

DÜNYA DIŐINDAKİ GÖKCİSİMLERİ İÇİN SANTRİFÜJ POMPA SEÇİMİ VE OLASI SORUNLAR

Onur KONURALP

Layne Bowler Pompa Sanayi A.Ő.

Özgür CANBAZ

Layne Bowler Pompa Sanayi A.Ő.

Prof. Dr. Kahraman ALBAYRAK

Makina Mühendisliği Bölümü, ODTÜ

ÖZET

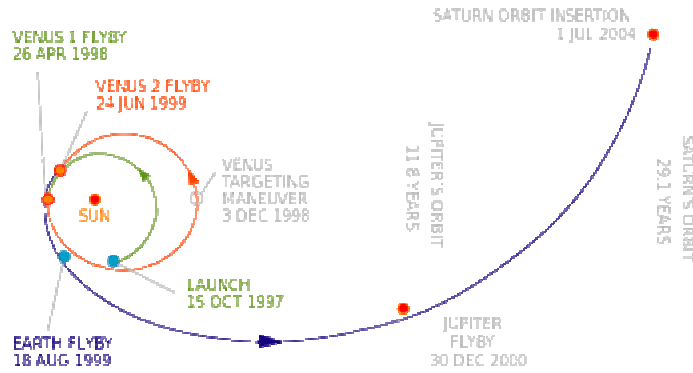
İnsanlık Dünya'yı keşfi ardından bitmek bilmez öğrenme, kendini arama çabalarını Dünya dışında da sürdürüyor. ÇeŐitli alanlardaki teorik bilgilerimiz Dünya dışında da doğrulanabilir, gözlenebilir, ölçülebilir, kaydedilebilir, izlenebilir bir durumda. Dünya'nın dışına yolculuklarda farklı bilim alanları "astral" üst başlığı altında çalışmalarını sürdürmekte. Her yeni yolculukta yeni sorulara yeni yanıtlar için yeni bakış açıları geliŐtiren insanlığın da yolculuğu sürmekte. Farklı fiziksel, kimyasal, biyolojik ortamlarda yeni koŐullara yeni bilimsel açıklamalar getirilirken, mühendisler de teoriden pratiğe dönen temel bilimlerin gereksinimlerine basit ya da kompleks çözümler bulmak için uğraŐmakta.

Uçmak, uçup güvenli bir şekilde dönmek, Dünya dışına çıkmak, orada kalmak, dönmek, aya inmek ve dönmek ardından da insansız da olsa uzak gök cisimlerine gitmek, incelemek, gözlemlemek, inmek şeklinde devam eden bu çabalardan en etkileyici olanlarından biri Cassini-Huygens Projesi'dir. Cassini geminin adı Huygens ise Titan sondasının adıdır. Satürn'ün bir çok uydusunu gözleyerek kayda geçiren Cassini ve Titan'ı keŐfeden Huygens onuruna adını alan bu proje ve uzay gemisi, on yıllara yayılan bir serüveni insanlığa yaşatmaya devam etmektedir. Güneş sistemimizi tanımak amaçlı bu projeler, sistemimizin iŐleyiŐi ve Dünya dışı gök cisimleri üzerindeki ön bilgilerimizi kökten deĐiŐtirmektedir.

Bu bildiriye Dünya dışı bir ortamda; Titan'da metan pompalamak için, hidrolik olarak temel seçim, tasarım ve işletme yaklaŐımları Dünya ile karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Temel kavramlar ve deĐiŐkenler ile bunların yaratacağı etkilerin üzerinde durularak bir genel yaklaŐım geliŐtirilmeye çalıŐılmıŐtır.

1. CASSINI-HUYGENS PROJESİ

1997 yılında Dünya'dan gönderilen Cassini, önce Venüs çevresinde iki tur atmıŐ, ardından Dünya çevresinde bir tur ile gezegenlerin merkezkaç kuvvetlerinden yararlanarak güneş sistemimizin iç bölgelerine doğru yola çıkmıŐtır [1]. Jupiter çevresinde tur atarken bir çok yeni uydu keŐfetmiŐ ve henüz yolculuğu sırasında sesli ve görsel haberleŐmeleri baz alan temel fizik alanında bir çok teoriyi test olanağı bulmuŐtur. Yedi yıla yakın bir süre sonunda asıl hedefi olan Satürn sistemine ulaŐmıŐtır. Yolculuğu kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir, (Şekil 1).

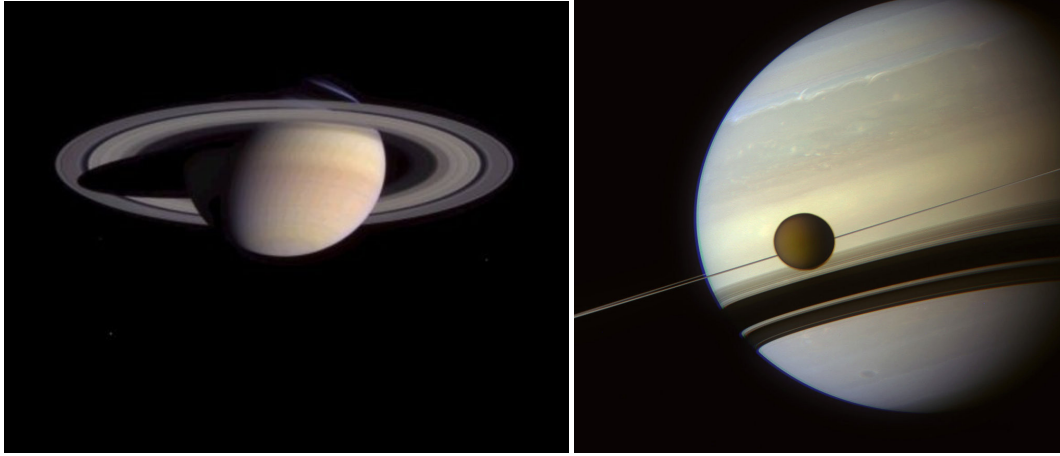


Şekil 1. Rota (NASA, Cassini sayfaları)

