

MARS ATMOSFERİNDEN SÜRDÜRÜLEBİLİR MİNİ ETİLEN ÜRETİM TESİSİ KONSEPT TASARIMI

Özgün DELİİSMAİL¹ ve Erol ŞEKER^{2*}
SOCAR Turkey ARGE ve Inovasyon Şirketi, Aliağa, İzmir, TÜRKİYE¹
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü, Urla, İzmir, TÜRKİYE^{2*}

ÖZET

Teknoloji dünyasındaki rekabetçi ortam son zamanlarda üç-boyutlu baskı malzemelerinin üretiminin yükselen bir eğilim içerisinde girmesini sağlamıştır. İlerleyen zamanlarda Dünya’da ve güneş sisteminde bulunan diğer gezegenlerde geleceğin inşa edilmesinde üç-boyutlu baskı teknolojisi güçlü bir oyuncu olacaktır. Gelişen üç-boyutlu baskı teknolojisi ile düşük yerçekimi altında gerçekleştirilen uzay araştırmalarında yeni veya hasarlı ekipmanlar anında değiştirilebilir veya güneş sistemindeki gezegenlerde üç boyutlu baskı ile habitatlar üretilebilir. Bu durum, uzay operasyonlarının ve gelecekte ön görülen kolonizasyonun sürekliliğini sağlayan faktörlerden biri olacaktır. İlerleyen zamanlarda günümüzdeki üç boyut baskı filamentlerin yerini alabilecek olan yüksek yoğunluklu polietilen, tipik “Phillips” veya “Ziegler-Natta” katalizörlerinin varlığında etilenden üretilir. Bu nedenle, bu çalışmada ilk olarak Mars’ta kullanılmak üzere “scale-out” mimarisine sahip kendi kendine yetebilen ve Mars atmosferinde bulunan karbondioksitten mini etilen üretim tesisinin konsept tasarımına odaklanılmıştır. Bu amaçla, Mars yüzeyinde mini-etilen üretim modülünün simülasyonu, Honeywell UniSIM® Design R460 programının MATLAB ile CAPE OPEN uzantısı ile entegre edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, etilen üretim miktarı 100 modül için 17,72 ton/yıl olarak hesaplanmıştır.

GİRİŞ

1957’de fırlatılan ilk yapay Dünya uydusu Sputnik 1’den sonra insanlık, Dünya’nın ötesinde kendi kendini idame ettiren bir uygarlık inşa etme üzerine bir misyona sahip oldu. Astrobotics, SpaceX ve Nanoracks gibi özel şirketlerin büyümesiyle uzay araştırmalarında yeni rönesans denilebilecek bir döneme girildi. Küresel uzay ekonomisi pazarının ise 2030 yılına kadar 400 milyar £’e kadar büyümesi öngörülmektedir [Parliament.uk, 2017].

Güneş sisteminde bulunan Ay ve Mars, birçok operasyonel ve meteorolojik nedenlerden dolayı insanlığın kolonileşmek istediği başlıca bölgeler iken, buralardaki asıl sorun ise atmosferin yokluğu, alçak yüzey basıncı ve düşük yerçekimi gibi ekstrem koşulların varlığıdır. Bu nedenle, Dünya koşullarında geliştirilen matematiksel ve fiziksel modeller bu gezegenlerde geçerli olmamakla birlikte özel yaklaşımlar gerektirmektedir.

¹ Dr. Özgün Deliismail., E-posta: ozgun.deliismail@socar.com.tr

² Prof. Dr. Erol Şeker, Kimya Müh. Böl., E-posta: erolseker@iyte.du.tr

Asıl soru ise karasal/dünyasal yaşamdan öteye geçişin nasıl olacağıdır: Sürdürülebilir mi yoksa sürdürülemeyen mi. Bu nedenle, Dünyanın ötesinde sürdürülebilir bir gezegen yaratmak için kolonileşme sırasında ve sonrasında sermaye ve işletme maliyetlerini azaltmak önemli bir faktördür. Bu nedenle, özellikle insanlar için su, oksijen, gıda gibi temel ihtiyaçlarının yanı sıra kimyasal, elektrik, yakıt üretilmesi için otonom sürdürülebilir yaşam desteği, kimyasal ve enerji üretim sistemleri geliştirilmelidir.

