

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAVİTASYON YÖNTEMİ İLE KARİNA TEMİZLİĞİ VE ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onur KOCATEPE

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAVİTASYON YÖNTEMİ İLE KARİNA TEMİZLİĞİ VE ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Onur KOCATEPE
508101035**

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali Can TAKİNACI

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **508101035** numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Onur KOCATEPE**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KAVİTASYON YÖNTEMİ İLE KARİNA TEMİZLİĞİ VE ETKİLERİ** ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ali Can TAKİNACI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Emin KORKUT**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **13 Aralık 2014**
Savunma Tarihi : **22 Ocak 2015**

Canım aileme ve dostlarıma,

ÖNSÖZ

Bu çalışmamda, bana değerli zamanını ayıran, bilgi, tecrübe ve anlayışıyla her zaman destek olan danışmanım Sayın Prof. Dr. Ali Can TAKİNACI'ya teşekkürlerimi arz ederim.

Bu çalışmamda bana ışık tutan ve deneyimlerini aktaran Sayın Yük. Müh. Zafer ELÇİN'e teşekkür ederim

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana yardımlarını esirgemeyen Yük. Müh. Yasin Kaan İLTER'E, Yük. Müh. Onur USTA'ya, Yük. Müh. Kıvanç Ali ANIL'a, Arş. Gör. Cihad DELEN'e ve Yük. Müh. Görkem ÖÇALAN'e teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimimin sekteye uğramaması için çaba sarfetmiş ve gerekli izinleri sağlamış olan amirlerim Sayın Yük.Müh.Erkan ÜLKÜ'ye, Yük.Müh.Volkan ALTINTAŞ'a ve Yük.Müh. Kerem Orçun YÜKSEKDAĞ'a sonsuz teşekkür ederim.

Son olarak da, sonsuz güvenleriyle bana her zaman destek veren aileme teşekkür eder, saygı ve sevgilerimi sunarım.

Şubat 2015

Onur KOCATEPE
(Gemi İnşaatı ve Gemi
Makineleri Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOL LİSTESİ	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Konunun Anlami ve Önemi	1
1.2 Literatür Araştırması	2
2. GEMİ DİRENCİ	5
2.1 Giriş.....	5
2.2 Gemi Direnci Bileşenleri.....	5
2.3 Sürtünme Direnci	7
2.4 Gereç ve Yöntemler	7
3. TEKNE VE PERVANE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	11
3.1 Tekne ve Pervane Yüzey Pürüzlülüğü Özellikleri	11
3.2 Pürüzlülük Rejimi	15
3.3 Mikrobiyal Biyofilmler	15
3.3.1 Biyofilm yapısı.....	18
3.3.2 Biyofilm oluşumu	21
3.4 Biyofouling.....	22
3.4.1 Biyofouling süreci.....	22
3.4.2 Biyofoulinge neden olan organizmalar	27
3.4.3 Foulingin etkileri.....	32
3.5 Kirlilik Oranı(FR)	32
4. KARİNA TEMİZLİK YÖNTEMLERİ	45
4.1 Giriş.....	45
4.2 Fırça İle Temizlik	46
4.3 Yüksek Basıncılı Sualtı Su Jeti	47
4.4 Kavitasyon Yöntemi İle Temizlik	47
4.4.1 Kavitasyon yönteminin incelenmesi	48
4.4.2 Yöntemin detayları.....	49
5. UYGULAMALAR	63
5.1 Ro-Ro Tipi Bir Gemide Pürüzlülüğün Etkisi	63
5.2 Askeri Bir Gemide Karina Temizliğinin Ekonomik Etkileri	64
5.2.1 Giriş.....	67
5.2.2 Analiz için gemi sınıfının seçimi	64
5.2.3 Karina kirliliğinin hidrodinamik etkisinin tespiti.....	65

5.2.4 Yakıt tüketim hesabı.....	66
5.2.5 Karına kirliliğinin ekonomik etkisi	66
5.3 Yüksek Hızlı Teknede Kirliliğin Ekonomik Etkisi	68
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ	81

KISALTMALAR

AHR	: Ortalama Pürüzlülük Yüksekliği (Average Hull Roughness)
ITTC	: International Towing Tank Conference
IMO	: International Maritime Organization
EPS	: Hücre Dışı Polimerik Maddeler
DNA	: Deoksiribonükleik Asit
RNA	: Ribonükleik Asit
PH	: Power of Hydrogen
UV	: Ultraviyole
FR	: Roughness Ratio
PSI	: Pounds Per Square Inch,

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1: Froude 'un yüzey sürtünme katsayıları	7
Çizelge 3.1 : Deniz suyundaki yüzeylere tutunan organizmaların tutunma aşamaları.....	25
Çizelge 3.2: Kirlilik Skalası.....	33
Çizelge 4.1: Kavitasyon-Firca Karsılastırması	53
Çizelge 5.1: Arleigh Burke DDG-51 sınıfı gemilerin ana boyutları	65
Çizelge 5.2: 7.7 ms^{-1} (15 kn) deki toplam direnç ve şaft gücündeki değişim	66
Çizelge 5.3: 15.4 ms^{-1} (30 kn) deki toplam direnç ve şaft gücündeki değişim	66
Çizelge 5.4: Arleigh Burke DDG-51 sınıfı gemilerde 4 farklı kirlilik ve pürüzlülük senaryosu.....	67
Çizelge 5.5: Yüksek hızlı teknenin ana boyutları.....	68
Çizelge 5.6: Uygulama yapılan gemideki test verileri.....	69
Çizelge 5.7: IMO verilerine göre Türk bayraklı gemi sayıları	70

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Gemi direnci bileşenleri.....	6
Şekil 3.1 : Aynı genlik parametresine fakat farklı dokulara sahip iki yüzey ve onların otokorelasyon onksiyonları	13
Şekil 3.2 : Farklı pürüzlülük türlerinin görselleştirilmesi.....	14
Şekil 3.3 : Pürüzlülük rejimi sınıflandırılması.....	15
Şekil 3.4 : Endüstriyel su sisteminde, metal yüzey üzerinde oluşan biyofilmin scanning electron mikroskopundaki görüntüsü.....	17
Şekil 3.5 : Diyatomların ve larvaların oluşturduğu biyofilmin, scanning elektron mikroskopundaki görüntüsü.....	19
Şekil 3.6 : Biyofilm yapısı.....	22
Şekil 3.7 : Biyofoulingin gelişim aşamaları.....	23
Şekil 3.8 : Biyofouling süreci.....	24
Şekil 3.9 : Biyofouling sürecinde, yüzey kolonizasyonunun kronolojisi.....	29
Şekil 3.10 : Biyofoulingi oluşturan süksesyonun klasik şeması.....	29
Şekil 3.11 : Denizdeki ana makroorganizma türlerinin karakteristikleri.....	31
Şekil 3.12 : FR-10, toplam alanın %30'u kaplı.....	34
Şekil 3.13 : FR-10, toplam alanın %100'ü kaplı.....	34
Şekil 3.14 : FR-20, toplam alanın %80'i kaplı.....	35
Şekil 3.15 : FR-30, toplam alanın %40'ı kaplı	35
Şekil 3.16 : FR-40, toplam alanın %20'si kaplı.....	36
Şekil 3.17 : FR-40, toplam alanın %30'u kaplı.....	36
Şekil 3.18 : FR-40, toplam alanın %90'ı kaplı.....	37
Şekil 3.19 : FR-50, toplam alanın %20'si kaplı.....	37
Şekil 3.20 : FR-50, toplam alanın %40'ı kaplı.....	38
Şekil 3.21 : FR-50, toplam alanın %100'ü kaplı.....	38
Şekil 3.22 : FR-60, toplam alanın %15'i kaplı.....	39
Şekil 3.23 : FR-60, toplam alanın %20'si kaplı.....	39
Şekil 3.24 : FR-60, toplam alanın %90'ı kaplı.....	40
Şekil 3.25 : FR-70, toplam alanın %20'si kaplı.....	40
Şekil 3.26 : FR-70, toplam alanın %80'i kaplı.....	41
Şekil 3.27 : FR-80, toplam alanın %60'ı kaplı.....	41
Şekil 3.28 : FR-80, toplam alanın %80'i kaplı.....	42
Şekil 3.29 : FR-80, toplam alanın %90'ı kaplı.....	42
Şekil 3.30 : FR-90, toplam alanın %90'ı kaplı.....	43
Şekil 3.31 : FR-100, toplam alanın %50'si kaplı.....	43
Şekil 3.32 : FR-100, toplam alanın %100'ü kaplı.....	44
Şekil 4.1 : Firça ile temizlik örnekleri.....	47
Şekil 4.2 : Su jeti örneği.....	48
Şekil 4.3 : Kavitasyon jet örnekleri.....	49
Şekil 4.4 : Nozul konfigürasyonları.....	50