Cassini, 30 Aralık 2000'de başlayan Jüpiter geçiŐi sırasındaki incelemelerini Mart 2003'e dek sürdürdü. Çektiği onbinlerce yakın detaylı fotoğraf ile gezegenin bütünü ile taranmasını sağladı ve atmosfer yapısı, gezegen üzerindeki büyük kırmızı leke ile ilgili eŐsiz bilgileri Dünya'ya gönderdi. Sonra asıl hedefi olan Satürn sistemine

doğru yoluna devam etti. Yol boyu haberleşme temelli olarak Genel Görelilik Kuramını doğruladı. Bu doğrulama daha sonra Viking ve Voyager sondaları ile de tekrarlandı.

2004 başlarında Satürn sistemine ulaşan Cassini, daha sisteme girer girmez üç yeni uydu keşfi ardından 2005 yılında Kepler kuşağından iki yeni uydu daha keşfetti. 4 yıl içinde farklı halkalar arasında bir çok yeni uyduyu, yeni bambaşka ortamları Dünya ile tanıştırdı. Satürn ve büyük uyduları (Phobe, Titan, Enceladaus, Iapetus) etrafında dolaşmaya başlayan Cassini 25 Aralık 2004'te Huygens sondasını Titan'a bıraktı. 14 Ocak 2005'te Titan atmosferine giren sonda, 2,5 saat sonra Titan yüzeyine indi. Cassini üzerinde bulunan farklı ölçüm ve analiz ekipmanları ile Satürn sistemindeki gök cisimlerinde atmosfer yapısı, yeryüzü şekilleri, mevsimsel döngüler, yörüngeleri, halkalar v.b. konularda araştırmalarını sürdürüyor, (Şekil 2).



Şekil 2. Satürn (solda), Satürn ve Titan (Sağda), (NASA, Cassini sayfaları)

1.1. Güneş Sistemimizdeki Bazı Gezegenler ve Büyük Uydular, Genel Bilgiler

Dünya :

Yerçekimi ivmesi : $9,81 \text{ m/s}^2$ (g)

Atmosfer Basıncı : 101.3 kPa - 1 atm

Sıcaklık : -50 - +60 °C

Yüzey özellikleri : 2/3 sıvı halde su ve yoğun atmosfer (Oksijen-Azot)

Mars :

Yerçekimi ivmesi : $3,71 \text{ m/s}^2$ (0.38 g)

Atmosfer Basıncı : 0,65 kPa (yak. 0,006 atm)

Ortalama Sıcaklık : -63 °C

Yüzey özellikleri : silikon ve metal bazlı bir yüzey altında katı halde su varlığı tahmin edilmektedir. Kutuplarda buzullar vardır. CO₂ bazlı bir hafif bir atmosfere sahiptir.

Ay - Dünya:

Yerçekimi ivmesi : $1,62 \text{ m/s}^2$ (0.165 g)

Sıcaklık : -230 °C - 123 °C

Yüzey özellikleri : silikat bazlı yüzey üstünde çok hafif bir atmosfer yapısı

Ganymede - Jupiter :

Yerçekimi ivmesi : 1.428 m/s^2 (0.146 g)

Ortalama Sıcaklık : -163 °C

Yüzey özellikleri : henüz tanımlanmış kayalık yüzeyinde, donmuş su ve amonyak bulunmaktadır. *Güneş sistemimizin en büyük uydusudur (Neptün'den de büyük).*

Triton - Neptün :

Yerçekimi ivmesi : $0,78 \text{ m/s}^2$ (0.08 g)

Atmosfer Basıncı : 1.5 Pa (yak. 0,00001 atm)

Ortalama Sıcaklık : -235 °C

Yüzey özellikleri : donmuş nitrojen ve metan kimi zaman çekim etkisi gayzer halinde fişkırmalar yapmakta, ayrıca donmuş su da bulunmakta, yüzey halen aktif volkanik faaliyetlere sahip

Enceladus - Satürn :

Yerçekimi ivmesi : 0,114 m/s² (0.011 g)

Ortalama Sıcaklık : -198 °C

Yüzey özellikleri : aktif bir yüzeye sahiptir. su amonyak metan fişkırtan volkanik özelliklere sahiptir. Küçüklüğünden beklenilmeyecek biçimde su buharı bazı bir atmosfere sahiptir.

Dione - Satürn :

Yerçekimi ivmesi : 0,233 m/s² (0.023 g)

Ortalama Sıcaklık : -186 °C

Yüzey özellikleri : yoğun su buzları ile kaplı yüzeyin altında silikat bir yapısı vardır.

