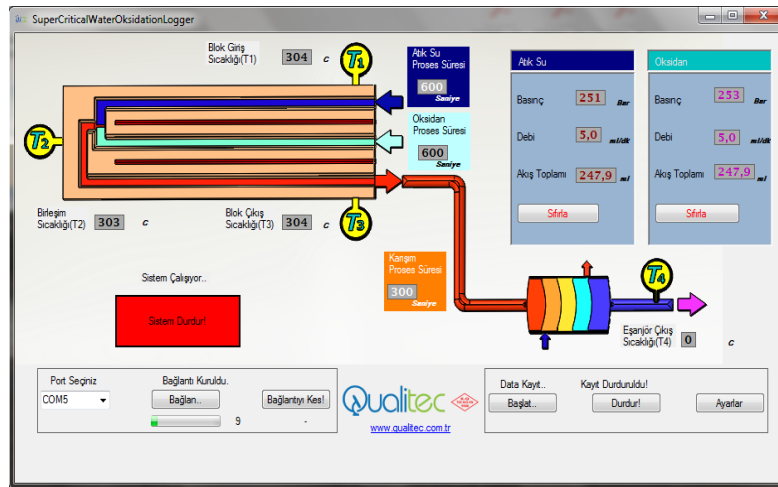
Son olarak, deneyler tamamlandıktan sonra sistem içine temiz su beslemesi yapılır. Bu sayede sistem içindeki atık birikimi ve tıkanmanın önüne geçilmiş olur. Cihazın üretilen son haline ait resimler Şekil 4.32’de verilmiştir.





Şekil 4.32. Cihaza ait ön görünüş (a), sol perspektif (b), pompalama sistemleri (c), ısıtma ve ısı eşanjörü bölümü (d), PLC kontrol ünitesi (e) ve basınç kontrol paneline (e) ait resimler

Cihazın kontrol ara yüzü Şekil 4.33’de verilmiştir. Şematik olarak ısıtma bloğu ve eşanjör hattı gösterilen şekilde, basınç ve sıcaklık değerleri anlık olarak görülebilmektedir. Ayrıca sağ üst kısımda bulunan kutucuklardan istenen çalışma değerleri girilebilmektedir. Sağ alt kısımda bulunan kutucuklardan ise sistemi başlatma, durdurma ve ayar bölümü bulunmaktadır.



Şekil 4.33. Cihazın Plc ekran üzerindeki kontrol ara yüzü

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

5.1. Test Çalışmaları

Tasarımı ve üretimi yapılan cihazın istenen şartları sağladığını doğrulamak için aşağıdaki testler yapılmıştır. Bunlar;

- Basınç testi
- Sıcaklık testi
- Debi ölçümü ve kontrolü

5.1.1. Basınç testi

Cihazın istenen maksimum çalışma basıncı 300 bardır. Cihaz 340 bar basınç değerlerine kadar basınçlandırılarak güvenli bir şekilde kontrol yapılmıştır(Şekil 5.1). Ulaşılan basınç değeri gerek mekanik manometre ile gerekse elektronik sensörle kontrol edilerek test gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.1. 340 Bar test basıncında manometre görüntüsü

5.1.2. Sıcaklık testi

Cihaz maksimum 500 °C 'de çalışacaktır. Cihazın ısıtma ünitesi 550 °C 'ye ısıtılarak ısıtma kontrolü sağlanmıştır. Isı değeri ısıtma ünitesinin üç farklı noktasına yerleştirilen ısı sensörleri yardımıyla doğrulanmıştır.

Ayrıca ısıtma sistemi PID kontrolcü yardımıyla yapıldığı için hassas bir ısı kontrolü sağlanmıştır.

5.1.3. Debi ölçümü ve kontrolü

Cihaz değişken ayarlanabilir debi ile çalışacaktır. Kontrol panelinden ayarlanan debi değerleri, cihazın çıkışından alınan akışkanın miktarını ölçüm yoluyla doğrulanarak test gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Ayarlanan debi miktarının beherglas ile ölçülmesi

5.2. Deneysel Çalışma

Cihaz kirli su arıtımında kullanıldığı için gerek reaktör kısmında malzeme birikimi gerekse korozyon oluşumu olabilmektedir. Bunun için bütün parçaların paslanmaya karşı dayanıklı olması gerekmektedir.

Bunun için kullanılması gereken malzeme paslanmaz çelik malzeme olmalıdır. Bu malzemenin de bileşim olarak birçok çeşidi mevcuttur. Cihazın üretiminde yapılan araştırmalara göre 304 kalite paslanmaz çelik malzeme kullanılmıştır. Ayrıca diğer cihazlarda, 316 kalite paslanmaz çelik malzeme kullanılmıştır.

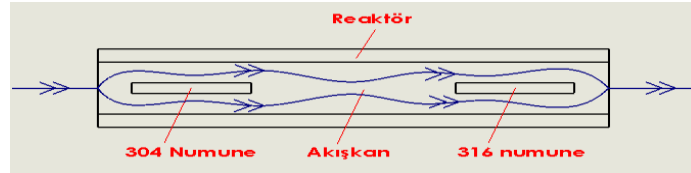
Deney çalışması olarak 304 ve 316 kalite paslanmaz çelik iki farklı malzemenin karşılaştırılması yapılacaktır. Bu malzemelere ait kimyasal özellikler Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. 304 ve 316 kalite paslanmaz çelik malzemenin kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşim (%)								
Kalite	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo
304 (1.4301) X5CrNi18-10	0.08 maks	2.0 maks	0.045 maks	0.03 maks	0.75 maks	18-20	8-10	-
316 (1.4401) X5CrNiMo17-12-2	0.08 maks	2	0.045	0.030	1	16-18	10-14	2.0-3.0

5.2.1. Deneyin yapılışı

Malzeme birikimi ve korozyon en çok cihazın reaktör kısmında meydana gelmektedir. Bu yüzden iki farklı deney numunesi Şekil 5.3'te verildiği gibi reaktörün iç kısmına yerleştirilmiştir.



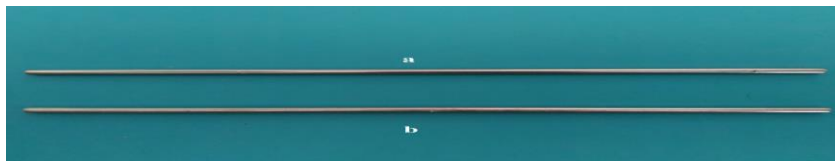
Şekil 5.3. Numunelerin yerleştirilmesi

Numuneler; 4 cm uzunluk ve 3 mm çapında 304 ve 316 kalite malzemelerden hazırlanmıştır.

Deney numuneleri reaktörün içine yerleştirildikten sonra, sistem farklı basınç, sıcaklık ve sürelerde çalıştırılmıştır. Daha sonra çıkarılan numuneler ağırlık değişimi bakımından incelenmiştir.

5.2.2. Deney numunelerinin incelenmesi

Deneyler sonunda numuneler çıkarılarak incelenmiştir. Bazı numunelere ait fotoğraflar Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.4. Numunelerin ilk hali (a-304 kalite, b-316 kalite malzeme)



Şekil 5.5. Numunelerin deney sonrası hali (a-304 kalite, b-316 kalite malzeme, 300 bar basınç 500°C sıcaklık 1 saat deney süresi)

Fotoğraflarda da görüleceği üzere numuneler deney sonucunda koyu renkli bir görünüm almaktadır. Bu görüntü farklı şartlara göre değişim gösterdiği saptanmıştır. Farklı şartlardaki deney sonuçları ağırlık değişimi olarak aşağıda incelenmiştir.

Deney şartları değişkenleri olan basınç ve sıcaklık değerleri ± 5 (derece, bar) hassasiyetle çalışmalar yapılmıştır. Bu değerlerin doğruluğu; basınç için hem mekanik manometre hem de elektronik sensör ile, sıcaklık değerleri ise birçok noktadan hassas sensörler yardımıyla ölçüm doğruluğu sağlanmıştır.

Numunelerdeki ağırlık artışını ölçmek için her şartta 3 tekrar test çalışması yapılmıştır. Ayrıca 0,0001 g hassasiyetli çevresi kapalı hassas terazi (Şekil 5.6) yardımıyla ağırlık artışları ölçülmüştür.



Şekil 5.6. Ölçüm yapılan hassas terazi

5.2.3. Elde edilen deney sonuçları

1., 2. ve 3. deneylerde, 250 Bar basınç ve 30 dakikalık sürelerde; 300, 400 ve 500 °C sıcaklıklar çalışılmıştır (Çizelge 5.2, Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4). Elde edilen sonuçlara göre sıcaklık artışı ile ağırlık artışı doğru orantılı olduğu tespit edilmiş ve en yüksek ağırlık artışı 500 °C sıcaklıkta 304 kalite paslanmaz çelik malzemede %0,00416 oranında olmuştur.