Şekil 4.5 : Nozul parametreleri.....	50
Şekil 4.6 : K katsayı grafiği.....	51
Şekil 4.7 : Farklı direnç değerlerindeki yakıt-hız eğrisi.....	54
Şekil 4.8 : Afframax tipi bir geminin zamana bağlı direnç değişim eğrisi.....	55
Şekil 4.9 : VLCC tipi bir geminin zamana bağlı direnç değişim eğrisi.....	57
Şekil 4.10 : Uzun süreli liman durumunda zamana bağlı direnç değişim eğrisi.....	58
Şekil 4.11 : 20 yaşında bir geminin zamana bağlı direnç değişim eğrisi.....	59
Şekil 4.12 : Yeni inşa edilmiş bir geminin zamana bağlı direnç değişim eğrisi.....	60
Şekil 5.1 : Şaft gücü ile yakıt tüketim değişim eğrisi.....	67

SEMBOL LİSTESİ

P_E	: Efektif Güç
R_T	: Toplam Direnç
V	: Gemi Hızı
R_T	: Toplam Gemi Direnci
R_F	: Sürtünme Direnci
R_{RR}	: Artık Direnç
S	: Islak Yüzey Alanı
f	: Sürtünme Direnci Katsayısı
S_M	: Modelin Islak Alanı
ρ_m	: Model Akışkan Yoğunluğu
U_m	: Gemi Modelinin Hızı
C_{TM}	: Model İçin Toplam Direnç Katsayısı
C_{RM}	: Modelin Artık Direnç Katsayısı
C_{FM}	: Modelin Sürtünme Direnci Katsayısı
g	: Yerçekimi İvmesi
L_m	: Modelin Boyu
Fr_m	: Modelin Artık Direnç Katsayısı
ν_m	: Akışkanın Kinematik Viskozitesi
C_{Ts}	: Toplam Direnç Katsayısı
C_A	: Korelasyon Müsadesi
R_{Tm}	: Modelin Bu Hızlardaki Toplam Direnç Değeri
R_{Fm}	: Modelin Sürtünme Direnci
C_F	: Direnci Katsayısı
V_m	: Model Hızı
k	: Form Faktörü
C_{Vm}	: Modelin Viskoz Direnç Katsayısı
C_{wm}	: Dalga Direnç Katsayısı
C_{Vs}	: Geminin Viskoz Direnç Katsayısı
C_{Ts}	: Geminin Toplam Direnç Katsayısı
C_A	: Pürüzlülük Katsayısı
C_{AA}	: Hava Direnci Katsayısı
A_T	: Geminin Alın Alanı
P	: Basınç
Q	: Akış Oranı
D_0	: Meme Çapı
D_p	: Osilatorun Çapı
l	: Dalga Boyu
f	: Frekans
c	: Ses Hızı
V_j	: Akış Hızı

S	: Strouhal Numarası
L_C	: Kesme Haznesi İle Meme Arasındaki Mesafe
L_s	: Kesme Hazne Boyu
L_o	: Meme Boyu

KAVİTASYON YÖNTEMİ İLE KARİNA TEMİZLİĞİ VE ETKİLERİ

ÖZET

Evrenin sahip olduğu fosil yakıt kaynaklarının azalması sonucunda yakıt fiyatlarında hızlı bir yükseliş görülmektedir. Buda deniz yolu taşımacılığı yapanların en büyük sorunlarından biri olmuştur. Artan yakıt fiyatları karşısında tüketimde azalmaya gitmek yani birim yol başına yakıt tüketimini düşürmek konu ile ilgilenen araştırmacıların temel hedefi olmuştur. Birim yol başına yakıt tüketimini düşürmek bir diğer ifade ile gemi sevk verimini artırmak, gemi direncini azaltmak ile mümkündür. Direnç, doğrudan gemi performansı ve yakıt tüketimini etkilediğinden, gemiler için çok önemli bir olgudur. Direncin fazla olması, bir geminin aynı yolu alması için daha fazla yakıt harcaması anlamına gelmektedir. Bu da verimliliği düşürmekte ve emisyonları artırmaktadır. Dolayısıyla, gemi direncini azaltma konusu gemi mühendisleri ve gemi sahipleri için çözülmesi gereken bir sorun olarak önemini korumaktadır. Özellikle son yıllarda uluslararası kuruluşlar tarafından çevre korunması ile ilgili getirilen kısıtlar, yakıt tüketimini bir başka deyişle, gemi direncini azaltma konusunu daha da önemli bir hale getirmektedir.

Tekne yüzey pürüzlülüğünün geminin performansı üzerinde negatif bir etki yarattığı ilk denizcilik faaliyetlerinden beri bilinen bir gerçektir. Tekne yüzeyi pürüzlendikçe, geminin toplam direnci artmaktadır. Gemi direnci temel olarak sürtünme direnci ve artık direnç olarak ikiye ayrılabilir. Özellikle normal ve düşük hızlarda seyreden ticaret gemileri için sürtünme direnci değerleri yaklaşık olarak toplam direncin %60-90'ı kadardır. Dolayısıyla sürtünme direncinin azaltılması, dünya üzerindeki deniz taşımacılığının kapasitesi düşünüldüğünde çok önemli bir konudur.

Sürtünme direncinin azaltılması için uygulanabilecek en etkin yol, tekne yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi çalışmalarıdır. Yüzeyin iyileştirilmesi, tekne yüzeyinde pürüzlülüğe yol açan fiziksel ve biyolojik pürüzlülük etkilerinin azaltılması anlamına gelmektedir. Fiziksel pürüzlülük özellikle geminin inşası aşamasında alınacak tedbirlerle kolayca önlenabilmektedir. Fakat fouling'in, bir başka deyişle yüzey kirliliğinin, önlenmesi veya azaltılması bu kadar kolay değildir. Çünkü fouling gemi

denizdeyken oluşur ve birçok etmene bağlıdır. Geminin denizde geçirdiği gün sayısı arttıkça fouling miktarı da artmakta ve böylece yüzey özellikleri bozulan geminin direnç değerleri çarpıcı biçimde artmaktadır.

Fouling'in önlenmesi veya azaltılması için kullanılan en etkili yöntem antifouling boyalardır. Bu boyalar çok çeşitli olup, salgıladıkları biyositlerle ve yüzey özellikleri sayesinde deniz canlılarının gemi yüzeyine yapışıp büyümesini engellemekte veya azaltmaktadır. Ancak antifouling boyaların tam anlamıyla çalışması için gemilerin sürekli seyir yapması gerekmektedir. Duran cisimde antifouling boyalar işlevini yerine getiremez. Geminin limanda beklemesi ve demir atması durumunda deniz canlıları yüzey üzerine yapışmaya ve yer edinmeye baslar. Bu sebeple uzun süre liman yapmış gemilerde sürekli seyir yapan gemilere göre çok daha fazla kirlilik görülür. Bu kirliliği her gemi için dizayn esnasında belirlenmiş yıllara göre havuzlanır, karina temizliği yapılır ancak gemiyi havuzlamak çok masraflı bir işlemdir. Havuzlanma periyoduna kadar ise direnci günbegün artmakta buda daha fazla yakıt tüketimi anlamına gelmektedir. Bu sebeple bilim adamları tekne sudayken temizle yöntemleri üzerine çalışmalar yapmaktadırlar

İkinci bölümde genel gemi direnci teorisine değinilmiş, gemi direnci bileşenlerinden konu ile ilgili olan sürtünme direnci üzerinde durulmuş ve gemi sürtünme direnci ile ilgili yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Ayrıca gemi direnci tahmin yöntemleri tanıtılmıştır

Üçüncü bölümde tekne ve pervane yüzey pürüzlülüğünün nasıl oluştuğu, pürüzlülük rejimleri anlatılmıştır. Biyofilm ve biyofoulingin nasıl oluştuğu, süreçleri, foulingin etkileri ve kirlilik oranlarından bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde karina temizleme yöntemleri olan, kavitasyon ile karina temizliği, fırça ile karina temizliğinden bahsedilmiştir. İki yöntem arasındaki farklara değinilmiştir. Kavitasyon ile temizleme yönteminde kullanılan sistemin çalışma prensibi anlatılmıştır. Örnek gemilerde uygulanan temizlik yöntemlerinin dirence etkileri grafikler ile gösterilmiştir.