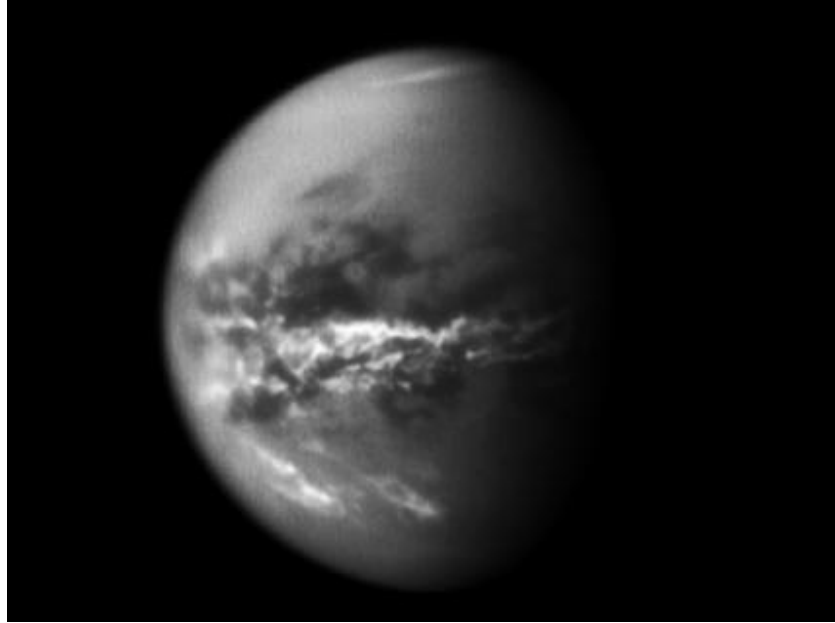
Titan - Satürn :

Yerçekimi ivmesi : 1,35 m/s² (0.14 g)

Atmosfer Basıncı : 147 kPa (yak. 1,45 Atm)

Ortalama Sıcaklık : -179 °C

Yüzey özellikleri : sıvı halde metan gölleri, denizleri ve benzer hidrokarbon sıvıları ile hidrokarbon yağmurları ve bulutlarıyla yoğun bir atmosfere sahip



Şekil 3. Titan'da metan, ekvator hattı boyunca biriken metan bulutları, (NASA, Cassini sayfaları)

2. AKIŞKANLARIN POMPALANMASI

Pompa, bir akışkanın enerjilendirilmesini sağlayan bir makinedir. Bu enerjilendirme; döndürme ya da sıkıştırma şeklinde yapılabilir. Santrifüj ve pozitif deplasmanlı pompalar olarak da tanımlanan bu farklı yapılar değişik akışkanlar ve uygulamalar için tercih edilirler.

Pompalama yapılacak akışkan ise o ortamda sıvı halde bulunan madde olarak tanımlanabilir. Ortam; Ortam basıncı ve ortam sıcaklığı ile akışkanın özelliklerini tanımlar. Temelde, her akışkan belirli bir sıcaklıkta, belirli bir basınç altında belirli bir yoğunluğa ve viskoziteye (yapışkanlığa, akma özelliğine) sahiptir. Diğer bir çok termodinamik özellik de söz konusudur. Burada diğer özelliklerden söz edilmeyecektir.

Dünya'mız kendi yüzey özellikleri ile farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip maddelerin doğal ortamlarını sağlar. Su sıvı haldedir ve Dünya yüzeyinin 2/3'ünü kaplar. Oksijen gaz haldedir. Demir katı haldedir. Biz Dünya bazında sadeleştirilmiş denklemler ile tasarımlarımızı yapar pompalarımızı üretir, seçer, monte eder ve aynı koşullarda çalıştırırız. Kimi zaman bazı değişimleri dikkate alarak düzeltmeler ile tasarım ya da seçim sınırlamalarımıza dikkat ederiz. Dünya'mızda, deniz seviyesinde 1 atm basınç altında, yak. T = -50 - + 60 °C sıcaklık ve yerçekimi ivmesi, g = 9.81 m/s² bizim ortamımızı tanımlar. Denizden yükseldikçe atmosfer basıncı düşer. Bu düşmeye yönelik olarak kimi zaman motorları farklı seçmemiz gerekir ya da emmedeki net pozitif yük

için kontroller yaparız. Kimi zaman örneğin jeotermal kuyularda akışkan sıcaklığı artar ve çift fazlı akışlar söz konusu olabilir. Bu durumda da sıcaklık etkisi ile akışkanda ya da mekanik aksamda oluşan değişimlerin dikkate alınması gerekir. Emme koşulları ile gerekli ENPY değerleri farklılaşabilir. Malzemelerdeki sıcaklık kaynaklı mekanik değişimler üretim toleranslarını değiştirebilir.

Kimi zaman da biz insanlar, doğal ortamın dışında ortamlar yaratarak işlerimizi yapmaya çalışırız. Yüksek basınçlarda düşük sıcaklıklarda bazı gazları sıkıştırıp sıvılaştırarak, taşıyız, kimyasal işlemlerde kullanırız, depolarız, pompalarız.

2.1. Pompalar için Tanımlar

Basınç : **p**, birim yüzey alanına etki eden kuvvet (N/m², Pascal, Atmosfer v.b.)
Basma Yüksekliği : **H**, basınçlandırmanın metre cinsinden bir akışkan için karşılığı (mSS, mHg v.b.)

Basma yüksekliğinin (head) bizler için daha anlamlı bir diğer tanımı ise "*birim akışkan ağırlığına verilen enerji*"dir.

$$H = \frac{E}{W} \quad (1)$$

Basınç farkı ile Basma Yüksekliği arasındaki ilişki, giriş ve çıkış flanşı arasında kot ihmal edilebilir olan pompalar için:

$$H = \frac{\Delta p}{\rho g} \quad (2)$$

(Basma Yüksekliği = Basınç farkı/ (yoğunluk x yerçekimi ivmesi))
biçimine getirilebilir.