1. Deney sonuçları:

Çizelge 5.2. 250 bar basınç, 300 °C sıcaklık, 30 dakika deney süresi

Deney/Malzeme	İlk ağırlık (gr)		Son ağırlık (gr)		Ağırlık artışı (%-mg)			
	304 kalite	316 kalite	304 kalite	316 kalite	304 kalite		316 kalite	
1	2,72045	2,82235	2,72055	2,82244	0,00368	0,1	0,00319	0,09
2	2,73678	2,83451	2,73688	2,83460	0,00365	0,1	0,00318	0,09
3	2,73765	2,85432	2,73774	2,85440	0,00329	0,09	0,00280	0,08
Ortalama ağırlık artışı (%)					0,00354		0,00306	
Standart sapma oranı (%)					6,13066		7,27381	

2. Deney sonuçları:

Çizelge 5.3. 250 bar basınç, 400 °C sıcaklık, 30 dakika deney süresi

Deney/Malzeme	İlk ağırlık (gr)		Son ağırlık (gr)		Ağırlık artışı (%-mg)			
	304 kalite	316 kalite	304 kalite	316 kalite	304 kalite		316 kalite	
1	2,72154	2,81765	2,72164	2,81774	0,00367	0,1	0,00319	0,09
2	2,73348	2,82768	2,73358	2,82777	0,00366	0,1	0,00318	0,09
3	2,74412	2,83642	2,74423	2,83652	0,00400	0,11	0,00353	0,1
Ortalama ağırlık artışı (%)					0,00378		0,00330	
Standart sapma oranı (%)					5,12296		6,03784	

3. Deney sonuçları:

Çizelge 5.4. 250 bar basınç, 500 °C sıcaklık, 30 dakika deney süresi,

Deney/Malzeme	İlk ağırlık (gr)		Son ağırlık (gr)		Ağırlık artışı (%-mg)			
	304 kalite	316 kalite	304 kalite	316 kalite	304 kalite		316 kalite	
1	2,71838	2,82519	2,71849	2,82529	0,00405	0,11	0,00354	0,1
2	2,72672	2,82853	2,72683	2,82863	0,00403	0,12	0,00353	0,1
3	2,72803	2,83279	2,72815	2,83290	0,00440	0,12	0,00388	0,11
Ortalama ağırlık artışı (%)					0,00416		0,00365	
Standart sapma oranı (%)					5,00208		5,45887	

4., 5. ve 6. deneylerde, 275 Bar basınç ve 30 dakikalık sürelerde; 300, 400 ve 500 °C sıcaklıklar çalışılmıştır (Çizelge 5.5, Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7). Elde edilen sonuçlara göre sıcaklık artışı ile ağırlık artışı doğru orantılı olduğu tespit edilmiş ve en yüksek ağırlık artışı 500 °C sıcaklıkta 304 kalite paslanmaz çelik malzemede %0,00526

oranında olmuştur. 250 Bar basınçtaki deney çalışmasına göre ağırlık artışı yaklaşık %26 oranında artış göstermiştir.

4. Deney sonuçları:

Çizelge 5.5. 275 bar basınç, 300 °C sıcaklık, 30 dakika deney süresi

Deney/Malzeme	İlk ağırlık (gr)		Son ağırlık (gr)		Ağırlık artışı (%-mg)			
	304 kalite	316 kalite	304 kalite	316 kalite	304 kalite		316 kalite	
1	2,72785	2,83036	2,72797	2,83047	0,00440	0,12	0,00387	0,11
2	2,72982	2,83762	2,72994	2,83773	0,00441	0,12	0,00388	0,11
3	2,73451	2,84413	2,73464	2,84425	0,00475	0,13	0,00422	0,12
Ortalama ağırlık artışı (%)					0,00452		0,00399	
Standart sapma oranı (%)					4,40815		4,99370	

5. Deney sonuçları:

Çizelge 5.6. 275 bar basınç, 400 °C sıcaklık, 30 dakika deney süresi

Deney/Malzeme	İlk ağırlık (gr)		Son ağırlık (gr)		Ağırlık artışı (%-mg)			
	304 kalite	316 kalite	304 kalite	316 kalite	304 kalite		316 kalite	
1	2,73278	2,84738	2,73291	2,84750	0,00476	0,13	0,00421	0,12
2	2,73567	2,84862	2,73580	2,84874	0,00475	0,13	0,00422	0,12
3	2,74762	2,85512	2,74786	2,85525	0,00510	0,14	0,00455	0,13
Ortalama ağırlık artışı (%)					0,00487		0,00433	
Standart sapma oranı (%)					4,09135		4,47173	

6. Deney sonuçları:

Çizelge 5.7. 275 bar basınç, 500 °C sıcaklık, 30 dakika deney süresi

Deney/Malzeme	İlk ağırlık (gr)		Son ağırlık (gr)		Ağırlık artışı (%-mg)			
	304 kalite	316 kalite	304 kalite	316 kalite	304 kalite		316 kalite	
1	2,71673	2,82837	2,71687	2,82850	0,00515	0,14	0,00460	0,13
2	2,72530	2,82978	2,72544	2,82991	0,00514	0,14	0,00459	0,13
3	2,72678	2,83731	2,72693	2,83745	0,00550	0,15	0,00493	0,14
Ortalama ağırlık artışı (%)					0,00526		0,00471	
Standart sapma oranı (%)					3,89526		4,11070	

7., 8. ve 9. deneylerde, 300 Bar basınç ve 30 dakikalık sürelerde; 300, 400 ve 500 °C sıcaklıklar çalışılmıştır (Çizelge 5.8, Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10). Elde edilen

sonuçlara göre sıcaklık artışı ile ağırlık artışı doğru orantılı olduğu tespit edilmiş ve en yüksek ağırlık artışı 500 °C sıcaklıkta 304 kalite paslanmaz çelik malzemede %0,00634 oranında olmuştur. 275 Bar basınçtaki deney çalışmasına göre ağırlık artışı yaklaşık %20 oranında artış göstermiştir.

7. Deney sonuçları:

Çizelge 5.8. 300 bar basınç, 300 °C sıcaklık, 30 dakika deney süresi

Deney/Malzeme	İlk ağırlık (gr)		Son ağırlık (gr)		Ağırlık artışı (%-mg)			
	304 kalite	316 kalite	304 kalite	316 kalite	304 kalite		316 kalite	
1	2,73674	2,83563	2,73689	2,83577	0,00548	0,15	0,00494	0,14
2	2,73945	2,83825	2,73960	2,83839	0,00547	0,15	0,00493	0,14
3	2,74374	2,84736	2,74390	2,84751	0,00583	0,16	0,00527	0,15
Ortalama ağırlık artışı (%)					0,00559		0,00505	
Standart sapma oranı (%)					3,66544		3,83376	

8. Deney sonuçları:

Çizelge 5.9. 300 bar basınç, 400 °C sıcaklık, 30 dakika deney süresi

Deney/Malzeme	İlk ağırlık (gr)		Son ağırlık (gr)		Ağırlık artışı (%-mg)			
	304 kalite	316 kalite	304 kalite	316 kalite	304 kalite		316 kalite	
1	2,74593	2,81873	2,74609	2,81888	0,00582	0,16	0,00532	0,15
2	2,74735	2,82675	2,74751	2,82690	0,00583	0,16	0,00530	0,15
3	2,75872	2,83647	2,75889	2,83663	0,00616	0,17	0,00564	0,16
Ortalama ağırlık artışı (%)					0,00594		0,00542	
Standart sapma oranı (%)					3,25902		3,52007	

9. Deney sonuçları:

Çizelge 5.10. 300 bar basınç, 500 °C sıcaklık, 30 dakika deney süresi

Deney/Malzeme	İlk ağırlık (gr)		Son ağırlık (gr)		Ağırlık artışı (%-mg)			
	304 kalite	316 kalite	304 kalite	316 kalite	304 kalite		316 kalite	
1	2,72985	2,82783	2,73002	2,82799	0,00623	0,17	0,00566	0,16
2	2,73549	2,82984	2,73566	2,83000	0,00621	0,17	0,00565	0,16
3	2,73762	2,83784	2,73780	2,83801	0,00658	0,18	0,00599	0,17
Ortalama ağırlık artışı (%)					0,00634		0,00577	
Standart sapma oranı (%)					3,28212		3,35509	

10., 11. ve 12. deneylerde, 250 Bar basınç ve 60 dakikalık sürelerde; 300, 400 ve 500 °C sıcaklıklar çalışılmıştır (Çizelge 5.11, Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13). Elde edilen sonuçlara göre sıcaklık ve süre artışı ile ağırlık artışı doğru orantılı olduğu tespit edilmiş ve en yüksek ağırlık artışı 500 °C sıcaklıkta 304 kalite paslanmaz çelik malzemede %0,00791 oranında olmuştur. 250 Bar basınç ve 30 dakika süreli deneye göre ağırlık artışı yaklaşık %90 oranında artış göstermiştir.