Uygulama bölümünde literatürde daha önce yapılmış karina temizlik öncesi sonrası durumlar verilmiştir. Hızlı bir tekne de yaptığımız test sonuçları verilmiştir. Test sonucuna göre elde edilen kazanç oranına göre maliyet analizi yapılmış ve Türk bayraklı gemilere uygulanması sonucunda ülke ekonomisine sağlayacağı kazanç verilmiştir.

Son bölümde ise bu tez kapsamında elde edilen genel sonuçlardan bahsedilmiş, genel bir değerlendirme yapılmış ve ileride yapılması gereken çalışmalarla ilgili önerilerde bulunulmuştur.

UNDERWATER HULL CLEANING BY USING CAVITATION METHOD AND ITS EFFECT

SUMMARY

The result of scarce resources on the petroleum has been led the fuel prices to rise. Hence, these consequences has been the main problem of the companies which have been dealing with sea way transportation. Researchers have been working to find systems that save fuel energy for many years. It is very difficult to reduce fuel consumption by keeping the same efficiency of a ship. The only way is to reduce the ship resistance. Resistance is of great importance to ships since it affects ship performance and fuel consumption. The more resistance a ship has, the more fuel it consumes for the same range. This decreases the efficiency thus increases emissions. Therefore reducing the ship resistance is an aim to reach for both naval architects and ship owners. Especially in the last decades it becomes more important to reduce the fuel consumptions because of the restrictions and regulations entered into force by the international organisations about environmental issues.

Negative effect of roughness on ship performance has been known since the first seafaring activities. Increasing roughness on the hull surface, affects wake characteristics, so the propeller operating on this wake needs more thrust power to overcome increasing resistance. Ship resistance can be broken into two parts; frictional resistance and residuary resistance. Especially for merchant ships which sail with normal or low velocity, frictional resistance can be 60-90% of the total resistance. Therefore reducing the ship frictional resistance is very important considering the volume of world trade by sea.

The best way of reducing the frictional resistance is the treatment of hull surface in terms of improving surface condition due to physical and biological roughness. Physical roughness can be avoided or minimised by taking measures during the shipbuilding procedure easily. On the other hand, it is not easy to avoid fouling (biological roughness) since it occurs immediately as soon as a ship immerses, continues on her seaway and it depends on various parameters such as time spent in

sea, surface condition, the salinity of the sea, etc... With ascending immersion time, the amount of fouling raises; ultimately, the frictional resistance increases dramatically.

The most effective method against the fouling can be considered as the application of “anti-fouling” paints. The coating-system mentioned above acts as a barrier against corrosion on hull briefly and has a fundamental function which is to prevent or decrease the rate of attachment of marine organisms on the hull of the ship and growth there by releasing biocides can be found in various types. In order to obtain benefits from “anti-fouling” system, a ship must be active. Otherwise, the performance of this system can not be observed. Briefly, marine organisms start to attach and grow on the hull if a ship is inactive (etc. out of service, on dock) for long time. As a result, it can be seen that the increase on the rate of fouling on inactive ships is much more than the active ships. Every ship is docked for a specific period which is determined in design process. During this period, the maintenance is provided and the hull is cleaned briefly. The docking of a ship is a laborious and expensive procedure. Up to docking period, the drag force on ship due to fouling increase and this formation cause decrease on the maximum speed of a ship and increase on fuel consumption and emission rate. For this reason, scientists have been working on the methods for the cleaning of a hull without docking of a ship.

In Chapter 2, the information about the total drag and the frictional-drag force which is related to topic is discussed. In addition, some studies on frictional-drag force are given.

In Chapter 3, the information about roughness on hull and propeller and the formation for roughness are given. Following, the process for biofilm and biofouling, the effects and the rates of fouling are presented.

In Chapter 4, the information about the hull cleaning methods that are cavitation-cleaning and conventional-cleaning is given and the difference of these two methods are indicated. In addition, the working principle of the system used for cavitation-cleaning is expressed and the effects of hull-cleaning applications to drag force are demonstrated graphically.

In application part, the information about the pre/post-cleaning situations in technical literature is given. Moreover, test results obtained from high-speed craft are

presented. Regarding the test results, the evaluation on cost analysis and financial gain for the economy are discussed.

In final part, overall results in the scope of the dissertation are discussed. Following that, the evaluation on this work is performed and some points are addressed for the future work.

1. GİRİŞ

Deniz ticareti ile yapılan taşımacılıkta kullanılan yakıtların masrafının fazla olması ve kaynakların tükenme noktasına gelmesinden dolayı bilim adamları mevcut sistemleri iyileştirmek ve ilersı için daha efektif çözümler üretmeye zorlanmaktadır. Geminin verimi arttırmak için birçok yöntem kullanılmaktadır. Ancak bir parametre ile oynarken diğır bir stabilite, denizcilik vb. gibi parametrelerde değışecektir. O yüzden mevcut durumda gemi sevk halindeyken kendi üzerinde yapılan değışiklerle verimi yükseltme yolu seçilmektedir. Bunlardan bir tanesinde tekne pürüzlülüğünü tekneyi kuruya almadan denizdeyken gidermektir. Tekne yüzey pürüzlülüğünün gemi performansına negatif bir etkisi vardır. Gemi yüzeyi; yüzeye sürülen boyalar, çevresel etkiler, dış kaplama saclarının korozyona uğraması, servis halinde iken su altında yaşayan yosun, midye gibi canlıların teknenin suyla temas eden kısımlarına yapışması (biyolojik kirlenme) gibi nedenlerle değışik şekil ve derecelerde pürüzlenir. Bu pürüzlülük zamanla geminin servis hızında düşüşe, gemi direncinde artışa neden olur.

1.1 Konunun Anlami ve Önemi

Günümüzde araştırmacılar daha az yakıt tüketen sistemler yaratmak için gemilere etki eden toplam direnci en aza indirmeyi amaçlamaktadırlar. Gemi direncinin bileşenlerinden sürtünme direncini etkileyen parametrelerden bir tanesi de tekne yüzey pürüzlülüğüdür. Tekne yüzeyi pürüzlendikçe, geminin toplam viskoz direnci (sürtünme direnci+viskoz basınç direnci) artmaktadır. Gemi yüzey koşulları geminin performansı üzerinde hayati bir öneme sahiptir. Yeni inşa edilmiş yük gemileri (dökme yük vb.) ve tankerlerin sürtünme direncinin toplam direncin %80-90'ını oluşturduğu, buna karşılık yüksek süratli gemilerde bu oranın %50 ve üzerinde olduğu bilinmektedir. Her yıl deniz yolu taşımacılığında yaklaşık olarak 300 milyon ton yakıt kullanıldığı ve bu miktarın zaman içinde daha da artacağı tahmin edilmektedir (IMO, 2009).Hiçbir önlem alınmaması ve yeni teknolojiler kullanılmaması durumunda 2020 yılına kadar, tüketilen yakıtlardan kaynaklanan

gaz emisyonunun ise %38 ile %72 arasında artacağı tahmin edilmektedir (IMO, 2009).