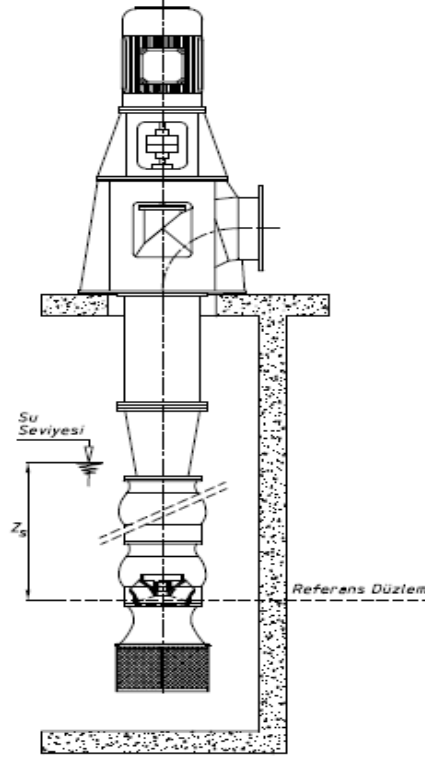
Pompalarla bir akışkanın taşınması söz konusudur. Farklı pompalı sistemler vardır; atmosfere açık sistemler, atmosfere kapalı sistemler, tamamen sürtünme kaybına sahip, hem sürtünme kaybına hem de geometrik yüksekliğe sahip v.b. Burada atmosfere açık belirli bir daldırma derinliğine sahip düşey milli bir pompa sistemi üzerinde durularak örnekler verilecektir (**Şekil 4**).

Basma yüksekliğinin tanımı da akışkanın birim ağırlığına verilen enerji olarak yapılabilir. Bir düşey milli pompa $Q = 1000$ l/s, $H_m = 150$ mSS olarak tanımlandığında, su olan bir akışkan 1000 l/s debide enerjilendirilerek belirli bir yüksekliğe basılır. Sürtünme kayıpları ihmal edildiğinde pompanın yaklaşık 150 m 'ye bastığını söyleyebiliriz. Bu tanımlama, Dünya'mızın doğal koşulları için yapılan bir tanımlamadır.

Yoğunluk : **ρ** , özgül ağırlık olarak da tanımlanan bu maddesel ayırt edici özellik, birim hacimdeki bir maddenin kütlesi olarak tanımlanabilir. kg/m³ ya da gr/cm³, gr/l gibi farklı birimsel tanımlar kullanılabilir.

Viskozite : Akışkanın akmaya karşı direnci olarak tanımlanabilir. Akmazlık, ağdalılık, yapışkanlık gibi karşılıklar önerilmiş ama yaygınlaşmamıştır. Dinamik ve kinematik olarak iki farklı biçimde tanımlanır.

Dinamik viskozite, **μ** , birimi Pa.s (Pascal.saniye, ya da cP (centipoise) şeklindedir. Bu da kg.m⁻¹.s⁻¹ temel birimleri ile tanımlanır. *Kinematik viskozite*, **ν** , birimi ise St (stoke) ya da cSt (centistoke) şeklindedir. Bu da m².s⁻¹ temel birimleri ile tanımlanır. Bir maddenin dinamik ve kinematik viskoziteleri arasındaki ilişki ise yoğunluktur.



Şekil 4. Genel bir düşey milli pompa sistemi (Layne Bowler).

2.2. Temel Pompa Tasarım ve Seçim Denklemleri

Özgül Hız : Özgül Hız tüm pompacılar için tanım olarak çark geometrik yapısını belirleyen bir değerdir. Birimli ve birimsiz olarak birkaç biçimde tanımlanabilir.

Birimli olarak :

$$N_q = n \frac{Q^{0.5}}{(H)^{0.75}} \quad (3)$$

burada SI birimli sisteminde, n (d/d) , Q (m^3/s) ve H (m) cinsinden $10 < n_s < 400$ aralığındadır.

Birimsiz olarak :

$$N_s = \omega \frac{Q^{0.5}}{(gH)^{0.75}} \quad (4)$$

şeklinde tanımlanır ki, **evrensel tanım budur**. g (m/s^2), yerçekimi ivmesi ve ω (rad/s) olarak denkleme katılır. $0.2 < N_s < 8$ aralığındadır.

Özgül hız, çark için geometrik bir tanımlama yapar. Özgül hızın değeri arttıkça yüksek debili düşük basmalı, değeri düştükçe düşük debili yüksek basmalı çarkları tanımlar. Radyalden aksel akışa doğru giden pompa çarkları için yükselen sayısal bir değer olarak karşımıza çıkar.

Tasarım başlangıcı için temel denklem ise "*Euler Türbin Denklemi*"dir [2,3]. Çıkarımına ve diğer temel denklemler ile ilintisine girmeden, sabit bir debi için belirli hızda geometrisi tanımlı bir santrifüj pompa için aşağıdaki biçimi de alabilir, çevresel (U), ve mutlak hızın çevresel bileşeni (V_θ), cinsinden :

$$gH_m = \frac{\Delta p}{\rho} = U_2 V_{\theta 2} - U_1 V_{\theta 1} \quad (5)$$

Emmedeki Mevcut Net Pozitif Yük, $ENPY_m$ ise;

$$ENPY_m = \frac{p_t - p_b}{\rho \cdot g} \quad (6)$$

Düşey milli bir pompa uygulamasında; p_t , çark giriş referans yüzeyindeki toplam basınç, p_b ise akışkanın o sıcaklıktaki buharlaşma basıncıdır.

$$p_t = p_{atm} + \frac{\rho \cdot v_s^2}{2} + z_s \cdot \rho \cdot g \quad (7)$$

p_{atm} atmosferik basınç, v_s referans düzlemdaki akışkan hızı, z_s referans düzleme göre üstündeki su seviyesi olarak tanımlanmıştır. Bu denklem farklı pompalı sistemler için farklılaşır (**Şekil 4**).