10. Deney sonuçları:

Çizelge 5.11. 250 bar basınç, 300 °C sıcaklık, 60 dakika deney süresi

Deney/Malzeme	İlk ağırlık (gr)		Son ağırlık (gr)		Ağırlık artışı (%-mg)			
	304 kalite	316 kalite	304 kalite	316 kalite	304 kalite		316 kalite	
1	2,73756	2,82576	2,73773	2,82592	0,00621	0,17	0,00566	0,16
2	2,74267	2,83645	2,74284	2,83661	0,00620	0,17	0,00564	0,16
3	2,74860	2,83893	2,74879	2,84011	0,00691	0,19	0,00634	0,18
Ortalama ağırlık artışı (%)					0,00644		0,00588	
Standart sapma oranı (%)					6,32085		6,77716	

11. Deney sonuçları:

Çizelge 5.12. 250 bar basınç, 400 °C sıcaklık, 60 dakika deney süresi

Deney/Malzeme	İlk ağırlık (gr)		Son ağırlık (gr)		Ağırlık artışı (%-mg)			
	304 kalite	316 kalite	304 kalite	316 kalite	304 kalite		316 kalite	
1	2,71647	2,83533	2,71666	2,83551	0,00699	0,19	0,00635	0,18
2	2,72655	2,83729	2,72674	2,83747	0,00697	0,19	0,00634	0,18
3	2,72732	2,83897	2,72753	2,84017	0,00769	0,21	0,00704	0,2
Ortalama ağırlık artışı (%)					0,00722		0,00658	
Standart sapma oranı (%)					5,68186		6,10172	

12. Deney sonuçları:

Çizelge 5.13. 250 bar basınç, 500 °C sıcaklık, 60 dakika deney süresi

Deney/Malzeme	İlk ağırlık (gr)		Son ağırlık (gr)		Ağırlık artışı (%-mg)			
	304 kalite	316 kalite	304 kalite	316 kalite	304 kalite		316 kalite	
1	2,73492	2,82567	2,73513	2,82587	0,00768	0,21	0,00708	0,2
2	2,73784	2,82836	2,73805	2,82856	0,00767	0,21	0,00707	0,2
3	2,74523	2,83672	2,74546	2,83694	0,00838	0,23	0,00776	0,22
Ortalama ağırlık artışı (%)					0,00791		0,00730	
Standart sapma oranı (%)					5,14618		5,41556	

13., 14. ve 15. deneylerde, 275 Bar basınç ve 60 dakikalık sürelerde; 300, 400 ve 500 °C sıcaklıklar çalışılmıştır (Çizelge 5.14, Çizelge 5.15 ve Çizelge 5.16). Elde edilen sonuçlara göre sıcaklık ve süre artışı ile ağırlık artışı doğru orantılı olduğu tespit edilmiş ve en yüksek ağırlık artışı 500 °C sıcaklıkta 304 kalite paslanmaz çelik malzemede %0,01009 oranında olmuştur. 275 Bar basınç ve 30 dakika süreli deneye göre ağırlık artışı yaklaşık %91 oranında artış göstermiştir.

13. Deney sonuçları:

Çizelge 5.14. 275 bar basınç, 300 °C sıcaklık, 60 dakika deney süresi

Deney/Malzeme	İlk ağırlık (gr)		Son ağırlık (gr)		Ağırlık artışı (%-mg)			
	304 kalite	316 kalite	304 kalite	316 kalite	304 kalite		316 kalite	
1	2,72948	2,83146	2,72971	2,83168	0,00843	0,23	0,00777	0,22
2	2,73526	2,83564	2,73549	2,83586	0,00841	0,23	0,00775	0,22
3	2,73843	2,83729	2,73868	2,83753	0,00913	0,25	0,00846	0,24
Ortalama ağırlık artışı (%)					0,00866		0,00799	
Standart sapma oranı (%)					4,73670		5,05758	

14. Deney sonuçları:

Çizelge 5.15. 275 bar basınç, 400 °C sıcaklık, 60 dakika deney süresi

Deney/Malzeme	İlk ağırlık (gr)		Son ağırlık (gr)		Ağırlık artışı (%-mg)			
	304 kalite	316 kalite	304 kalite	316 kalite	304 kalite		316 kalite	
1	2,71876	2,82635	2,71901	2,82659	0,00919	0,25	0,00849	0,24
2	2,72367	2,82873	2,72392	2,82897	0,00917	0,25	0,00848	0,24
3	2,72846	2,83456	2,72873	2,83482	0,00989	0,27	0,00917	0,26
Ortalama ağırlık artışı (%)					0,00942		0,00871	
Standart sapma oranı (%)					4,35441		4,53921	

15. Deney sonuçları:

Çizelge 5.16. 275 bar basınç, 500 °C sıcaklık, 60 dakika deney süresi

Deney/Malzeme	İlk ağırlık (gr)		Son ağırlık (gr)		Ağırlık artışı (%-mg)			
	304 kalite	316 kalite	304 kalite	316 kalite	304 kalite		316 kalite	
1	2,73764	2,83672	2,73791	2,83698	0,00986	0,27	0,00917	0,26
2	2,73913	2,83872	2,73940	2,83898	0,00985	0,27	0,00915	0,26
3	2,74659	2,84533	2,74688	2,84561	0,01056	0,29	0,00984	0,28
Ortalama ağırlık artışı (%)					0,01009		0,00939	
Standart sapma oranı (%)					4,03432		4,18387	

16., 17. ve 18. deneylerde, 300 Bar basınç ve 60 dakikalık sürelerde; 300, 400 ve 500 °C sıcaklıklar çalışılmıştır (Çizelge 5.17, Çizelge 5.18 ve Çizelge 5.19). Elde edilen sonuçlara göre sıcaklık ve süre artışı ile ağırlık artışı doğru orantılı olduğu tespit edilmiş ve en yüksek ağırlık artışı 500 °C sıcaklıkta 304 kalite paslanmaz çelik malzemede %0,01235 oranında olmuştur. 300 Bar basınç ve 30 dakika süreli deneye göre ağırlık artışı yaklaşık %94 oranında artış göstermiştir.

16. Deney sonuçları:

Çizelge 5.17. 300 bar basınç, 300 °C sıcaklık, 60 dakika deney süresi

Deney/Malzeme	İlk ağırlık (gr)		Son ağırlık (gr)		Ağırlık artışı (%-mg)			
	304 kalite	316 kalite	304 kalite	316 kalite	304 kalite		316 kalite	
1	2,71627	2,82354	2,71656	2,82382	0,01068	0,29	0,00992	0,28
2	2,72563	2,82678	2,72592	2,82706	0,01064	0,29	0,00991	0,28
3	2,72937	2,84232	2,72968	2,84262	0,01136	0,31	0,01055	0,3
Ortalama ağırlık artışı (%)					0,01089		0,01013	
Standart sapma oranı (%)					3,71456		3,62065	

17. Deney sonuçları:

Çizelge 5.18. 300 bar basınç, 400 °C sıcaklık, 60 dakika deney süresi

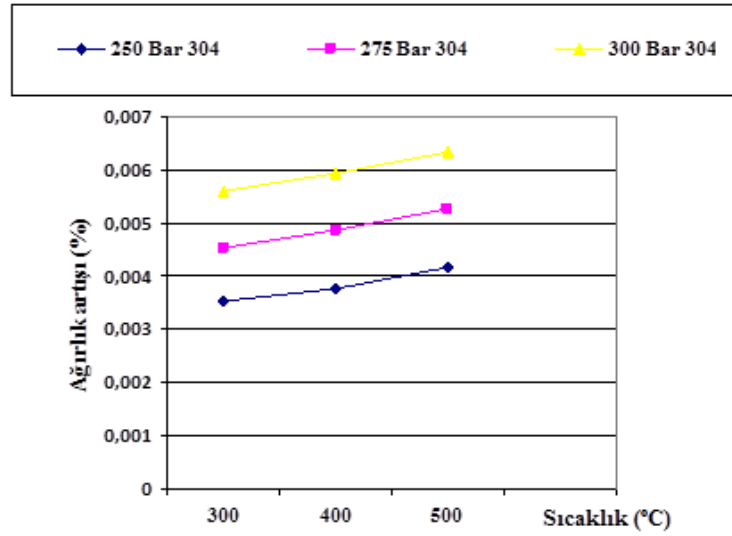
Deney/Malzeme	İlk ağırlık (gr)		Son ağırlık (gr)		Ağırlık artışı (%-mg)			
	304 kalite	316 kalite	304 kalite	316 kalite	304 kalite		316 kalite	
1	2,72526	2,83748	2,72557	2,83778	0,01138	0,31	0,01057	0,3
2	2,73432	2,84425	2,73463	2,84455	0,01134	0,31	0,01055	0,3
3	2,73872	2,84593	2,73905	2,84625	0,01205	0,33	0,01124	0,32
Ortalama ağırlık artışı (%)					0,01159		0,01079	
Standart sapma oranı (%)					3,44153		3,64084	

18. Deney sonuçları:

Çizelge 5.19. 300 bar basınç, 500 °C sıcaklık, 60 dakika deney süresi

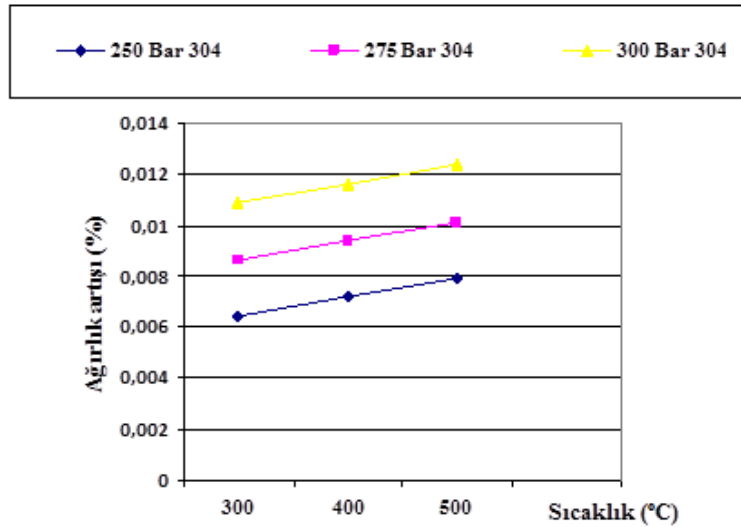
Deney/Malzeme	İlk ağırlık (gr)		Son ağırlık (gr)		Ağırlık artışı (%-mg)			
	304 kalite	316 kalite	304 kalite	316 kalite	304 kalite		316 kalite	
1	2,71892	2,82534	2,71925	2,82566	0,01214	0,33	0,01133	0,32
2	2,72653	2,82694	2,72686	2,82726	0,01210	0,33	0,01132	0,32
3	2,72983	2,83561	2,73018	2,83595	0,01282	0,35	0,01199	0,34
Ortalama ağırlık artışı (%)					0,01235		0,01155	
Standart sapma oranı (%)					3,27555		3,32538	