Gemi artan direnci dengeleyebilmek için daha fazla itme gücüne ihtiyaç duyacaktır. Buda daha fazla makine devri yani fazla yakıttır. Pürüzlülük pervane için de benzer bir etki yapmaktadır. Pervane yüzey pürüzlülüğü arttıkça, pervane kanatlarının karşılaştığı direnç de artmaktadır. Pervane yüzey pürüzlülüğüne kavitasyon, erozyon ve biyolojik kirlenme sebep olmaktadır. Pervane yüzey pürüzlülüğündeki artış, pervane verimini düşürdüğü için geminin sevk verimini de azaltmaktadır.

Pürüzlülüğün neden bu kadar önemli olduğuna tekne türlerine göre bakarsak, daha pürüzsüz bir tekne ve pervane yüzeyi; hızlı feribotlar için daha az yakıt masrafı, maksimum hız, daha az motor aşınması; askeri gemiler için yüksek hız, her zaman savaşa hazır olma, gürültü emisyonu; tanker ve dökme yük gemileri için kargo teslimat süresinde kısalma, daha az gaz emisyonları, minimum mekanik ve tamir masrafları; ticari gemiler için malı zamanında istenilen noktaya taşıma, daha az yakıt masrafı, çevre için güvenli olma açısından önemlidir.

1.2 Literatür Araştırması

Mosaad (1986), farklı gemi tiplerinin pervaneleri için yapmış olduğu deneysel ve teorik çalışmalarda pervaneye düzgün bakım yapıldığında bunun ekonomik olarak çok büyük bir geri dönüşüm sağlayacağını belirtmiş ve kirlenme ve yüzey hasarları ile artan pürüzlülüğün direnç artışına etkisi konusunda pürüzlülük yükseklik ve doku parametreleri analizlerini de içeren deneysel çalışmalar yapılması gerektiği sonucuna ulaşmıştır.

Froude (1872, 1874) gemi direncinin sürtünme ve artık direnç olarak ikiye ayrıldığı kabulü ile plakalara etkiyen sürtünme direnci değerlerini bulmak için İngiltere Torquay'daki deney havuzunda bir takım deneyler yapmıştır. Bu deneyler sonucunda çeşitli ampirik formüller bularak, farklı özelliklerdeki yüzeylerin farklı sürtünme direnci değerlerine sahip olduğunu fark etmiştir.

Schultz (2004) plaka deneyleri ile elde ettiği sonuçlarla, Granville (1958) benzerlik kanununu kullanarak, 150 m.'lik bir geminin 12 knot (6,2 m/s) hızındaki temiz, fouling'e maruz kalmış ve sonrasında temizlenmiş durumlar için sürtünme direnci katsayısı artışlarının tahmini yapmıştır. Bu çalışmada farklı fouling durumları için

pürüzlülük fonksiyonları incelenmiştir. Ayrıca yapılan pürüzlülük ölçümlerini temel olarak bazı özel durumlar için eşdeğer kum tanesi pürüzlülük yüksekliği tanımlaması yapılmıştır.

Tekne ve pervane yüzeylerindeki pürüzlülük deniz ortamında aynı anda meydana geldiğinden araştırmacılar çoğunlukla pervane ve tekne yüzey pürüzlülüğünü birlikte incelemişlerdir. Pasifik Donanması'ndaki ABD Uçak Gemisi'nden yapılan bildiriye göre USS Ranger'ın 16 aylık seferi sonucu 18 knot hız civarında %14'lük güç artışı olduğu ve bu güç kaybının yarı yarıya pervane kirlenmesinden kaynaklandığı belirlenmiştir (Herring, 1980).

Schoenherr (1932), yüzey pürüzlülüğünün gemi direncini nasıl etkilediğini araştırmıştır. Tam ölçek gemi ölçümleri ile model deneylerinden elde edilen sonuçlar arasındaki farkı açıklayan korelasyon faktörünün , 0.0004'e eşit sabit bir sayı olarak kabul edilebileceğini açıklamıştır.

Townsin, gemi yüzey pürüzlülüğü üzerine çalışan en önemli araştırmacılardandır. Yaptığı çalışmalarla tekne ve pervane pürüzlülüğünün sebep olduğu direnç artışı ile ekonomik kayıpları detaylı bir biçimde hem deneysel hem de sayısal olarak incelemiş, somut sonuçlara ulaşmıştır. Ayrıca Dey ile birlikte yaptıkları çalışmalar ile pürüzlülük parametreleri arasında çeşitli korelasyonlar geliştirmişlerdir. BMT tekne pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçtükleri antifouling boya ile yeni boyanmış bir yüzeyin, sürtünme direnci ile maksimum pürüzlülük yüksekliği arasında çok iyi bir korelasyon kurmuşlardır (Townsin ve Dey, 1990).

2. GEMİ DİRENCİ

2.1 Giriş

Bir geminin direnci doğrudan gemi performansı ve yakıt tüketimini etkilediğinden özellikle gemi sahipleri ve operatörleri açısından çok önemlidir. Dolayısıyla gemi direnci teorisi çok eski zamanlardan beri gemi inşaatı mühendisleri ve bilim adamları tarafından incelenmiştir. Özellikle gemi performansının model deneyleri vasıtasıyla tahmin edilmesi konusu üzerinde çokça durulmuştur. Bu konu ile ilgili çok çeşitli ve standart çalışmalar yapılmıştır (Taylor, 1943).

Bilindiği gibi gemi direnci genel olarak sürtünme direnci ve artık direnç olarak ikiye ayrılmakta, özellikle düşük hızlarda bu direncin büyük kısmı sürtünme direnci olmaktadır. Dolayısıyla gemi sürtünme direncinin azaltılması, uzun yıllardır araştırma konusu olmuştur ve olmaya devam etmektedir. Gemi direncinin azaltılması, daha dizayn aşamasındayken çok farklı parametreler arasında bir optimizasyon gerektirdiğinden her zaman zor bir iştir. Genelde tekne form optimizasyonu direnci azaltmak için kullanılacak bir yoldur. Bu konuyla ilgili model deneyleri ve çeşitli yazılımlar kullanılmaktadır. Gemi direncini düşürmek için kullanılabilecek diğer bir yöntem ise su altı formunu pürüzsüzleştirmektir. Bu da düşük sürtünme direnci oluşturacak ve tekneye deniz canlılarının yapışıp büyümesini engelleyecek antifouling boya uygulamaları sayesinde olacaktır. Bu yüzden fouling'in direnç üzerine olan etkilerini incelemekte ve bu etkileri en aza indirecek yöntemlerin geliştirilmesinde yarar vardır. Model deneyleri ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği gibi araçlar bu incelemelerde yöntem olarak kullanılabilir.

2.2 Gemi Direnci Bileşenleri

Gemi direnci, bir geminin belli bir hızda sevk edilebilmesi için gereken kuvvet miktarıdır. Bu kuvveti yenerek geminin ilerlemesini sağlayan güce efektif güç denmektedir. Efektif güç denklem (2.1)'te gösterilmiştir.

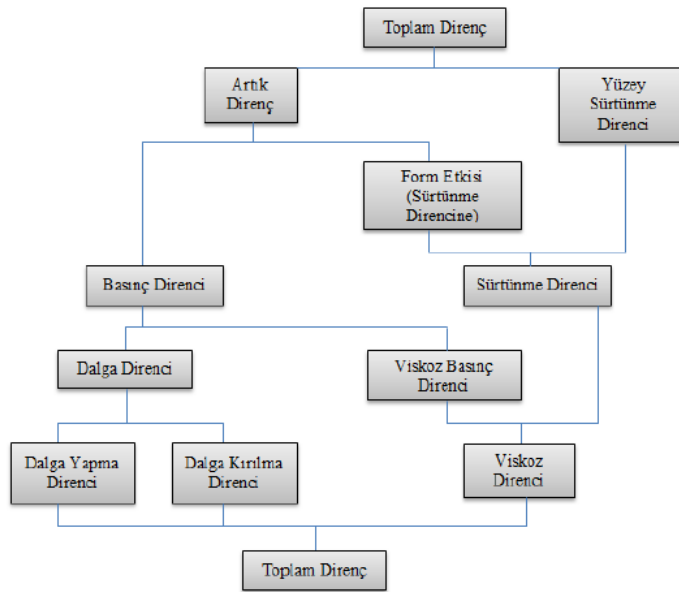
$$P_E = R_T V \quad (2.1)$$

Burada P_E efektif güç, R_T toplam direnç ve V gemi hızıdır. Toplam gemi direncinin, farklı nedenlerden dolayı oluşan ve birbirleriyle karmaşık şekilde bağlantılı olan farklı bileşenleri vardır. Basit bir yaklaşım olarak gemi direncini üçe ayırabiliriz:

1. Sürtünme direnci: Geminin viskoz akışkan içindeki hareketinden kaynaklanır. Sürtünme direnci, gemi ıslak yüzeyi üstündeki teğetsel gerilmelerin gemi hareket yönünde toplanması ile elde edilen direnç bileşenidir.
2. Artık direnç: Artık direnç, teknenin toplam direncinden sürtünme direncinin çıkarılması ile elde edilen bir niceliktir. Bu direnç bileşeni basit olarak dalga direnci ve anafor direnci olarak ikiye ayrılabilir.
3. Hava direnci: Geminin su üzerinde kalan bölümünün hareket sırasında hava ile etkileşimi nedeniyle oluşan dirençtir.