Emme Özgül Hızı :

$$S = n \frac{Q^{0.5}}{(ENPY_g)^{0.75}} \quad (8)$$

Q (m^3/sa) - debi, n (d/d) - dönüş hızı, $ENPY_g$ emmedeki gerekli net pozitif yük (m)

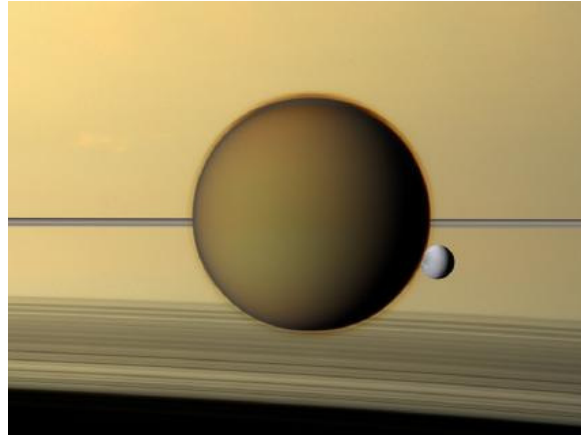
3. DÜNYA'DA SU İLE TİTAN'DA METAN POMPALAMASI :

Gün gelir de sıvı metan gereksinimlerimizi Titan'dan karşılamaya karar verirsek ne yapmalıyız?. Depolarımıza ya da gezegenler arası işleyen taşıyıcı gemilerimize nasıl pompalarız?

Titan güneş sistemimizde, Satürn çevresinde dönen bir uydudur. Dünya benzeri yoğun ve aktif bir atmosfere sahiptir. Cassini-Huygens projesi ile yapılan araştırmalarda yüzeyinin metan denizleri ile dolu olduğu, farklı sıvı halde hidrokarbonların da yüzeyde bulunduğu kanıtlanmış durumdadır.

Dünya'mızda su neye karşılık geliyor ise Titan'da da metan benzer durumdadır. Titan, aktif atmosferinde rüzgarlar, metan yağmurları, fırtınalar ile Dünya benzeri ama bir o kadar da farklı bir ortama sahiptir. Metan, Dünya'da gaz halinde bulunmaktadır. Her yerde kullandığımız doğal gazın temel bileşiğidir. 1 atm basınç altında $-161 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de sıvı hale gelmektedir.

Titan'da ise yüzeyde sıcaklık ortalama sıcaklık $-179 \text{ }^\circ\text{C}$ ve atmosfer basıncı yak. 1,45 atm, yerçekim ivmesi ise $1,35 \text{ m/s}^2$ (0,14 g). O ortamda metan, sanki Dünya'mızdaki su gibi davranmakta, hem yüzeyi hem de atmosferi aktif bir halde etkilemektedir. Titan'daki ortamda metanın yoğunluğu yak. 447 kg/m^3 ve kinematik viskozitesi, $0,415 \text{ m}^2/\text{s}$ ($0,415 \times 10^{-6} \text{ cSt}$)'tur.



Şekil 5. Önde Titan, sağ tarafında Dione ve arka planda Satürn (NASA, Cassini sayıları).

3.1. Dünya'da su pompalanması örneği

$Q = 1000$ l/s, $H_m = 150$ mSS, $n \leq 1000$ d/d olacak olan çok kademeli düşey milli bir pompayı seçerek daldırma derinliğini gerekli ENYP ile ilişkilendirerek seçelim.

Herhangi bir düşey milli pompa üreticisi farklı bir çok alternatif arasından 2 kademe 1000 d/d olarak 44" çok kademeli bir pompa seçilebilir. Bu pompa uygun bir basma borusu ile, kayıpları dikkate almazsak su seviyesinden itibaren saniyede 1 m^3 suyu 150 m yükseklikte bir kanala ya da gemiye taşıyabilecektir.

Görüldüğü gibi, önceden pompa ilintili yukarıda verilen tanım ve denklemlere başvurmadan hatta üretici ile görüşmeden katalog üzerinden bu seçim yapılabilir. Verilen basma yüksekliği değeri, su ile ilişkilense bile gerçek anlamda 150 m yüksekliğe karşılık gelir. Çoğu zaman talepte "m Su Sütunu" bile belirtilmez. Bütün üreticiler seçim eğrilerini suyun sabit bir yoğunluğu ve viskozitesi için sabit yerçekimi ivmesine göre hazırlarlar. Dolayısıyla buna göre seçim yapılarak, uygun pompa kolayca belirlenmiştir

Pompanın Dünya çalışma koşullarında su için ENPY kontrolü :

Pompalar gaz basamazlar, bu yüzden emişlerindeki toplam basınç belirli bir değerin altına düşmemelidir. Akışkan kimi zaman hiçbir biçimde kimi zaman da kontrollü olarak belli bir hacimsel oranın üstüne çıkmayacak şekilde gaz fazına geçmemelidir. Kavitasyon olarak adlandırılan bu durum hızla artan biçimde sorunlara sebep olur ve önce hidrolik ardından da mekanik sıkıntılar yaratarak pompa ömrünü kısaltır, işletme maliyetlerini artırır. Bütün pompalar için emişlerindeki gereken toplam basınç, üretici tarafından tasarım özelliklerine göre belirlenir. Çalışma ortamında da mevcut ENPY değerinin gerekenden belli bir marj ile yüksek olması sağlanır. Özel tasarımlar ya da farklı pompa seçimleri ile pompa tarafında değişiklikler yapılacağı gibi montaj derinlikleri değiştirilerek çalışma ortamında da değişiklikler yapılabilir [4].