5.3. Araştırma Bulguları



Şekil 5.7. 304 kalite paslanmaz çelik malzemenin 30 dk deney süresindeki ağırlık değişim grafiği

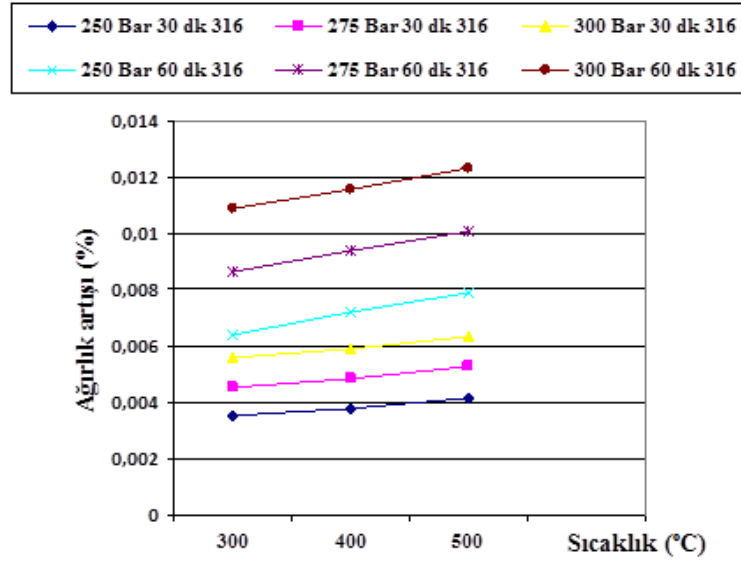
304 kalite paslanmaz çelik numuneler 30 dakika süre ile teste tabi tutulması sonucu üç farklı basınç ve sıcaklık değerlerinde oluşan ağırlık değişimleri Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Artan basınç ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak ağırlık artışı tespit edilmiştir.



Şekil 5.8. 304 kalite paslanmaz çelik malzemenin 60 dk deney süresindeki ağırlık değişim grafiği

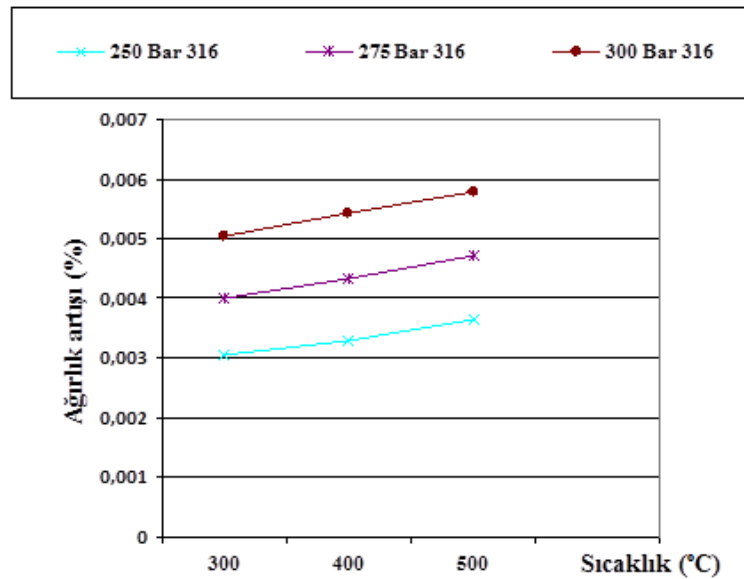
304 kalite paslanmaz çelik numuneler 60 dakika süre ile teste tabi tutulması sonucu üç farklı basınç ve sıcaklık değerlerinde oluşan ağırlık değişimleri Şekil 5.8’de

gösterilmiştir. Artan basınç ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak ağırlık artışı tespit edilmiştir.



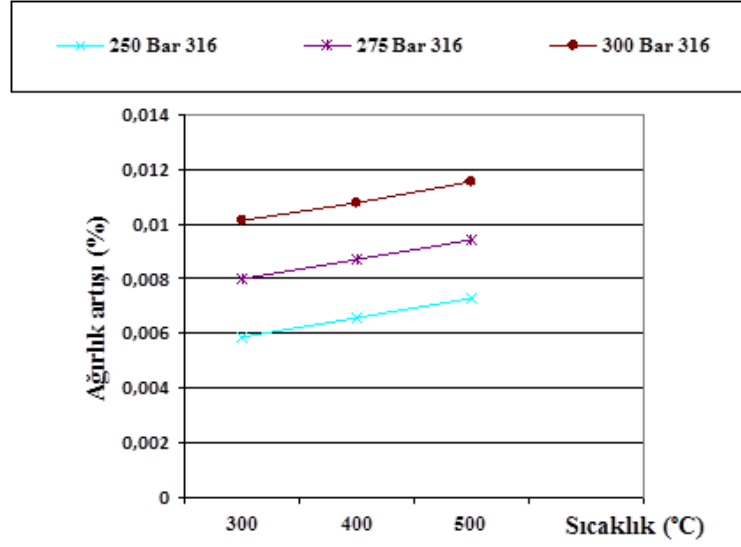
Şekil 5.9. 304 kalite paslanmaz çelik malzemenin 30 ve 60 dk deney sürelerindeki ağırlık değişim grafiği

304 kalite paslanmaz çelik numuneler 30 ve 60 dakika süre ile teste tabi tutulması sonucu üç farklı basınç ve sıcaklık değerlerinde oluşan ağırlık değişimleri Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Artan basınç, sıcaklık ve süre değerlerine bağlı olarak ağırlık artışı tespit edilmiştir.



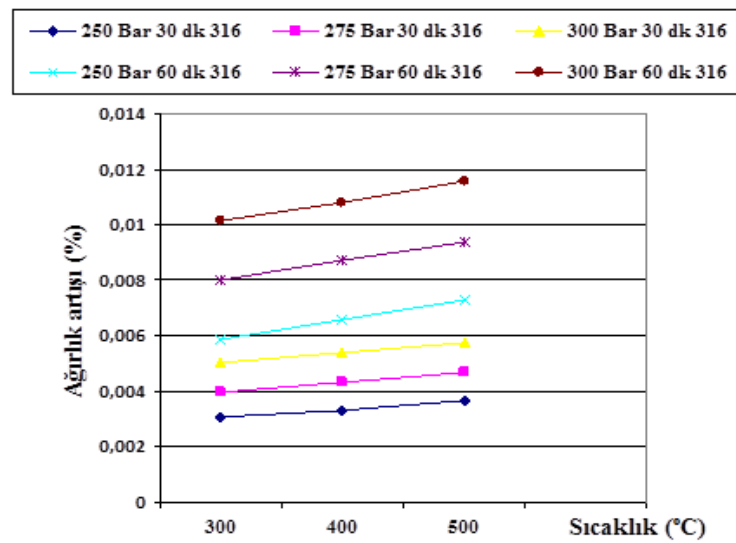
Şekil 5.10. 316 kalite paslanmaz çelik malzemenin 30 dk deney süresindeki ağırlık değişim grafiği

316 kalite paslanmaz çelik numuneler 30 dakika süre ile teste tabi tutulması sonucu üç farklı basınç ve sıcaklık değerlerinde oluşan ağırlık değişimleri Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Artan basınç ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak ağırlık artışı tespit edilmiştir.



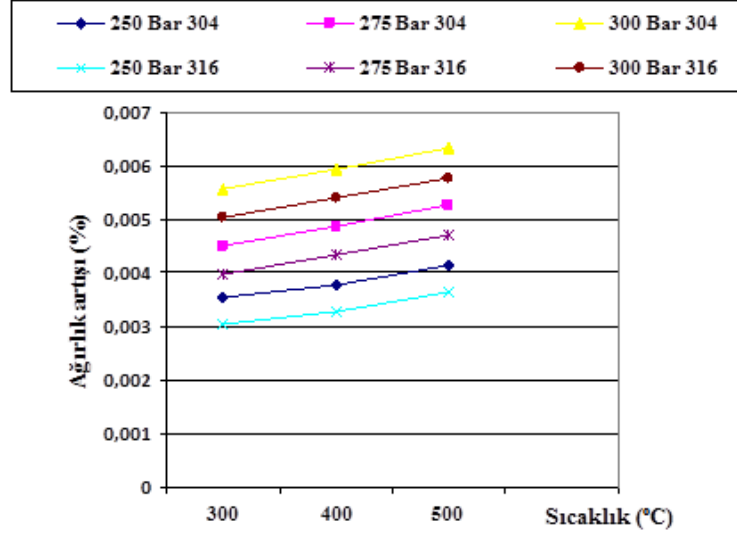
Şekil 5.11. 316 kalite paslanmaz çelik malzemenin 60 dk deney süresindeki ağırlık değişim grafiği

316 kalite paslanmaz çelik numuneler 60 dakika süre ile teste tabi tutulması sonucu üç farklı basınç ve sıcaklık değerlerinde oluşan ağırlık değişimleri Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Artan basınç ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak ağırlık artışı tespit edilmiştir.