Bu yaklaşımla toplam gemi direnci, R_T , temel olarak sürtünme direnci R_F , ve artık direnç, R_{RR} , olmak üzere ikiye ayrılabilir.

Daha önce de değinildiği gibi, direnç bileşenleri çok farklı şekilde ele alınıp sınıflandırılabilir. Bu çalışmada asıl olarak sürtünme direnci ele alınacağından dolayı direnç bileşenleri bu şekilde tanımlanmıştır. Carlton (2007) toplam gemi direncini sürtünme direnci ve artık direnç olarak ikiye ayırmış, bu direnç bileşenlerinin alt bileşenlerini ve birbirleriyle olan ilişkilerini detaylı olarak Şekil 2.1’de vermiştir.



Şekil 2.1 : Gemi direnci bileşenleri (Carlton, 2007).

2.3 Sürtünme Direnci

Sürtünme direnci gemi su altı yüzeyinin durumuna bağlı bir büyüklüktür. Yine de tekne su altı yüzeyi tamamen pürüzsüz ve temiz olsa bile, bazı tekne tiplerinde sürtünme direnci toplam direncin %90'ı kadar olabilmektedir (Schultz, 2007). Tekne su altı yüzeyinde hasar, korozyon ve *fouling* gibi herhangi bir pürüzlülük sürtünme direncini doğrudan artırmaktadır. Bu yüzden sürtünme direnci üzerine deneysel ve teorik birçok çalışma yapılmıştır.

Bu etkinin sayısal olarak tespitini yapabilmek için bilim adamları uzun seneler boyu araştırmalar yapmışlardır. Froude direncin sürtünme ve artık direnç olarak ikiye ayrıldığı kabulü ile plakalara etkiyen sürtünme direnci değerlerini bulmak için Torquay, İngiltere'deki deney havuzunda deneyler yapmıştır. Froude (1872, 1874) deneysel olarak plakaların sürtünme direncini ampirik olarak denklem (2.2) ile ifade etmiştir.

$$R_F = fSV^n \quad (2.2)$$

Burada R_F sürtünme direnci (kN veya lb), S ıslak yüzey alanı (m² veya ft²), V hız m/s veya ft/s), f sürtünme direnci katsayısı ve n bir sabittir. f ve n değerleri yüzeyin uzunluğu ve karakterine bağlı olarak değişmektedir. Çizelge 2.1'de İngiliz birimleri için f ve n değerleri verilmiştir Froude (1872, 1874).

Çizelge 2.1 : Froude 'un yüzey sürtünme katsayıları (Lewis E. , 1988)

Yüzeyin yapısı	Yüzeyin uzunluğu (ft.)											
	2			8			20			50		
	f	n	k	f	n	k	f	n	k	f	n	k
Cila	0,00410	2,00	0,00390	0,0046	1,88	0,00374	0,00390	1,85	0,00337	0,00370	1,83	0,00335
Parafin	0,00425	1,95	0,00414	0,0036	1,94	0,00300	0,00318	1,93	0,00280	-	-	-
Patiska	0,01000	1,98	0,00830	0,0075	1,92	0,00600	0,00680	1,89	0,00570	0,00640	1,87	0,00570
İnce kum	0,00800	2,00	0,00690	0,0058	2,00	0,00450	0,00480	2,00	0,00384	0,00400	2,06	0,00330
Orta taneli kum	0,00900	2,00	0,00730	0,0063	2,00	0,00490	0,00530	2,00	0,00460	0,00490	2,00	0,00460
İri taneli kum	0,01000	2,01	0,00880	0,0071	2,00	0,00520	0,00590	2,00	0,00490	-	-	-

2.4 Gereç ve Yöntemler

Gemi direnci ve güç gereksinimlerinin tahmini konusunda sonuca ulaşabilmek için model direnç deneylerindeki gemi modeli ile tam ölçekli geminin geometrik olarak

benzer olması gerekmektedir. Gemi modelinin toplam direnci, iki ana bileşenin toplamından oluşmaktadır. Bunlar sürtünme direnci ve artık dirençtir.

$$R_{Tm} = R_{Fm} + R_{Rm} \quad (2.3)$$

Froude yaklaşımına göre toplam gemi direnci teğetsel direnç ve normal direnç olarak 2'ye ayrıldığında teğetsel yönlü direnç sürtünme direncidir, normal yönlü direnç ise artık dirençtir. Artık direnç de viskoz basınç direnci ve dalga yapma direnci şeklinde 2 kola ayrılabilir. Toplam direnç ile sürtünme direnci arasındaki farka eşit olan artık direnci ağırlıklı olarak dalga yapma direncinin oluşturduğunu söylemek mümkündür. Sürtünme direnci, akışkanın viskozitesinden kaynaklanan gemi gövdesindeki teğetsel kayma gerilmeleri kaynaklıdır. Denklem 2.3 alışlagelmiş şekilde boyutsuz olarak yazılabilir. Bunu yapmak için eşitlik referans dinamik basıncı $\frac{1}{2}\rho_m U_m^2$, ve tekne modelinin ıslak alanı S_M ile bölünür (Yani her bir direnç katsayısı $\frac{1}{2}\rho_m U^2$ ile boyutsuzlaştırılmıştır.) Burada ρ_m model testleri için akışkan yoğunluğu ve U_m de gemi modelinin hızıdır. Böylece model için toplam direnç katsayısı C_{TM} , modelin artık direnç katsayısı C_{RM} ile modelin sürtünme direnci katsayısının C_{FM} nin toplamı olur. Modelin artık direnç katsayısı Froude sayısının bir fonksiyonudur, $Fr_m = U_m / (gL_m)^{-1/2}$, burada g yerçekimi ivmesi ve L_m ise modelin boyudur. Benzer şekilde, modelin sürtünme direnci katsayısı Reynolds sayısının bir fonksiyonudur, $Re_m = U_m L_m \nu_m^{-1}$, burada ν_m model testleri için akışkanın kinematik viskozitesidir. Böylece modelin toplam direnç katsayısı:

$$C_{Tm} = C_{Fm}(Re_m) + C_{rm}(Fr_m) \quad (2.4)$$

Model testleri kullanarak tam ölçekli bir geminin direncini doğru olarak belirleyebilmek için model ve gemi arasında dinamik benzerlik olmalıdır. Denklem 2.4'te görüldüğü üzere bunun sağlanabilmesi için gemi ve modelin Froude ve Reynolds sayıları eşlenmelidir. Pratikte bu imkânsızdır. Bunun yerine model ve geminin Froude sayılarının eşlendiği eksik dinamik stabilite aşağıda gösterildiği şekilde uygulanır:

$$Fr_m = Fr_s \quad (2.5)$$

$$\frac{U_m}{\sqrt{gL_m}} = \frac{U_s}{\sqrt{gL_s}} \quad (2.6)$$

Sürtünme direnci katsayısı C_{Fm} , ITTC 1957 formülü kullanılarak şöyle verilir:

$$C_{Fm} = \frac{0.075}{(\log_{10} Re_m^{-2})^2} \quad (2.7)$$

Modelin artık direnç katsayısı C_{Rm} denklem 2.4'ten bulunabilir. Artık direnç katsayısı Froude sayısının bir fonksiyonu olduğundan ve model testlerinde $Fr_m = Fr_s$ olduğundan $C_{Rm} = C_{Rs}$ olur.