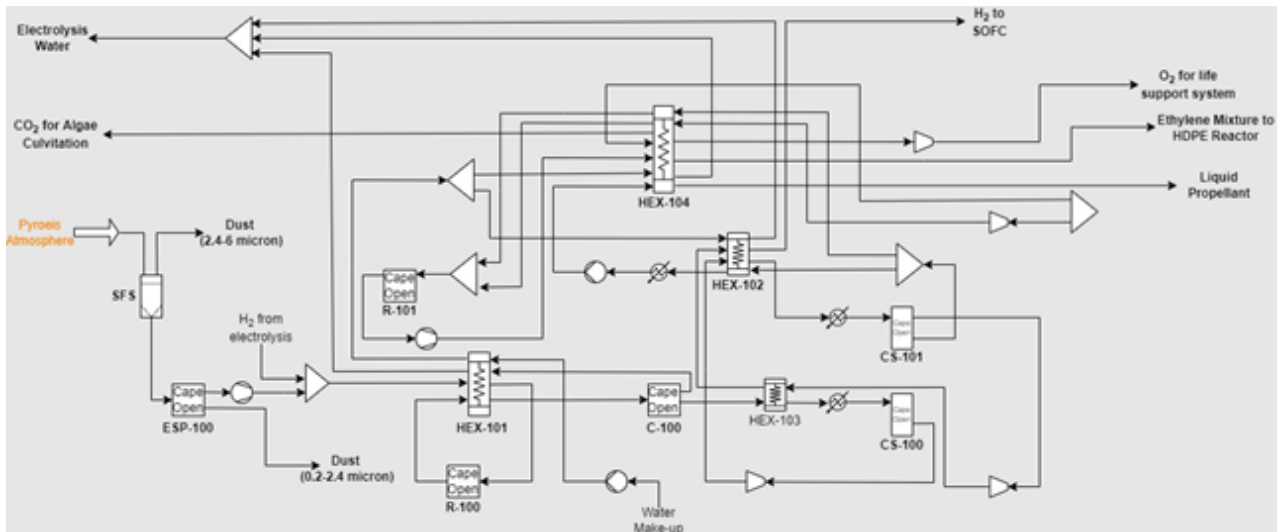
Uzay araştırmaları ve kolonileşme sırasında başka bir sorun daha ortaya çıkacaktır: Operasyonda süreklilik. Gerekli kimyasalların sürdürülebilir bir şekilde üretilerek operasyonel gecikmelerin ve maliyetlerin önüne geçilmesi gerekmektedir. Çünkü Dünya'dan uzay istasyonuna veya diğer gezegenlere tüm maddelerin veya bunların yedeklerinin götürülmesi operasyonel maliyetler nedeniyle her zaman mümkün olmayacaktır. Bu nedenle, ana kimyasallar ve temel ihtiyaçlar bulunan bölgede anında üretilmelidir. Örneğin, bir ekipmanın herhangi bir parçası hasar görmüş ise alternatifi sıfır yerçekiminde bulunan uzay istasyonunda üretilmelidir. Ayrıca Mars'ta derin uzay araştırmaları için 3 boyutlu habitatların inşa edilmesi önemlidir. Bu nedenle 3 boyutlu baskı için yüksek yoğunluklu polietilen gibi polimerleri getirmek her zaman mümkün olmayacaktır. Buradaki diğer sorun, büyüklüğü ve uygulanabilirliği nedeniyle Mars'ta Dünya'daki gibi bir kimyasal tesis kurmanın şimdilik mümkün olmamasıdır.