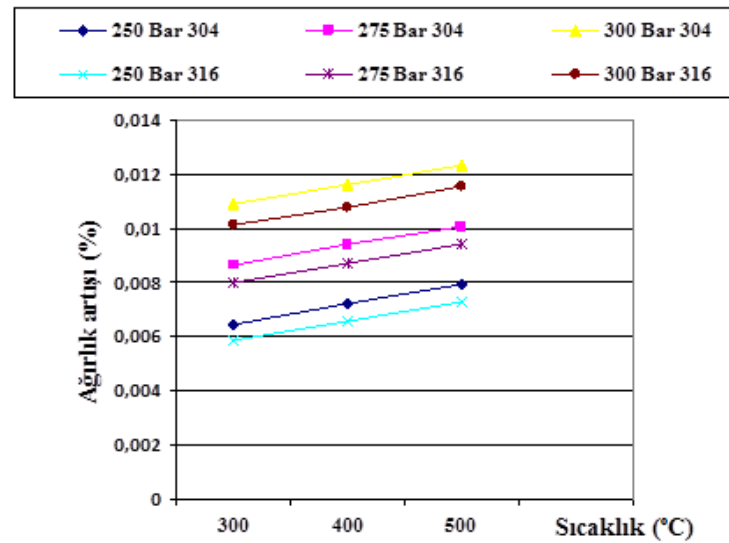
Şekil 5.12. 316 kalite paslanmaz çelik malzemenin 30 ve 60 dk deney sürelerindeki ağırlık değişim grafiği

316 kalite paslanmaz çelik numuneler 30 ve 60 dakika süre ile teste tabi tutulması sonucu üç farklı basınç ve sıcaklık değerlerinde oluşan ağırlık değişimleri Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Artan basınç, sıcaklık ve süre değerlerine bağlı olarak ağırlık artışı tespit edilmiştir.



Şekil 5.13. 304 ve 316 kalite paslanmaz çelik malzemelerin 30 dk deney süresindeki ağırlık değişim grafiği

304 ve 316 kalite paslanmaz çelik numuneler 30 dakika süre ile teste tabi tutulması sonucu üç farklı basınç ve sıcaklık değerlerinde oluşan ağırlık değişimleri Şekil 5.13’te gösterilmiştir. Artan basınç ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak ağırlık artışı tespit edilmiştir.



Şekil 5.14. 304 ve 316 kalite paslanmaz çelik malzemelerin 60 dk deney süresindeki ağırlık değişim grafiği

304 ve 316 kalite paslanmaz çelik numuneler 60 dakika süre ile teste tabi tutulması sonucu üç farklı basınç ve sıcaklık değerlerinde oluşan ağırlık değişimleri Şekil 5.14'te gösterilmiştir. Artan basınç ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak ağırlık artışı tespit edilmiştir.

5.3.1. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapılan deneysel çalışmada iki farklı tip malzeme karşılaştırılması yapılmıştır. Deneysel çalışma; basınç, sıcaklık ve deney süresi olmak üzere üç değişken durum göz önünde bulundurulmuştur.

Her bir deney şartı 3 tekrar yapıp, üçünün ortalaması alınarak grafiksel olarak ortaya konmuştur.

Reaktör malzemesi seçimi için yapılan deneysel çalışmada, deney numunelerinin ağırlık değişimi tespit edilmiştir. Çıkan sonuçlarda, deney numunelerinde ağırlık artışı meydana gelmiş, bu sonuçtan dolayı numuneler üzerinde malzeme birikimi meydana geldiği tespit edilmiştir. Kullanılan atıksu içeriklerine bağlı olarak, malzeme birikimi farklılık gösterebilmektedir. Bu yüzden bütün deneylerde aynı atıksu kullanılmıştır.

5.3.2. Arıtım verimi ile ilgili sonuç

Kirli su arıtımıyla ilgili sabit sıcaklık ve zamana göre Çizelge 5.20'deki sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlardan, basınç artışıyla arıtım veriminin arttığı görülmektedir.

Çizelge 5.20. SKSO sistemiyle çöp depolama sahası sızıntı suyundan organik madde giderim verimi

	Basınç, (MPa)	Sıcaklık, (°C)	Zaman,(dk)	Giderim verimi(%)
Kritik altı çalışma şartı	10	375	10	81
Kritik çalışma şartı	22.5	375	10	87
Kritik üstü çalışma şartı	35	375	10	96

5.4. Tartışma

Atıksu arıtımında kullanılan cihazlarda genel olarak görülen sorunların başında korozyon ve malzeme birikiminden dolayı tıkanma gelmektedir. Literatür araştırmasındaki çalışmalarda farklı tiplerde reaktör tasarımları ele alınmıştır. Bu tasarımlar göz önünde bulundurularak tasarlanan ve üretilen cihazla, öncelikli olarak tıkanma sorunu ele alınmıştır. Diğer laboratuvar tipi olarak üretilen örneklerine göre, reaktör çapı daha büyük seçilerek tıkanmanın önüne geçilmeye çalışılmıştır.

Reaktör yatay konumlu ve sistem kesikli olarak çalışmaktadır. Yatay olan reaktör içinde zamanla atık birikimi meydana gelebileceğinden, dikey tipli reaktör tasarımı yapılabilir. Kesikli sistem sürekli ve seri çalışmalar için uygun olmayabilir. Fakat laboratuvar şartları için yeterli sayılabilir. Gerekli görülürse sürekli tip çalışan sistem tasarımı da sisteme eklenebilir.

Üretilen cihazın reaktör kısmı ilk olarak sökülebilir olarak tasarlanmış ama karşılaşılan sorunlar yüzünden sökülmeyen tip reaktör olarak imal edilmiştir. İlerleyen zamanlarda farklı sektör olan hidrolik alanındaki kullanımlar göz önünde bulundurularak sisteme uygun sökülebilir tip reaktör geliştirilebilir.

Sistem laboratuvar tipi olduğu için ilk aşamada enerji verimliliği üzerine bir çalışma yapılmamıştır. Sistemde üretilen yüksek sıcaklık göz önünde bulundurulduğunda, ilerleyen zamanda ısı geri kazanım sistemi eklenebilir.

İşlem süreleri çok kısa olan bu sistemde, cihazın uzun süreli kullanımı yıllar sürebileceği için korozyon oluşumu ile ilgili bir çalışma yapılmamıştır. Cihaz kullanımına bağlı olarak gerekli görülürse korozyonla ilgili çalışma yapılabilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilere göre aşağıda sıralanan sonuçlar elde edilmiştir;

- 304 ve 316 kalite paslanmaz çelik malzemeler üzerinde yapılan deneylerde her iki malzemedede de çökelden dolayı ağırlık artışı olmuş, 304 kalite paslanmaz çelik malzeme üzerinde 316 kalite paslanmaz çelik malzemeye göre daha çok ağırlık artışı olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak, 316 kalite malzemenin 304 kalite malzemeye göre daha parlak yüzeyli olduğu düşünülmektedir.
- Reaktörün çalışması sonucu malzeme birikimi zamanla reaktör hattını tıkayabilmektedir. Bu yüzden reaktör malzemesi olarak 316 kalite paslanmaz çelik malzeme daha avantajlı görünmektedir.
- 304 ve 316 kalite paslanmaz çelik malzemeler karşılaştırıldığında, 316 kalite paslanmaz çelik malzeme daha pahalıdır (304 kalite paslanmaz çelik malzemeye göre %30 fiyat farkı). Bu da yatırım maliyeti olarak ciddi bir yük teşkil etmektedir. Bu durum göz önüne alındığında, malzeme birikimini tolere edebilecek sistemlerde 304 kalite paslanmaz çelik malzeme tercih edilebilir. Ayrıca kaynaklı birleştirme içeren sistemlerde de, kaynak yapılabilme özelliğinin üstünlüğü ile de 304 kalite paslanmaz çelik malzeme daha avantajlıdır.