Toplam direnç katsayısı C_{Ts} ,

$$C_{Ts} = C_{Rs} + C_{Fs} + C_A \quad (2.8)$$

Burada C_A korelasyon katsayısıdır. Korelasyon katsayısı gemi model arasındaki pürüzlülük etkisini belirtmek için kullanılır.. Böylece toplam gemi direnci katsayısı;

$$C_{Ts} = C_{Rs} + C_{Fs} + C_A \quad (2.9)$$

olur.

3. TEKNE VE PERVANE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

3.1 Tekne ve Pervane Yüzey Pürüzlülüğü Özellikleri

Tekne ve pervane yüzeyinde pürüzlülüğün oluşmasının pek çok nedeni vardır: Yeni gemiler için bile yüzey pürüzlülüğü kaçınılmazdır ve korozyon, kirlenme ve mekanik hasar arttıkça gemi servis halinde yaşlanır iken pürüzlülük de artar. Eğer kirlenme (fouling) ara havuzlama periyodunda (interdocking period) kontrol edilebilirse, bir çeşit enerji kaybı olarak ihmal edilebilir boyutta kalabilir (Ünsalan, 1992).

Gemi yüzey pürüzlülüğü gibi pervane pürüzlülüğünün de ölçülmesi ve sayısallaştırılması tartışmalı bir konudur (Ünsalan, 1992). Her ikise de teoride aynı işlem uygulanmasına karşın, pervane pürüzlülüğünü farklı yapan etmenler:

- a) Daha küçük Reynolds sayısı akışları
- b) Eğer eksenel veya radyal yönlerde kanadın yüzeyi boyunca kavitasyon hasarı ya da kirlenme meydana gelmişse, daha büyük pürüzlülük varyasyonları yapılır.
- c) Daha yüksek pürüzlülük eğimi, yani daha yüksek değerlerde pürüzlülük yükseklik/dalgaboyu oranları.

Pervane yüzeyi, üretimi itibari ile parlatılmış bir yüzeye sahip olmasına karşın işletim hayatı boyunca çeşitli nedenlerle yüzeyinde bozulmalarla karşılaşır. Bunlardan birisi kavitasyondur, bir diğeri de kullanılan pervanenin alaşımına bağımlı olan deniz ortamının yol açtığı kimyasal hasardır. Pervane pürüzlülüğü, boyut olarak küçük olmasına rağmen, yüzey pürüzlülüğü ile karşılaştırıldığında performans düşürücü etkisinin aynı mertebede olduğu görülür (Ünsalan, 1992).

En çok rastlanan pervane bozulması korozyondur. Tekne yüzeyi için de pürüzlülüğü artıran en önemli faktörlerden birisi olan korozyon, malzeme yüzeyinden başlayan ve malzeme derinliklerine doğru kimyasal ve elektrokimyasal bir reaksiyonla tesir oluşturarak bir malzemenin değişikliğe uğraması ya da aşınması olayıdır. Tekne korozyonu için bakarsak; deniz suyu en büyük hacimli elektrolittir ve genel olarak uniform bileşime sahiptir. Tekne, düşük dirence sahip bu elektrolit içerisinde

yüzduğünden ve oksijen ile atmosferik reaksiyonlara maruz kaldığından korozyon için mükemmel bir ortamdır. Tekne malzemesi olarak çoğunlukla çelik kullanılır ve bütün çelikler deniz suyu içerisinde, sudaki oksijen konsantrasyonu ve çeliğin kimyasal yapısına göre korozyona maruz kalırlar. Teknede ayrı cins metallerin birarada bulunması, yüzeyin pürüzlü olması, yüzeyin hasara uğramış yada kötü boyanmış olması, yüzeyde kaynaklı, perçinli, bükümlü kısımların fazla olması korozyonu hızlandıran etmenlerdir.

Korozyon pervane kanadının her iki tarafında, özellikle de suya göre hızın çok yüksek olduğu dış yarı alanlarda meydana gelir. Çelik, deniz suyu ile biraraya geldiğinde korozyona uğrar yani aşınmaya başlar. Böylece yüzey pürüzlenir. Korozyonun zararlı etkilerinden kurtulmak için çelik tabakanın deniz suyu ile temasını engelleyen modern boya sistemleri geliştirilmektedir. Bir yüzey korozyona uğradığında kalan diğer yüzeylere göre o kısım daha zayıftır ve korozyona uğrayan kısımda gerilme yoğunluğu maksimumdur. Günümüzde korozyona dayanıklılık ve performans açısından pervane malzemesi olarak çoğunlukla manganez bronz alaşımı kullanıldığını görmekteyiz. Saf bakır ve sertifikalı diğer madenlerden (nikel, demir, alüminyum, mangan, çinko) dökümhanede imal edilen bu alaşım kimyasal ve mekanik özellikleri sayesinde pervanenin sağlam ve uzun ömürlü olmasını sağlar.

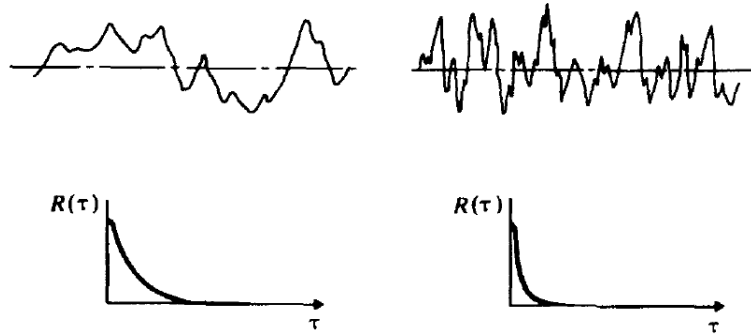
Boyanmış gemi yüzeyi durumunda, yüzey topografyası birkaç mikrondan bir kaç metreye kadar değişen aralıkta dalga boylarından oluşmaktadır. Bu durumda gemi yüzeyi üç şekilde sınıflandırılmıştır: yüzey pürüzlülüğü, dalgalılık ve form hatası. Dalgalılık ve form hatası birlikte yapısal pürüzlülük olarak kabul edilmektedir (Lackenby, 1962). Ayrım oldukça keyfidir ve araştırmacılar tarafından kararlaştırılmış pürüzlülüğü dalgalılıktan ayıran bir dalgaboyu bulunmamaktadır.

Pürüzlü yüzeyler boyunca akış probleminin araştırmalarından pek çoğunda, yüzeylerin karakterizasyonları tek bir parametre ile, pürüzlülük elemanlarının yüksekliği ile yapılmıştır. Bir gemi yüzeyindeki düzgün olmayan pürüzlülük için de bu uygulanmıştır. Gemi yüzeyindeki pürüzlülük çoğunlukla BMT Hull Roughness Analyser (tekne pürüzlülük analiz cihazı) ya da onun benzeri cihazlar ile ölçülmektedir. Tekne pürüzlülüğünü ölçmek için uçlu (iğneli) aletlerin yanında pnömatik aletler de kullanılmış olsa da uçlu cihazlar her zaman daha geçerli olmuştur. Rt50 okumalarının ortalaması olarak AHR, ortalama tekne pürüzlülüğü, tekne yüzeylerinin karakterizasyonunda uluslararası olarak kabul edilen tek

pürüzlülük parametresi olmuştur (ITTC 1990). Bununla birlikte, Rt50 gibi aynı yükseklik veya genlik parametresine sahip iki yüzey, oldukça farklı dokulara sahip olabileceğinden, pürüzlülük kavramının tek bir pürüzlülük parametresi ile temsil edilmesinin yanlış olduğu farkedilmiştir. En azından dokuyu tanımlayan bir parametre daha olması gerekmektedir.