Bu çalışmada ise bu soruna bir çözüm önerisi olarak "scale-out" mimarisine sahip modüler, esnek, otonom ve üç-boyutlu baskı malzemesinin ham maddesi için gerekli olan etilen üretimi yapabilen modülün konsept tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Bildiğimiz kadarıyla, literatürde MATLAB® ile entegre Honeywell UniSIM® R460 gibi geleneksel simülasyon ortamı kullanılarak düşük yerçekiminde Mars atmosferinden mini-etilen üretim modülü üzerinde bir simülasyon çalışması bulunmamaktadır. Bu çalışmada, Mars atmosferinde bulunan karbondioksiti ham madde olarak kullanan mini-etilen üretim modülünün içerisindeki ünitelerin modellenmesi ve simülasyonu, Mars'ın düşük yerçekimi, düşük yüzey basıncı ve atmosfer yokluğu gibi koşullarında sürdürülebilirlik göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir.

YÖNTEM

Mini-etilen üretim modülü, "scale-out" mimarisi ile tasarlanmış olup içerisinde toz tutma sistemleri, entegre reaktör ve ayrıştırma/safılaştırma üniteleri barındırmaktadır. Mars yüzeyinde yılda 100 modül için yaklaşık 18 ton etilen üretimi hedeflenmektedir. Bu amaçla her modüle 6 kg/saat karbondioksit içeren Mars atmosferi beslenmektedir. Bir modül kabaca 2,83 m × 1,44 m × 1,62 m büyüklüğe sahip olup etilen üretimini daha esnek, kullanımı kolay ve daha güvenli halde gerçekleştirilmesi için tasarlanmıştır. Başka bir deyişle, bu tasarım mimarisi kapasiteyi artırmak için yeni modül ekleme veya herhangi bir arızada kaldırma kolaylığı sağlamaktadır. Şekil 1, bir modül içerisindeki süreç akış şemasını göstermektedir.



Şekil 1: Süreç akış şeması

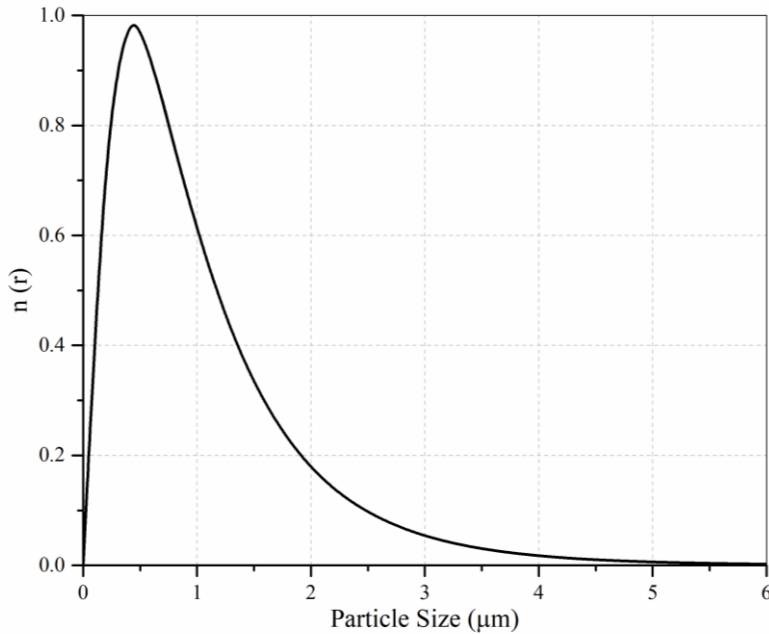
Mini etilen üretim modülünün simülasyonu Honeywell UniSIM® Design R460 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Termodinamik model olarak Peng-Robinson hal denklemi baz model kullanılmıştır. Peng-Robinson hal denklemi genellikle doğal gaz ve hem saf hem de karışım hidrokarbonlar için kullanılır ve Soave-Redlich-Kwong (SRK) denklemine kıyasla sıvı yoğunluklarının tahmininde büyük avantaj sağlar [Peng ve Robinson, 1976]. Hintze et al. (2018) COCO ile gerçekleştirdiği simülasyon çalışmasında, Mars yüzeyinde Sabatier reaksiyonlarının simülasyonunu gerçekleştirmiş ve Peng-Robinson denklemini kullanmıştır. Bu nedenle, UniSIM® programının veritabanında bulunan bileşenlerin tüm termodinamik ve fiziksel özellikleri Peng-Robinson'ı baz alan sıvı paketinden elde edilmiştir.