KAYNAKLAR

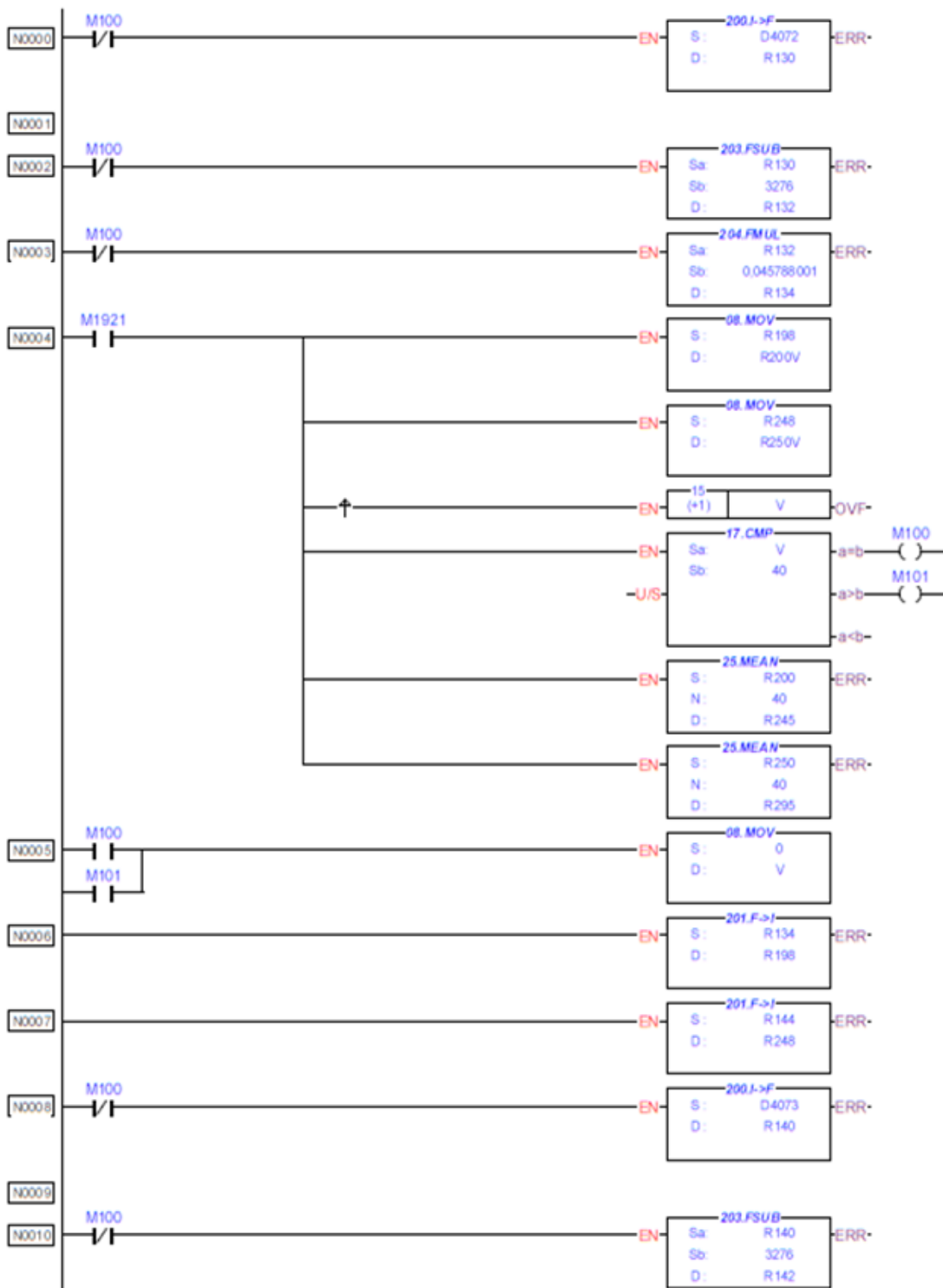
- Akgün M. , Sögüt O.Ö., 2008, “Süperkritik Su Ortamında Tekstil Atık Sularının Arıtılması”, TÜBİTAK Projesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul
- Arslan T. , Sögüt O.Ö. , Akgün M. ,2015, “Süperkritik Su Oksidasyonu ile Peyniraltı Suyunun Arıtılması”, Publications of ResearchGate, <https://www.researchgate.net/publication/238116378>
- Asselin E. , Alfantazi A. , Rogak S. , 2010, “Corrosion of nickel–chromium alloys, stainless steel and niobium at supercritical water oxidation conditions”, Corrosion Science, 118–124
- Azadia P. , Farnooda R. , Vuillardot C. , (2011), “Estimation of heating time in tubular supercritical water reactors”, The Journal of Supercritical Fluids, 1038–1045
- Baycan N. , Şengül F., “Güneş Işığı İle Atıksu Oksidasyonu”, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İzmir
- Calzavara Y. , Jousset-Dubien C. , Turc H.-A. , Fauvel E. , Sarrade S. , 2004, “A new reactor concept for hydrothermal oxidation”, The Journal of Supercritical Fluids, 195–206
- Chen Z. , Wanga G. , Yin F. , Chen H. , Xu Y. ,2015, “A new system design for supercritical water oxidation”, Chemical Engineering Journal, 343–351
- Civan F. ,2014, “Çöp Sızıntı Suyunun Ni /Al₂O₃ Katalizörü Kullanılarak Süperkritik Su Oksidasyonu ile Arıtımı”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul
- Cocero M.J. , Mart´nez J.L. , 2004, “Cool wall reactor for supercritical water oxidation Modelling and operation results”, The Journal of Supercritical Fluids, 41–55
- Demirel M. , 2010, “Klorlu Fenol Bileşiklerinin İleri Oksidasyon Yöntemleri İle Oksidasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin
- García-Jarana M. B. , Vadillo V. , Portelaa J.R. , Sánchez-Onetoa J. , Martínez de la Ossa E.J. , Al-Durib B. , 2012, “Oxidant multi-injection in supercritical water oxidation of wastewaters”, Procedia Engineering, 1326 – 1334
- Gümüş D. , 2009, “Bir Tekstil Fabrikası Atıksuyunun Süperkritik Su Oksidasyonu ile Arıtımı”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul
- Khansari Z. , Kapadia P. , Mahinpey N. , Gates I.D. , 2014, “A new reaction model for low temperature oxidation of heavy oil: Experiments and numerical modeling”, Journal of Energy, 419-428

- Lee H.-C. , In J.-H. , Lee S.-Y. , Kim J.-H. , Lee C.-H. , 2005, “An anti-corrosive reactor for the decomposition of halogenated hydrocarbons with supercritical water oxidation”, *The Journal of Supercritical Fluids*, 59–69
- Palacios-Nereo F. J., Olivares-Carrillo P., Ríos A. P., Quesada-Medina J., 2016, “High-yield Non-Catalytic Supercritical Transesterification Of Soybean Oil To Biodiesel Induced By Gradual Heating In A Batch Reactor”, *The Journal Of Supercritical Fluids*, Volume 111, Pages 135-142
- Pereda S. , Brignole E.A. , Bottini S.B. ,2009, “Advances in phase equilibrium engineering of supercritical reactors”, *The Journal of Supercritical Fluids*, 336–343
- Reddy H. K., Muppaneni T., Deng S., 2015, “Sub and Supercritical Fluid Technologies for the Production of Renewable (Bio) Transportation Fuels”, *IntechOpen Open Reviewed Chapter*
- Sarradea S. , Férona D. , Rouillarda F. , Perrina S. , RobinaR. , Ruizc J.-C. , Turc H.-A. , (2017), “Overview on corrosion in supercritical fluids”, *The Journal of Supercritical Fluids*, 335–344
- Söğüt O.Ö., 2011, “Süperkritik Su Oksidasyonu İle Endüstriyel Atık Suların Arıtılması”, *Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul*
- Zhang F. , Xu C. , Zhang Y. , Chen S. , Chen G. , Ma C. , 2014, “Experimental study on the operating characteristics of an inner preheating transpiring wall reactor for supercritical water oxidation: Temperature profiles and product properties”, *Journal of Energy*, 577-587
- Zhang X., Heinone S., Levanen E., 2014, “Applications Of Supercritical Carbon Dioxide In Materials Processing And Synthesis”, *RSC Advences*, Issue 105
- Xu D.H. , Wang S.Z. , Gong Y.M. , Guo Y. , Tang X.Y. , Ma H.H. , 2010, “A novel concept reactor design for preventing salt deposition in supercritical water”, *Chemical Engineering Research and Design*, 1515–1522
- Xu D. , Wang S. , Tang X. , Gong Y. , Guo Y. , Wang Y. , Zhang J. , 2012, “Design of the first pilot scale plant of China for supercritical water oxidation of sewage sludge”, *Chemical Engineering Research and Design*, 288–297