Buna durumu araştıran Dey'e göre yeni yani yüzeyi pürüzsüz veya çok az pürüzlü gemilerde ek direncin yaklaşık olarak belirlenebilmesinde Rt50 parametresi yeterli iken, Candries (2001) yapmış olduğu deneysel çalışma ile, pürüzsüz bir yüzey için fouling salınımlı boya ile boyanmış yüzeylerin ek direnci ile Rt50 arasında herhangi bir bağıntı olmadığını göstermiştir. Bunun nedeni fouling salınımlı boya sisteminin fiziksel bileşimi nedeniyle dokusunun Tribütalin içermeyen (TBT free) sistemden oldukça farklı olmasıdır. Demek ki, farklı boya kullanılması yüzey dokusunda farklılık oluşturduğundan farklı boyalar ile boyanmış yeni yüzeyler ile tekne direnci arasında bağıntı kurabilmek için pürüzlülük parametrelerinin yanında doku parametreleri de gereklidir (Candries, 2001).

Literatürde çeşitli yükseklik ve doku parametreleri kullanılmıştır. Bir yüzeye başka bir ölçüm işlemi yapmadan belli bir ortalama pürüzlülüğe veya eğime sahip olduğunu söylemek hatalı olur. Aşağıdaki şekilde aynı genlik parametresine fakat farklı dokulara sahip iki yüzey ve onların otokorelasyon fonksiyonlarının birbirlerinden ne kadar farklı oldukları görülmektedir. (Nikuradse, 1933).

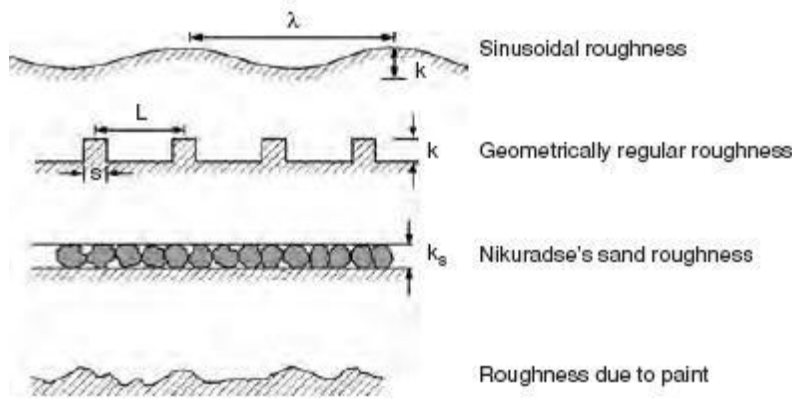


Şekil 3.1 : Aynı genlik parametresine fakat farklı dokulara sahip iki yüzey ve onların otokorelasyon fonksiyonları (Thomas, 1999).

Yükseklik parametreleri uzun dalgaboyu kesimine duyarlı iken, doku parametreleri kısa dalga boyu kesimine duyarlıdır (Thomas, 1999). Pürüzlülük parametrelerinin yükseklik ya da doku hesaba katılmaksızın tanımlanabilmesi için, uzun ve kısa dalgaboyu kesimi değerleri belirlenmelidir.

Pürüzlülüğün etkisi temel olarak yükseklik, form, pürüzlülük dağılımı gibi pek çok parametreye bağlıdır. Aşağıdaki şekil pürüzlülüğün hem idealleştirilmiş türlerini hem de boya nedeniyle pürüzlülüğü göstermektedir. Aşağıdaki şekildeki sinüsoidal pürüzlülüğe bakarsak, bu şekilden de görüleceği üzere pürüzlülük yüksekliği k ve dalgaboyu λ ya bağlıdır (Faltinsen, 2005).

Aşağıdaki şekilde farklı pürüzlülük türleri (sinüsoidal pürüzlülük, geometrik olarak düzgün pürüzlülük, Nikuradse'nin kum pürüzlülüğü ve boya nedeniyle pürüzlülük) görselleştirilmiştir.



Şekil 3.2 : Farklı pürüzlülük türlerinin görselleştirilmesi (Faltinsen, 2005).

Eğer dikdörtgen pürüzlülük elemanları arasında geometrik bir düzen varsa, şekil 3.2'den görüldüğü gibi akış k 'ya, herbir kenarın yatay uzunluğu s 'ye ve birbiri ardı gelen iki pürüzlülük arasındaki mesafe L ye bağlı olur.

Viskoz dirençte pürüzlülük etkisini karakterize etmek için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi eşdeğer kum tanesi yüksekliği kullanmaktır. Bu, yukarıdaki şekilde 3.2'de görüldüğü gibi aynı yüksekliğinde birbirine yaklaşık olarak eşit mesafede olan kum taneleriyle Nikuradze'nin 1933 yılında yaptığı deneylerde anlatılmıştır (Faltinsen, 2005).

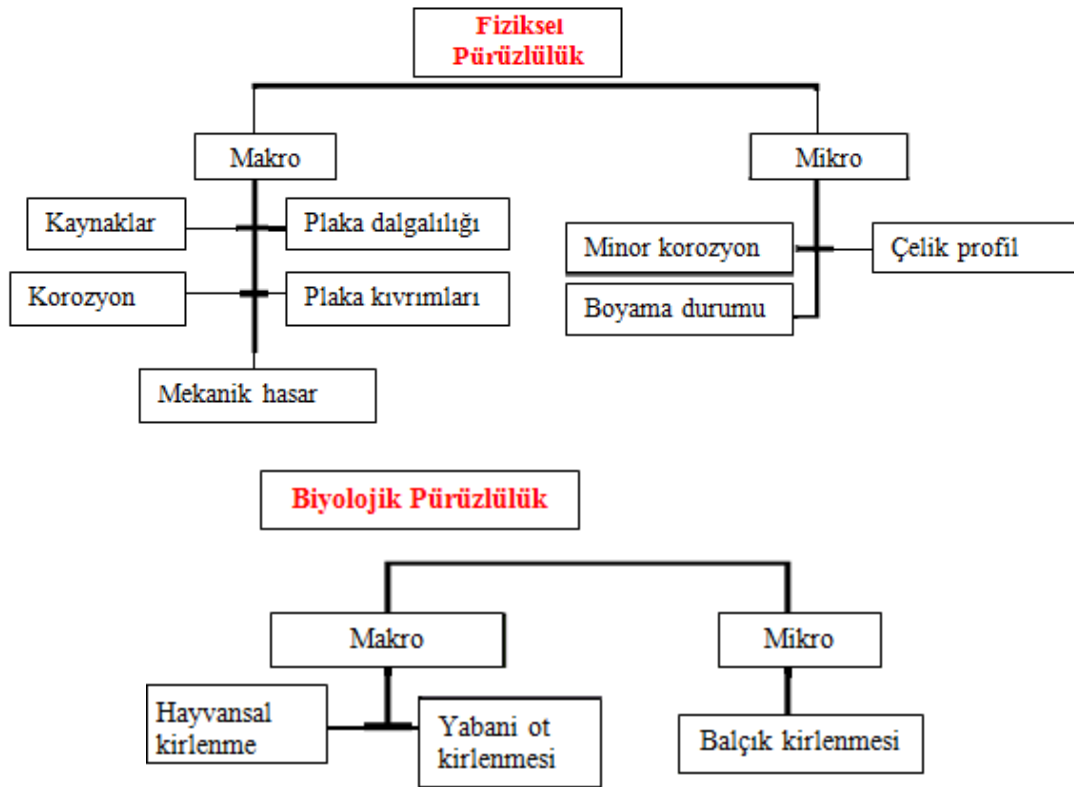
Toplam sürtünme direncini en fazla artıran geminin baş kısmındaki pürüzlülüklerdir. Gemi boyunun baştan ilk çeyreği kadarlık kısım toplam sürtünme direncinin büyük kısmını oluşturur ve kıça doğru gidildikçe pürüzlülüğün dirence etkisi azalır. Pürüzlülük sürtünme direncine doğrudan etki eder fakat bunun tam olarak ölçülebilmesi çok zordur.

3.2 Pürüzlülük Rejimi

Mikropürüzlülük rejimi, yüzey dalga uzunluğunun birkaç mikrondan birkaç milimetreye kadar mertebesini içerir.

Makropürüzlülük rejimi, milimetre ölçeğinden santimetre ölçeğinedir. Yapısal pürüzlülük, santimetre ölçeğinden daha yüksek değerlere uzanan dalga boyu seviyesine sahiptir.