Bununla birlikte, kullanılan simülasyon ortamı yerçekimini değiştirmeye izin vermemektedir. Bu nedenle UniSIM® Design R460'ta önceden tanımlanmış birimleri (denge reaktörü, kondenser vb.) kullanmak yerine MATLAB®'de tasarlanan ünitelerin simülasyon programına bağlantısı CAPE OPEN uzantısı ile gerçekleştirilmiştir. CAPE OPEN uzantısı, simülasyon ortamında bir arayüz sunarak, MATLAB® kodunun simülasyon ortamına yerleştirilmesini kolaylaştırmaktadır ve bu sayede, MATLAB®'de zaman tamponu kullanımına veya programlar arasında OPC bağlantı oluşturulmasına gerek kalmamıştır. Her ünitenin tasarımı için tüm modelleme denklemleri tam diferansiyel denklemlere dönüştürülmüş ve MATLAB®'de ode23s çözücü kullanılarak çözülmüştür.

UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

Mars Tozu Tutma Sistemi (ESP-100)

Mars atmosferinde, asılı parçacıkların boyutu 0,1-6 μm arasında değişmektedir. Silisyum ve demir (III) oksit, Mars tozunu oluşturan ana bileşenler olup, 1 cm^3 atmosferdeki partikül sayısı 6 olarak bulunmuştur [Perko ve ark., 2002]. Böylece, modüle 6 kg/h karbondioksit beslemesi sırasında modülün girişinde yaklaşık 165,89 kg/s Mars tozu bulunmaktadır. Bu nedenle, bu tozlar ünitelerin tıkanmasını ve şişmelerini önlemek için modül girişinde toplanmalıdır. Parçacık boyutu dağılımını belirlemek için modifiye edilmiş gama fonksiyonu kullanılmıştır [Landis, 1996]. Şekil 2, Mars tozunun parçacık boyutu dağılımını göstermektedir.



Şekil 2: Mars tozunun partikül boyut dağılımı

Mars tozunun 2.4-6 μm boyut aralığındaki partikül miktarı 97,45 kg/s iken 0,2-2,4 μm aralığında ise 68,44 kg/s olduğu hesaplanmıştır. Boyutu 2,4-6 μm arasında değişen Mars tozunu toplamak için ekran filtresi ve çarpma (impactor) filtresi kullanılırken 0,2-2,4 μm arasındaki tozu toplamak için elektrostatik çöktürücü kullanılmıştır.

Tel silindri elektrostatik çöktürücü 0,2-2,4 µm aralığındaki tozları toplamak için tasarlanmıştır. Çalışma koşulları Clements ve ark. (2011) tarafından verilen I-V eğrisinden yola çıkılarak belirlenmiş olup 0,65 cm radyal mesafe için tel ve silindir yarıçapları sırasıyla 38,23 µm ve 6,99 cm'dir. Tel-silindir aktif uzunluğu 91,44 cm olarak hesaplanmıştır. Elektrostatik çöktürücünün girişinde gaz karışımındaki karbondioksit miktarı diğer bileşenlere göre çok daha fazla olduğu için, çalışma basıncında iyon hareketliliği ve diğer hesaplamalarda referans bileşen olarak karbondioksit kullanılmıştır. Elektrik alan bu özellikler kullanılarak hesaplanmış ve 0,37 kV/cm olarak bulunmuştur. Parçacıkların ortalama migrasyon hızı 248,52 m/s olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada, tüm maruz kalma süreleri ve parçacık boyutları için, difüzyon yüklemesi Pauthenier (alan) yüklemesinden daha büyük olduğu görülmüştür. Pauthenier yüklemesi ile karşılaştırıldığında tüm maruz kalma süreleri ve parçacık boyutları için difüzyon yüklemesinin baskın olduğu söylenebilir. Difüzyon yoluyla partikül yükü, gazların kinetik teorisi ile hesaplanmış ve maksimum 2,4 µm çapındaki toz partikülleri için 0,01 s'de 41,67 pC olarak bulunmuştur.