Seçilen pompa için tasarım kaynaklı hesaplanan ya da deneysel olarak elde edilen $ENPY_g$ değerine göre ve girdap oluşumunu önleyecek daldırma derinliği ile montajı yapılan pompa söz konusu değerlerde güvenli bir şekilde çalışacaktır.

Pompaların emme özgül hızları, S , tasarım ile ilintilidir ve genelde 10000 (metrik) mertebelerinde tutulur. Bu değer belirli bir debi için, pompa hızını sınırlar [5].

$Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ ($3600 \text{ m}^3/\text{sa}$), $H_m = 150$ mSS, $n = 1000$ d/d, 2 kademe bir pompa, (8) denklemi kullanılarak,

$$10000 = 1000 \frac{3600^{0.5}}{(ENPY_g)^{0.75}}$$

için, $ENPY_g = 10$ m bulunur. Yani $ENPY_m \geq 10$ m olmalıdır.

Su için, 20°C 'de buharlaşma basıncı, $p_b = 0,023$ bar = yak. 2.3 kPa

(6) denklemine göre :

$$10 = \frac{p_t - 2300}{998 \times 9.81}$$

Referans düzlemde, $p_t = 100200$ Pa (en az) olmalıdır.

(7) denkleminde :

$v_s = 4 - 6$ m/s arasında olacaktır. (pompalar için genelde çark giriş hızları)

$v_s = 4$ m/s alınır ise;

$$\frac{\rho \cdot v_s^2}{2} = 7984 \text{ Pa}$$

$$p_{\text{atm}} = 101000 \text{ Pa}$$

Bu durumda, emiş referans düzleminde, daldırma yapılmadan bile ($z=0$), $p_t = 108$ kPa'lık bir basınç oluşur. Güvenlik marjları da düşünülerek ve girdap oluşumunun önüne geçecek şekilde bir daldırma ile montaj yapılması uygundur.

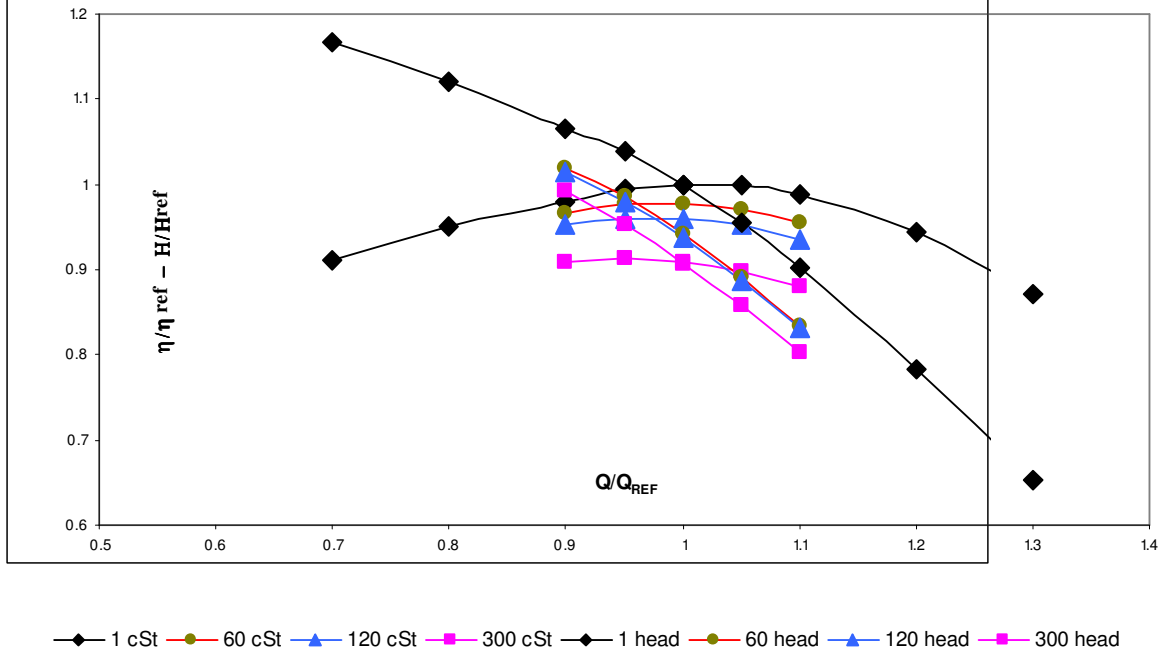
3.2. Dünya üzerinde sudan farklı bir akışkanı nasıl pompalıyoruz?

Yağ, petrol, süt benzeri başka sıvıların pompalanması zaten yapılmaktadır. Fakat sudan farklı bir akışkan için, yukarıda anlatılan biçimde kolay bir seçim yapılamaz. Akışkanın kendi özelliklerine göre pompa hızları ve mekanik yapılar için özel kontroller yapılır.