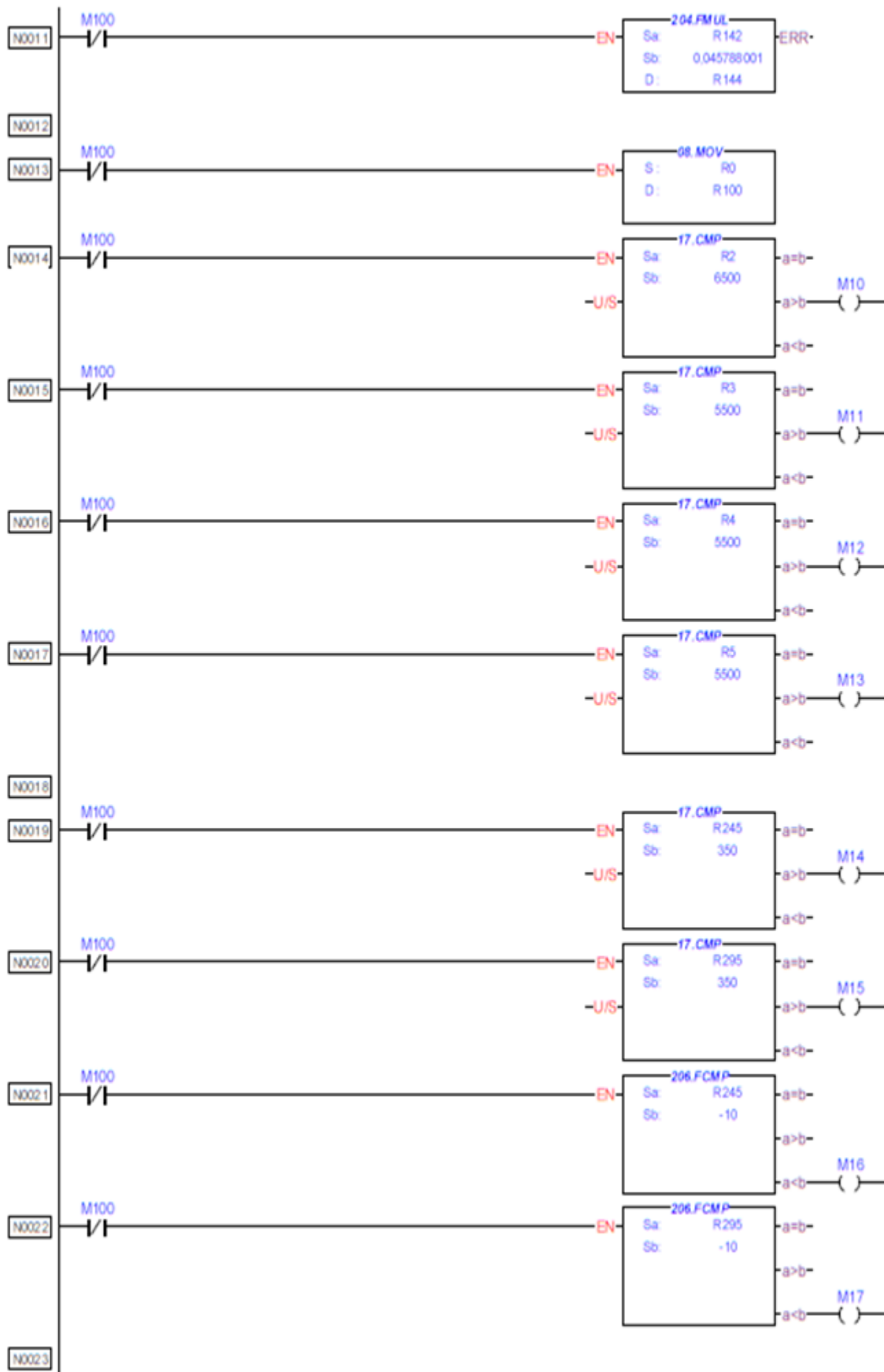
EKLER

Ek-1 PLC Kontrol Şeması

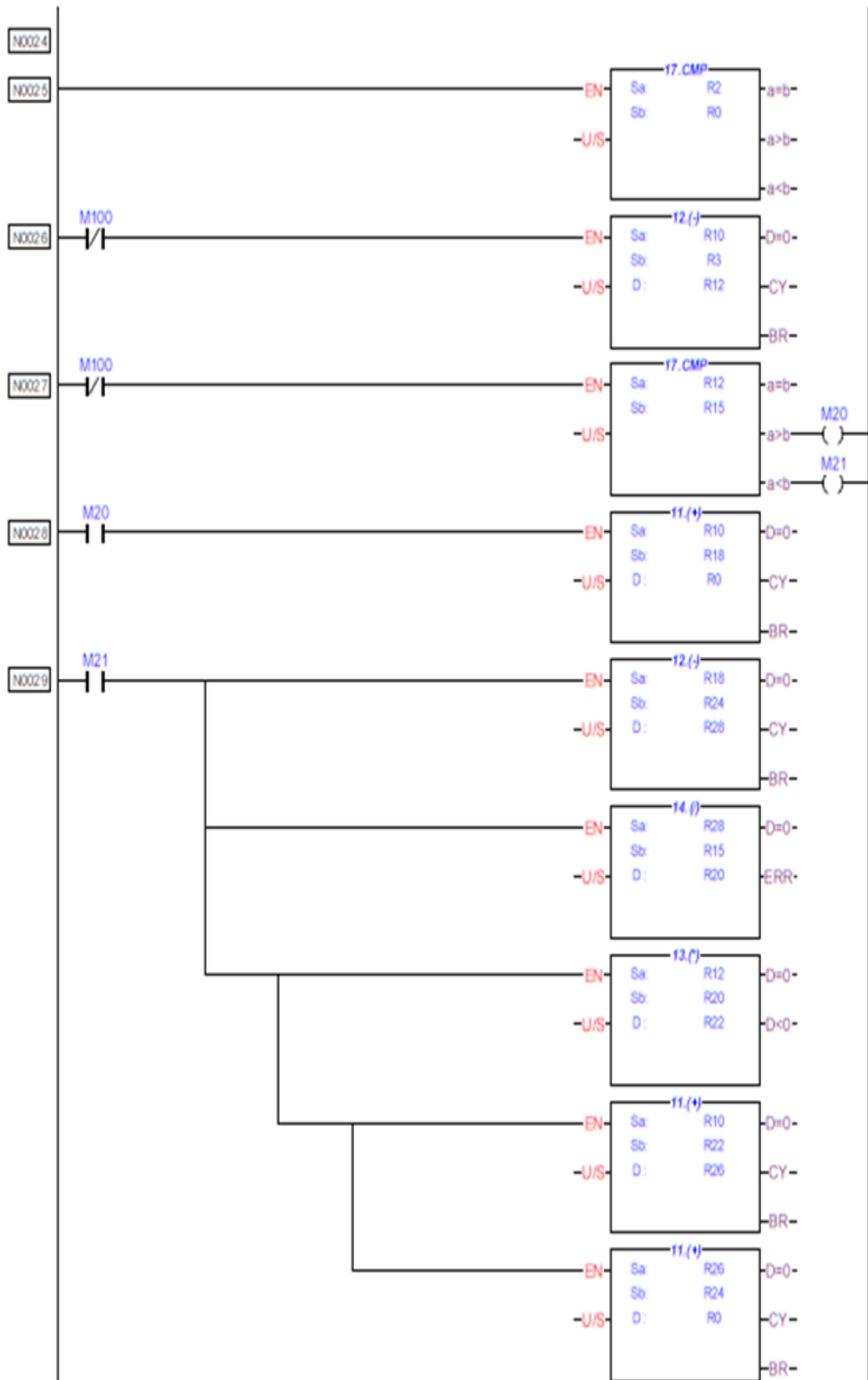
Printed Item: Ladder Diagram - Main_unit1



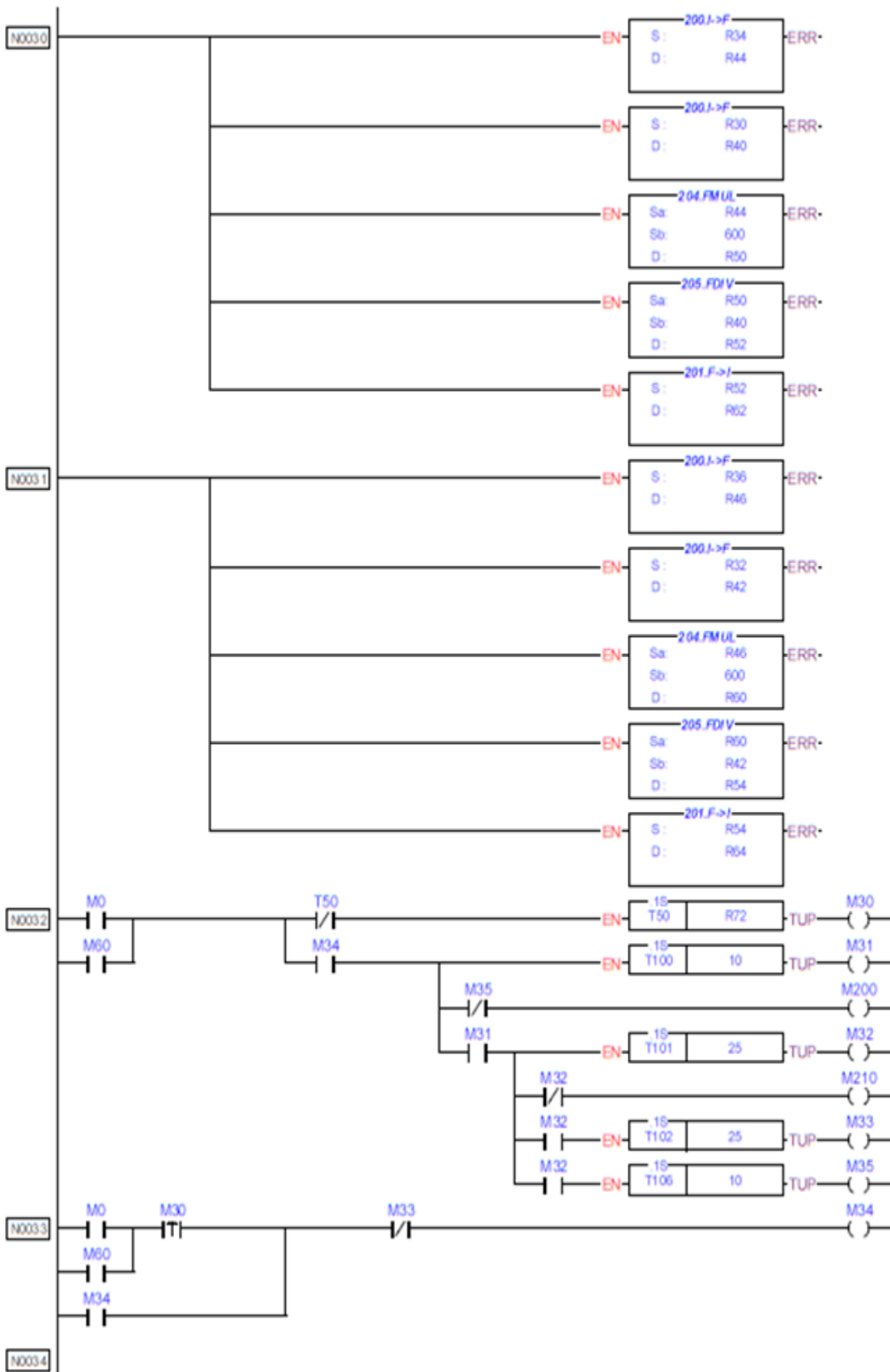
Printed Item: Ladder Diagram - Main_unit1