Modül girişinde tüm Mars tozu toplandıktan ve giriş basıncı artırıldıktan sonra 12,70 atm ve 93,30 °C 'de 3,13 kg/h sudan 2,78 kg/h oksijen ve 0,35 kg/h hidrojen üreten Statik Besleme Elektroliz modülünden (SFWEM) gelen hidrojen ile karıştırılmıştır. Daha sonra karışım, sıcaklığının Sabatier reaksiyonlarına uygun hale getirilmesi için HEX-101'e gönderilmiştir. R-100'ün giriş akımının özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. R-100 Giriş Akımının Özellikleri

R-100		
Sıcaklık (°C)	400	
Basınç (atm)	12,56	
Akış (kg/h)	6,566	
Kompozisyon (mol)	Metan	0,000000
	CO ₂	0,430566
	CO	0,000361
	H ₂ O	0,000000
	H ₂	0,548295
	O ₂	0,000587
	Argon	0,007227
	Nitrojen	0,012195
	NO	0,000768
	Mars Tozu	0,000000

Metanlaşma Reaktörü (R-100)

Mars atmosferinden toz uzaklaştırıldıktan sonra, etilen üretimi için hammadde olan metanı üretmek için adyabatik, borusal R-100 reaktörüne karbondioksit ve soy gazlar gönderilmiştir. Sabatier reaksiyonu için, karbon dioksit, köpük tipi Ni/MgAl₂O₄ katalizörü içeren reaktörde hidrojen ile reaksiyona girmiştir. R-100'ün çalışma sıcaklığı ve basıncı sırasıyla 400 °C ve 12,56 atm'dir. Reaktör tüpleri boyunca basınç düşüşünü önemli ölçüde azaltmak için köpük tipi katalizör kullanılmıştır. Tüplerden geçen basınç düşüşü çok küçük hesaplanmış olup çıkış basıncı 12,56 atm'ye çok yakın bulunmuş ve bu nedenle reaktördeki basınç düşüşü ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür. Reaktördeki tüp sayısı herbiri 10 mm çapa sahip 4000 adetten oluşmaktadır. Reaktörün uzunluğu 140 cm olarak hesaplanmıştır. Toplam reaksiyon ekzotermik davranış sergilediği için çıkış sıcaklığı artış göstermiş ve 419,8 °C olarak bulunmuştur. Reaksiyon sonunda karbondioksit dönüşümü %32 olarak hesaplanmıştır. Metanasyon reaktörünün çıkış özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca, R-100'ün metan üretim kapasitesi 100 modül için 92,48 ton/yıl olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. R-100 Çıkış Akımının Özellikleri

R-100 Çıkış		
Sıcaklık (°C)	419,8	
Basınç (atm)	12,56	
Akış (kg/h)	6,566	
Kompozisyon (mol)	Metan	0,145708
	CO ₂	0,378209
	CO	0,032590
	H ₂ O	0,323539
	H ₂	0,093122
	O ₂	0,000758
	Argon	0,009333
	Nitrojen	0,015749
	NO	0,000992
	Mars Tozu	0,000000

Kondenser (C-100)

Modülde istenilen bileşeni sıvı olarak gaz karışımından ayıran C-100 adlı bir kondenser vardır. Dış sıcaklık 210 K olduğundan, ek soğutma ortamı veya elektrikli soğutma sistemi gerektirmemek için tüplerin yüzeyi dışarıya açık olarak tasarlanmıştır. Modüldeki kondenser, tüp içinde konvektif yoğuşma olarak tasarlanmış ve tüpteki akış tipi dairesel olarak kabul edilmiştir. Tüm denklemleri aynı anda çözmek için modele bazı modifikasyonlar uygulanmıştır. İlk olarak boyutsuz kayma gerilmesinin kökleri olan M parametresi bulunmuş ve daha sonra ReL, ReV, uV, uL ve M, z'nin bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır.