Pompa tanım ve denklemlerinde bulunan akışkana özgü iki temel değişken bütün seçimi etkiler. Bunlar yoğunluk ve viskozitedir. Değişen yoğunluk çekilen gücü doğrudan etkilerken, viskozite ise değişen sürtünme kaybı etkisi ile pompa performansını etkiler. Akışkan yoğunluğu tek başına pompanın basma yüksekliğini ve verimini etkilememektedir. Fakat basma yüksekliği birim ağırlığa verilen enerji olduğu için pompanın eş basma yüksekliğindeki çektiği güç değişir, (Denklem 1).

Viskozitesi farklı olan akışkanlar için suya göre karşılaştırmalı hazırlanan tablolar vardır. Bu tablolardan debi, basma yüksekliği ve verim değişimleri hesaplanır. Hesaplanan değerler ve akışkan yoğunluğu ile motor gücü belirlenir [3].

Değişen viskozite ve pompa performansı ilişkisi bir pompa için HAD analizleri ile de incelenmiştir, (Şekil 6).



Şekil 6. 1 cSt için en verimli noktaya göre viskozitenin performansa etkisi, (Layne Bowler).

3.3. Titan'da metan pompalamak:

Mars'a yakıt taşıyacak uzay gemimize metan basacak Titan'da bir liman pompası seçelim. $Q = 1000$ l/s, $H_m = 150$ mSS için, $n \leq 1000$ d/d olacak biçimde düşey milli pompa düşünelim.

Değişen koşullar şunlardır :

- Akışkan : Sıvı Metan
- $\rho = 447$ kg/m³ ve ν , kinematik viskozitesi = $0,415$ m²/s, ($0,415 \times 10^{-6}$ cSt),
- Yerçekim ivmesi : $1,35$ m/s² (0.14 g)
- Atmosfer Basıncı : 147 kPa (yak. 1,45 Atm)
- Ortalama Sıcaklık : -179 °C

Bu durumda 150 mSS, Dünya'da su olarak karşılığı olan, basma yüksekliği değerini, Titan'da 150 mMetan olarak revize etmek gerekmektedir. Basma yüksekliği ve teorik basma yüksekliği arasındaki ayrıma girmeden (5) denkleminde göre;

$$gH_m = \frac{\Delta p}{\rho}$$

150 m Su için:

Dünya'da, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ile,

$$\Delta p = 150 \times 9.81 \times 1000$$

$\Delta p = 1471 \text{ kPa}$, basınç farkını seçilecek pompadan elde etmeliyiz.

150 m Metan için:

Titan'da, $g = 1.35 \text{ m/s}^2$, $\rho = 447 \text{ kg/m}^3$ ile,

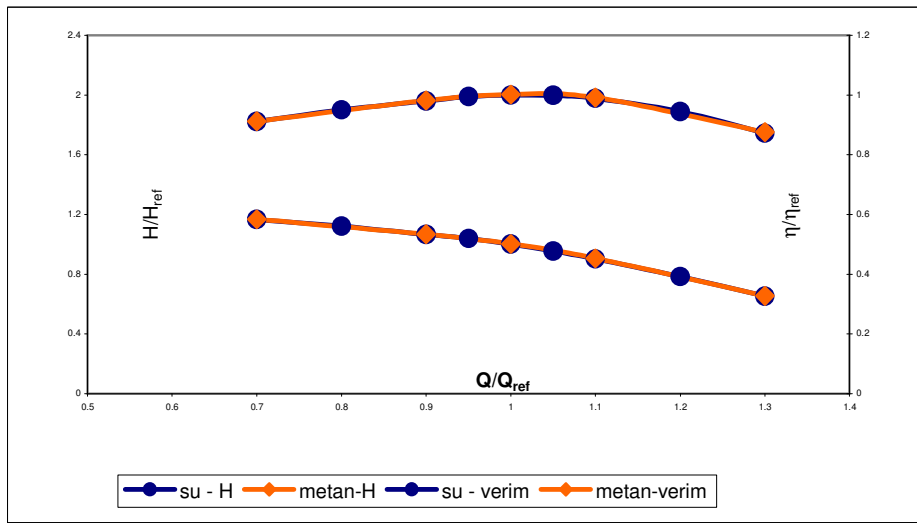
$$\Delta p = 150 \times 1.35 \times 447$$

$\Delta p = 90.5 \text{ kPa}$, basınç farkını seçilecek pompadan elde etmeliyiz.

Görüldüğü gibi aynı basma yüksekliği için Dünya'da su ile Titan'da metan arasında yak. 16 kat fark oluşmaktadır. Titan'da 150 mMetan basacak olan pompa, 90.5 kPa'lık basınç farkı ile Dünya'da su için, $H_m = 90500 / (9.81 \times 1000) = 9.2 \text{ mSS}$, basacaktır.

Yerçekimi ivmesi ve yoğunluk farkının basma yüksekliğine etkisini gösteren bu sonuç ilginçtir. Yani, dünyada belirlenen bir debide, 9.2 mSS basma yüksekliğine sahip pompamız Titan'da 150 mMetan basma yüksekliğine sahip olabilecektir.