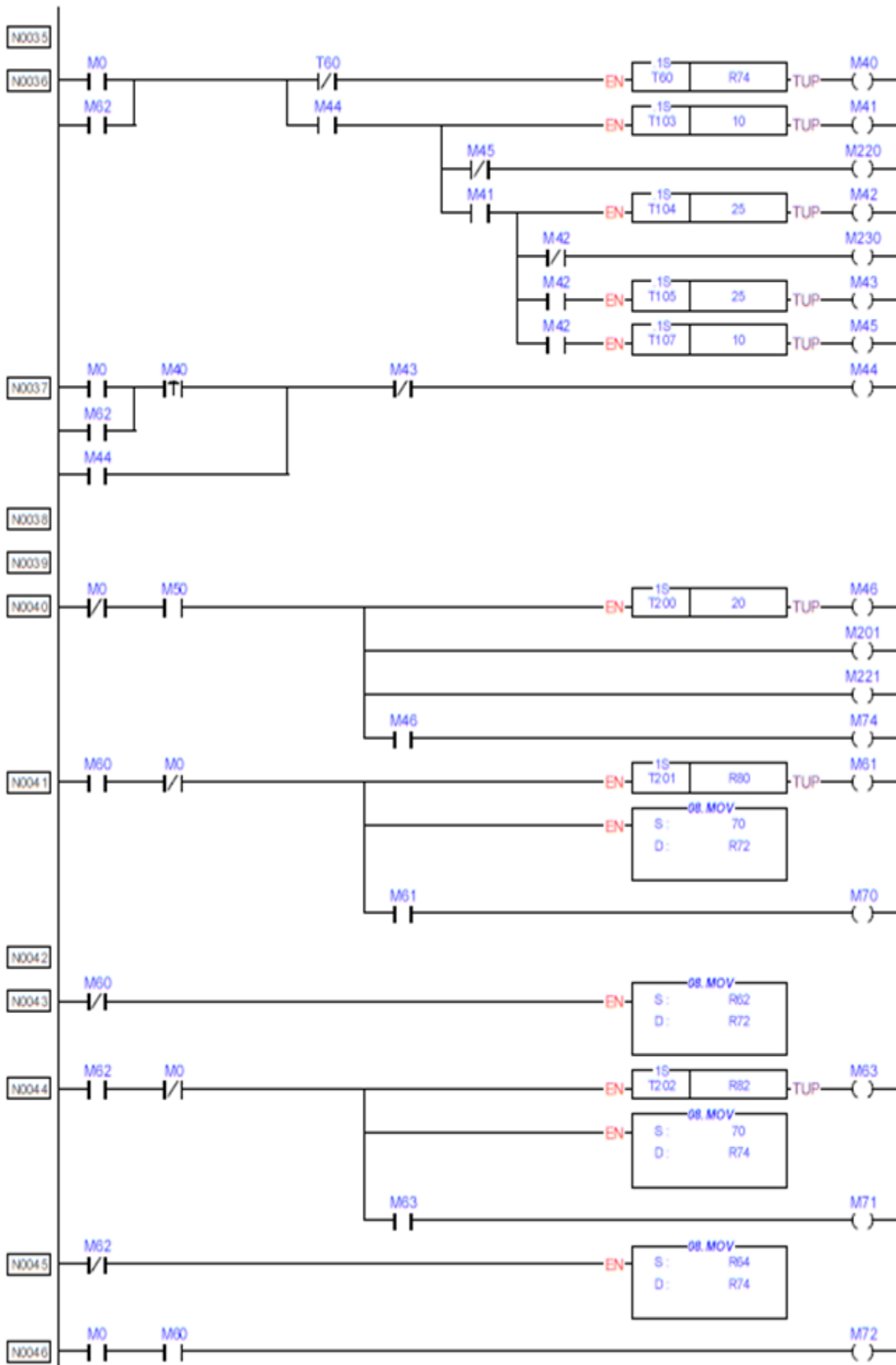
Printed item: Ladder Diagram - Main_unit1



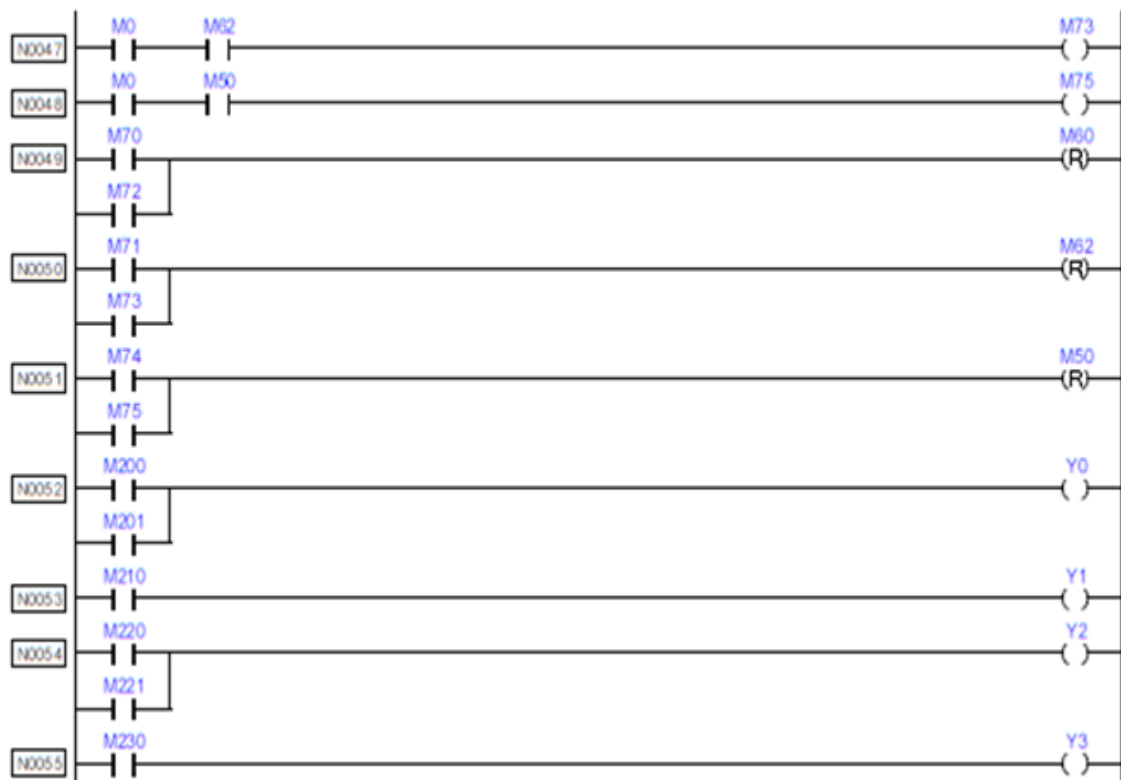
Printed Item: Ladder Diagram - Main_unit1



Printed Item: Ladder Diagram - Main_unit1



Printed item: Ladder Diagram - Main_unit1



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Fatih GERÇEK
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : KARAMAN, 02.04.1991
Telefon : 05386663714
Faks :
e-mail : fatihgercek70@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Toki Anadolu Lisesi, Merkez, Karaman	2009
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2014
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi, Selçuklu, Konya	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2012	Mepsan Petrol Cihazları	Stajyer
2013	FMC Hidrolik	Stajyer
2017	Biosan Kimya Laboratuvar Cihazları	Kalite Kontrol Sorumlusu
2018	Pard Mühendislik Ve Otomasyon	Tasarım Ve İmalat Sorumlusu

YABANCI DİLLER

İngilizce (YDS-52.50)

Katıldığı Kongreler

Gerçek F., Bağcı M., Argun M., 2017, ‘‘Süperkritik Su Oksidasyon Cihazı Tasarımı, İmalatı Ve Performans Analizi’’, 2. Uluslararası Mühendislik Mimarlık Ve Tasarım Kongresi, 700-701, Kocaeli