C-100, R-100'den gelen gaz karışımındaki suyu uzaklaştırmak için tasarlanmıştır. Reaktör çıkışındaki su, hidrojen ve oksijen üretmek için kullanılan SFWEM'de kullanılmak üzere yoğunlaştırılmıştır. C-100'den yoğuşan suyun sıcaklığı -30,15 °C olarak belirlenmiştir. Bu nedenle, akım sıcaklığını SFWEM'in çalışma sıcaklığı olan sıcaklığını 93,30 °C'ye çıkarmak için HEX-101, ekonomizerlerine gönderilmiştir. Kondensat kütlesi 1,4291 kg/saattir, dolayısıyla istenen hidrojen miktarını üretmek için SFWEM için yaklaşık 1,6984 kg/saat su takviyesi gerekmektedir. Takviye su sıcaklığı 25,10 °C'den 93,30 °C'ye çıkarmak için sırasıyla HEX-101, HEX-102 ve HEX-104'e gönderilmiştir. Kondenser çapı ve uzunluğu sırasıyla 0,46 cm ve 83,8 cm olarak hesaplanmıştır. Ayrıca tüp içindeki film kalınlığı 0,00493 cm olarak bulunmuştur.

İki-faz ayırıcı (CS-100, CS-101)

Bu özel ünite, düşük yerçekiminde iki fazlı akımları ayırmak için Kuravi ve ark. (2004) tarafından tasarlanmıştır. Bu çalışmada, düşük yerçekimi koşulları altında ve kriyojenik sıcaklıkta R-100 ürünlerinden olan karbondioksit ve hidrojeni uzaklaştırmak için sarmal yapıda iki fazlı ayırıcılar tasarlanmıştır. CS-100, -131,4 °C ve 12,29 atm'de karbondioksiti ayırmak için kullanılırken -200 °C ve 9,73 atm'de hidrojeni ayırmak için ise CS-101 kullanılmıştır. Tablo 3, CS-100 ve CS-101'in özelliklerini göstermektedir.

Santrifüjlü iki faz ayırıcı tasarımı sıvı faz olarak karbondioksit ve gaz faz olarak hidrojeni ayırmak için minimum 6g hızlanma gerekmektedir. Dikey yerleştirme tercih edilmiş olup bu yerleştirme biçiminde sıvı damlacıklarının deliklerden geçmeye başladığı dairesel rejim, yatay yerleştirmeye kıyasla düşük yüzeyel hızlarda meydana gelmektedir.

Tablo 3. CS-100 ve CS-101 Özellikleri

Özellikler	CS-100	CS-101
Tüp uzunluğu (m)	1,402	0,507
Tüp çapı (m)	0,01	0,006
Sarmal uzunluğu (m)	0,134	0,054
Sarmal çapı (m)	0,0041	0,0018
Delik çapı (m)	0,0002	0,0002
Delikler arası mesafe (m)	0,0005	0,0002
Delik sayısı	2803	1268
Sarmal sayısı	11	10

Sarmal çapı, 6g ivmeyi sağlayacak şekilde seçilmiştir. Kuravi et al. (2004), farklı sarmal yarıçaplarında iki fazlı karışımın merkezkaç ivmesi ile farklı ortalama hızları arasındaki ilişkiyi vermiştir. Bu nedenle sarmal çapı, çıkan sıvı fazının deliklere tekrar girmesini engelleyecek şekilde seçilmelidir. CS-100 ve CS-101 girişindeki gaz fazının yüzeysel hızları sırasıyla 0,20 m/s ve 0,13 m/s 'dir. Bu nedenle seçilen sarmal yarıçapları, hesaplanan ortalama hızlar için 6g ivmeye ulaşmak için yeterlidir. Ayrıca, sarmal çapı yeterince küçük olduğunda ve düşük yüzey hızlarında bir akış rejiminden diğerine geçiş meydana gelmektedir ve küçük sarmal çapı için merkezkaç kuvveti yerçekimi kuvvetinden daha baskındır.

Tasarlanan bu ünite ile hidrojen, %97,62 saflıkta gaz fazı olarak ayrılmıştır. Katı oksit yakıt pilinin 1,20 atm'de elektrik üretebilmesi için hidrojenin basıncı öncelikle 1,48 atm'e düşürülmüş daha sonra sırasıyla HEX-103 ve HEX-102 ekonomizerlerine gönderilerek sıcaklığı 155,1 °C 'ye çıkartılmıştır. Ayrıca, optimizasyondan sonra, hidrojenin bir kısmı yüksek yoğunluklu polietilen üretiminde reaktan olarak kullanılabilir.