Pompa performansının iki akışkanın viskozite farklarından gelen etkisinin de yukarıda söz edildiği gibi kontrol edilmesi gerekir. Su ve metan için benzer koşullarda viskozite değerleri birbirine yakındır, (Su = $1 \text{ m}^2/\text{s}$, Metan = $0.415 \text{ m}^2/\text{s}$). Pompa performansı tahmini için bu örnekte özel bir hesap yapmaya gerek yoktur. Fakat bu, viskozitesi suyun yarısı olan metan için özel bir durumdur. Bu durumda, Dünya'da da $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ için $H_m = 9.2 \text{ mSS}$ şeklinde bir pompa seçebiliriz ve düzeltme yapmadan o pompa eğrisinden yararlanabiliriz. İlk durumda ise değerlerimiz; $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ için $H_m = 150 \text{ mSS}$ şeklinde idi.



Şekil 7. Su ve Metan için performans karşılaştırması (verim ve basma yüksekliği), su için en verimli nokta referans alınarak, (Layne Bowler)

Şimdi ise çok daha düşük basma yüksekliği olan bir pompa ile Titan'da 1000 l/s'lik metanı 150 m yüksekliğe basabileceğimizi görüyoruz. **Şekil 7'**da metan ve su arasındaki viskozite farkının küçük olmasından dolayı pompa performanslarının çok farklı olmadığı karşılaştırmalı HAD analiz ile görülebilir.

Bu durumda Dünya'da su için seçeceğimiz, $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ için $H_m = 9,2 \text{ mSS'lik}$, $n = 750 \text{ d/d}$, tek kademelik pompa, Titan'da işimizi $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ için $H_m = 150 \text{ m}$ Metan için görecektir.

Pompanın Titan çalışma koşullarında metan için ENPY kontrolü :

Seçilen pompa için, Titan'daki koşullarda $ENPY_m$ değerleri kontrol edilmelidir.

$Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$, $H_m = 9.2 \text{ mSS}$, $n = 750 \text{ d/d}$, 1 kademe bir pompa, (8) denklemi kullanılarak,

Emme özgül hızı, $S = 10000$ (metrik) için;

$$10000 = 750 \frac{3600^{0.5}}{(ENPY_g)^{0.75}}$$

için, $ENPY_g = 7.4 \text{ m}$ bulunur. Yani $ENPY_m \geq 7.4 \text{ m}$ olmalıdır.

Metan için, $-179 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de buharlaşma basıncı $p_b = 0,3 \text{ bar} = \text{yak. } 30 \text{ kPa}$ için

(6) denklemine göre :

$$7.4 = \frac{p_t - 30000}{447 \times 1.35}$$

$p_t = 34500 \text{ Pa}$ (en az) olmalıdır.

(7) denkleminde :

$v_s = 4 - 6 \text{ m/s}$ arasında olacaktır. (pompa için ideal çark giriş hızları)

$v_s = 4 \text{ m/s}$ alınırsa;

$$\frac{\rho \cdot v_s^2}{2} = 3576 \text{ Pa}$$

$p_{\text{atm}} = 147000 \text{ Pa}$

Bu sonuca göre, emiş referans düzleminde, daha daldırma yapılmadan (z), $p_t = 150 \text{ kPa}$ bir basınç olacaktır. Girdap önleyici bir daldırma mesafesi de düşünüldüğünde sorunsuzca pompamız Titan'da metan basabilecektir. Farklı akışkanların pompalanmasında sudan daha yüksek marjlı $ENPY_m$ gerekebilir buna da dikkat edilmesi önemlidir.

SONUÇ

Dünya'mız dışında bir çok ortamda pompa tasarım ve seçimi yapılabilir. Bu bildiride temel kavramlar üzerinde durulmaya çalışılmış ve Cassini-Huygens Projesi verileri eşliğinde, hangi değişkenlerin neleri etkilediği anlatılmıştır. Sıcaklık ve basınç farkları için doğal ki hidrolik yanında mekanik malzeme çalışmaları da çok önemlidir. Malzeme seçimi, uygun motor üretimleri v.b konulara girilmemiştir. Pompalama sırasındaki sıcaklık farkları ile akışkan ilişkisi bir diğer konudur. Dönüş hızları, çalışma boşlukları v.b. konular akışkan ve ortama göre çok daha dikkatli analiz edilmelidir. Dönüş hızı artan sıcaklık etkisinin akışkanda yaratabileceği faz farkları ya da diğer özel durumlar da mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Yerçekimi ivmesi ve yoğunluk basma yüksekliğini birlikte etkilerken, atmosfer basıncı ve ortam sıcaklığı emmedeki net pozitif yükü etkilemektedir. Viskozite ise pompa performansını sürtünme kaynaklı olarak doğrudan etkilemektedir.

Cassini'nin planlanan görevi 2017'ye kadar uzatılmıştır. Şu anda hala Satürn sisteminde çalışmalarını sürdürmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Cassini Mission, NASA official web pages
- [2] Lazarkiewicz, S. and Troskolanski, A.T. (1965) Impeller Pumps, Pergamon Press Ltd., Oxford.
- [3] Karassik, Messina, Cooper, Heald (Third Edition), Pump Handbook, McGraw-Hill
- [4] Pompa Performans Kriterleri Üzerine Bir Üçleme (2006), POMSAD
- [5] Hydraulic Institute ANSI/HI 2.3

SUMMARY

Humanity continuous to research the different physical and chemical environments in celestial objects outside the world. With the information obtained from these celestial objects with different environments, we are learning new things to understand and new problems to solve as a humanity.

In this paper, inspired from Cassini-Huygens Project, in extraterrestrial environment; "the pumping of methane on Titan" were tired to understand. Hydraulic main selections, design and operational approaches are given in comparison with the World. Basic concepts and variables with effect of them were also explained for pump selection.