Etilen Üretim Reaktörü (R-101)

Su, karbon dioksit ve hidrojenin R-100 çıkışından ayrılmasından sonra, metanın oksijen ile oksidatif birleşme reaksiyonlarına girebilmesi için R-101'e gönderilmiştir. R-101'in çalışma sıcaklığı ve basıncı sırasıyla 850 °C ve 9,59 atm'dir. Metan ile SFWEM'den gelen oksijenin sıcaklığı HEX-104 ekonomizer ile 850 °C'ye yükseltilmiştir. R-101, her biri 4 cm çapında ve 140 cm uzunluğunda 1000 tüplü adyabatik boru şeklinde tasarlanmış olup tüplerdeki basınç düşüşünü azaltmak için köpük tipi Li/MgO katalizörü kullanılmıştır. Reaksiyonun sonunda, sıcaklık ve basınç önemli ölçüde değişmemiştir. R-101'in özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.

Etilen, geleneksel "Phillips" veya "Ziegler-Natta" katalizörü varlığında yüksek yoğunluklu polietilenin üretimi için hammadde olarak kullanılacaktır. Katalizörlerin tipik çalışma sıcaklığı ve basınç aralığı sırasıyla 70-110 °C ve 9,87-29,61 atm arasındadır [McDaniel, 2010]. Bu nedenle, R-101'in çıkış basıncı önce 12,56 atm'ye çıkartılmış, daha sonra sıcaklığını bu katalizörler ile HDPE üretimine uygun sıcaklık olan 110 °C yapmak için HEX-104 ekonomizerine gönderilmiştir.

Metan R-101'e gönderilmeden önce fraksiyonlanarak kütlece %25'i R-101'e gönderilmiştir. Metanın diğer kısmı ise HEX-102 ekonomizerine ve K-101 kompresörüne gönderilerek sıcaklığı -17,56 °C'ye ve basıncı ise 54,28 atm'e ayarlanmıştır. Daha sonra sıcaklığı sıvı olarak depolanmasına uygun hale getirilmesi için HEX-104'e gönderilmiştir. 100 modül için yılda toplam 288,192 ton metan sıvı yakıt olarak -97 °C ve 54,14 atm'de depolanabilmektedir.

SFWEM, istenen hidrojen miktarını karşılamak için 2,78 kg/saat oksijen üretebildiğinden, yaşam destek sistemlerinde kullanılacak 2,6274 kg/saat fazla oksijen bulunmaktadır. Oksijenin koşullarını yaşam destek sistemlerine uygun hale getirmek için ilk olarak HEX-104 ekonomizerine gönderilerek sıcaklığı 93,3 °C'den 206,9 °C'ye yükseltilmiş ve ardından basıncı 12,56 atm'den 1 atm'ye düşürülmüştür. Çalışmanın sonunda, fütüristik evlerin, roketlerin veya uzay istasyonlarının yaşam destek sistemleri için kullanılacak olan 25 °C ve 1 atm'de toplam 2.627 kg/h oksijen bulunmaktadır.

Tablo 4. Etilen üretim reaktörünün özellikleri (R-101)

R-101		
Sıcaklık (°C)	850	
Basınç (atm)	9,59	
Akış (kg/h)	0,3682	
Kompozisyon (mol)	Metan	0,192140
	CO ₂	0,244805
	CO	0,000435
	H ₂ O	0,055004
	H ₂	0,321174
	O ₂	0,056546
	Etilen	0,045639
	Etan	0,006301
	Argon	0,027307
	Nitrojen	0,049503
	NO	0,001148
	Mars Tozu	0,000000

Bütün ana üniteler hesaba katıldığında, her modül için 6 kg/h karbondioksit içeren Mars atmosferi beslemesinden 100 modül için toplam etilen üretim kapasitesi 17,71 ton/yıl olarak bulunmuştur. Daha önceden bahsedildiği gibi, Mars atmosferinden mini etilen üretim tesisi, “scale out” mimari olarak tasarlanmıştır, bu nedenle modüller seri olarak yan yana eklenerek bu üretim kapasitesi artırılabilir.

Bir modül için net güç ihtiyacı ise 4,47 kW olarak hesaplanmış olup, bunun %76,50'si SFWEM, kalanı ise elektrostatik çöktürücü, mikro kompresörler ve ısıtıcılar için gerekmektedir. NASA tarafından geliştirilen Yüksek Yoğunluklu Katı Oksit Yakıt Pili kullanılarak reaksiyona girmemiş hidrojen miktarı ile bir modülün güç ihtiyacının %2,53'ünü sağlanabilir [T. L. Cable et al., 2014; T. L. Cable and Sofie, 2009; T. L. Cable and Sofie, 2014].

SONUÇ

Honeywell UniSIM® Design R460, Mars atmosferinden mini etilen üretim tesisinin konsept tasarımını simüle etmek için kullanılmıştır. MATLAB® ile CAPE OPEN uzantısı ile entegre edilmiş ve modül içerisindeki ana üniteler düşük yerçekimi ortamında modellenmiştir. Tasarlanan sistem, 100 modül için yılda 17,71 ton etilen üretirken bir modülde entegre metan ve etilen üretim reaktörleri ile ayrıştırma ve saflaştırma üniteleri bulunmaktadır. Tasarlanan modül, etilen üretiminin yanı sıra oksijen, sıvı yakıt ve elektroliz için su üretimi sağlamaktadır. Ayrıca, katı oksit yakıt pili kullanılarak reaksiyona girmemiş hidrojen ile elektrik üretimi de gerçekleştirilmektedir. Modül, düşük yerçekimi ortamında farklı kimyasallar üretmek için farklı hammaddelere kolayca uyarlanabilir. Bu çalışma, ilk olarak Mars'ta etilen üretimine odaklanmış olsa da daha sonra yüksek yoğunluklu polietilen üretimi için optimize edilebilir ve içeriği genişletilebilir.

Kaynaklar

Cable, T. L., Setlock, J. A., Farmer, S. C., 2014. Method for making a fuel cell. US 8,715,886 B1.

Cable, T. L., Sofie, S. W., 2009. Symmetrical, bi-electrode supported solid oxide fuel cell. US 7,534,519 B2.

Cable, T. L., Sofie, S. W., 2014. Method for making a fuel cell from a solid oxide monolithic framework. US 8,697,313 B2.

- Clements, J. S., Johansen, M. R., Lowder, M. L., Thompson, S. M., Williams, B. S., Calle, C. I., Cox, N. D., Hogue, M. D., 2011. Development of an electrostatic precipitator to remove martian atmospheric dust from isru gas intakes during planetary exploration missions, 2011. IEEE Industry Applications Society Annual Meeting
- Hintze, P. E., Meier, A. J., Shah, M. G., DeVor, R., 2018. Sabatier system design study for a mars isru propellant production plant, New Mexico, 2018. 48th International Conference on Environmental System
- Kuravi, S., Glassman, B., Lin, Y.-r., Du, J., Zhao, G., Chow, L., Rini, D., 2004. Design of a two-phase separator for variable gravity applications.
- Landis, G. A., 1996. Dust obscuration of mars solar arrays. *Acta Astronautica* 38, 885-891. [https://doi.org/10.1016/S0094-5765\(96\)00088-4](https://doi.org/10.1016/S0094-5765(96)00088-4)
- McDaniel, M. P., 2010. Chapter 3 - a review of the phillips supported chromium catalyst and its commercial use for ethylene polymerization, in: Gates, B. C., Knözinger, H. (Eds.), *Advances in catalysis*. Academic Press, United States of America, pp. 123-606.
- Parliament.uk. 2017. Space sector report. <https://www.parliament.uk/documents/commons-committees/Exiting-the-European-Union/17-19/Sectoral%20Analyses/34-Space-Report.pdf>
- Peng, D.-Y., Robinson, D. B., 1976. A new two-constant equation of state. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals* 15, 59-64. <https://doi.org/10.1021/i160057a011>
- Perko, H., Nelson, J., Green, J., 2002. Review of martian dust composition, transport, deposition, adhesion, and removal, New Mexico, 2002. *Space 2002 and Robotics 2002*