Bir başka yaklaşıma göre de tekne pürüzlülüğü iki ana türden oluşur, fiziksel pürüzlülük ve biyolojik pürüzlülük (kirlenme). Her biri kendi makro ve mikro özelliklerindedir.



Şekil 3.3 : Pürüzlülük Rejimi Sınıflandırılması (Usta,2012).

3.3 Mikrobiyal Biyofilm

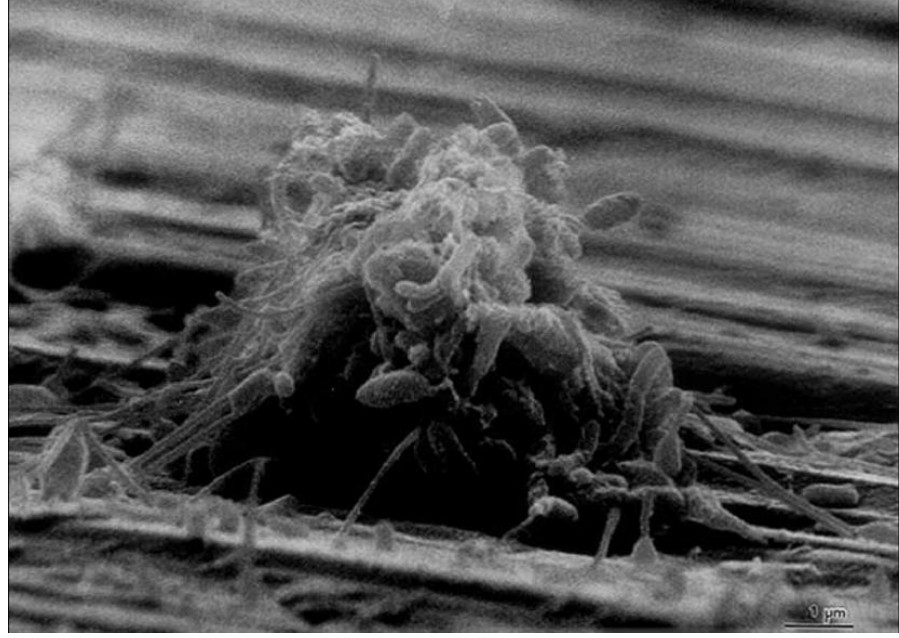
Doğal çevrelerdeki bakterilerin çoğu, sıvı-katı ve sıvı-hava yüzeyleri içeren ortamlarda, biyofilm oluşturacak şekilde gelişim gösterirler. Mikroorganizmaların, çeşitli yüzeyler üzerinde tutunarak salgıladıkları, ekstraselüler (hücre dışı) polimerik cıvık matris içinde oluşturdukları yığına, biyofilm denmektedir (Tang ve Cooney, 1998). Özellikle, ıslak yüzeylerde oluşan biyofilm bakterilerinin, fenotipik olarak

planktonik hallerinden farklı oldukları bildirilmiştir. Bu farklılıktan yola çıkarak, cıvık yapıdaki topluluklara, İngilizce “canlı tabakalar” anlamına gelen biyofilm isimlendirmesi uygun görülmüştür (Ceyhan, 2008). Çeşitli yüzeyler mikroorganizmalar için önemli yerleşim alanlarıdır, çünkü yüzeyler besin maddelerini tutarak biriktirirler. Besin maddeleri, sıvıdaki hacimlerinden daha fazla miktarlarda, bu yüzeylerde bulunabilir. Sonuç olarak, mikrobiyal sayı ve aktivite, yüzeylerde sudakinden çok daha fazladır (Madigan ve ark., 2003). Mikrobiyal biyofilmlerin temel yapısal bileşeni EPS (hücre dışı polimerik maddeler)’dir. Biyofilmin, ana iskelet olarak mikrobiyal hücreler ile EPS’den oluştuğu ve EPS’nin toplam organik karbonun %50-90’ını barındıran bir matris oluşturduğu kabul edilmiştir (Donlan, 2002; Lazarova ve Manem, 1995; Sutherland, 2001a). EPS, terminolojide hücre dışı polimerik maddeler, ekzopolisakkaritler ya da ekzopolimerler terimlerinin karşılığı olarak kullanılmaktadır. Biyofilm tabakasında, bakterilerin hücre dışına salgıladıkları maddelerdir ve bakterileri bir arada tutan çimento gibi düşünülmektedir (Şekil 3.4) (Zhang, Bishop ve Kinkle, 1999)

Biyofilm yapısı, hem bulunduğu yüzeyin özellikleriyle, hem de çevresel faktörler ile yakından ilişkilidir. Bu yapı, besin miktarlarındaki değişimlerin etkileri ile çevresel stresten korunmayı sağlayan ve biyositlere karşı direnci arttıran bir düzendedir (Chambers, Stokes, Walsh ve Wood, 2006). Bir çok ırk, ırka özgü tek bir EPS’den ziyade, yaşamları boyunca oluşumlarında değişimlere uğrayabilen farklı EPS’ler de üretebilmektedir. EPS’ler, farklı biyofilm topluluklarında yapı ve fonksiyon bakımından değişik rollere sahiptir. Biyofilmlerin yeryüzündeki en eski yaşam formlarından birini temsil etmeleri ve sınırlı çevrelerde dahi bulunabilmelerinin, mikrobiyal hücreler açısından önemli avantajlar sağladığının işaretleri olduğu düşünülmektedir (Allison, 2003; Ceyhan, 2008; Donlan ve Costerton, 2002; Fang, Xu ve Chan, 2002; Jefferson, 2004; Madigan ve ark., 2003; Sutherland, 2001b).

EPS, hücre için gerekli besin maddelerini, organik molekülleri, iyonları bağlayabilir. Besin kıtlığı durumunda ise, bakterilerin kendilerinin ya da diğer türlerin ürettiği EPS tabakasını yıkıma uğratarak, beslenme amacıyla tükettikleride bilinmektedir (Christensen ve Characklis, 1989). Ayrıca, polisakkarit varlığından dolayı kuraklığa, parçalanmaya, pH dalgalanmalarına, antibiyotikler, biyositler, ağır metaller gibi toksik bileşiklere karşı, hücreleri fiziksel olarak da korumaktadır. Örneğin, U.V. radyasyon ve diğer DNA’yı tahrip edici bazı ajanların, bir EPS olan aljinat ile

sabitlenmesiyle *Vibrio fischeri*'nin, bu hasardan korunduğu tespit edilmiştir. Yine EPS üretiminin, *Klebsiella aerogenes*'i bakır ve kadmiyum iyonlarının toksik etkisinden koruduğu gözlenmiştir. Ayrıca, EPS oluşumuyla genetik materyalin, hücreler arası transferi de kolaylaşmaktadır.



Şekil 3.4 : Endüstriyel su sisteminde, metal yüzey üzerinde oluşan biyofilmin scanning electron mikroskobundaki görüntüsü (Donlan ve Costerton, 2002).

Yeni gözlenen bazı plazmitlerin (kromozomdan bağımsız, dairesel DNA dizisi), denizel çevrelerdeki biyofilmlerden izole edildiği bildirilmiştir. Bir *Pseudomonas putida* ırkının, civa direncini, biyofilm ortamından temin ettiği plazmitlerden sağladığı belirlenmiştir (Ceyhan, 2008; Dahlberg, Lindberg, Torsvik ve Hermansson, 1997; Davey ve O'toole, 2000).

Patojenik bazı durumlarda ise, konak canlıının makrofajlarının bağlanmasına ve antikorların nüfuz etmesine karşı hücreleri korumaktadır. Bir çok potansiyel patojenin (*Legionella pneumophila*, *Cryptosporidium* spp., *Mycobacterium* spp., *Pseudomonas* spp., *Klebsiella* spp., *E. coli*, *Staphylococcus* spp., *Helicobacter pylori*, Rotavirus, *Giardia*, enteroviruslar, mikoplazmalar, amip gibi protozoonlar, *Candida* spp. vb.) biyofilmlerle ilişkili olduğu saptanmıştır (Ceyhan, 2008; Donlan, 2002; Douglas, 2003; Watnick ve Kolter, 2000).

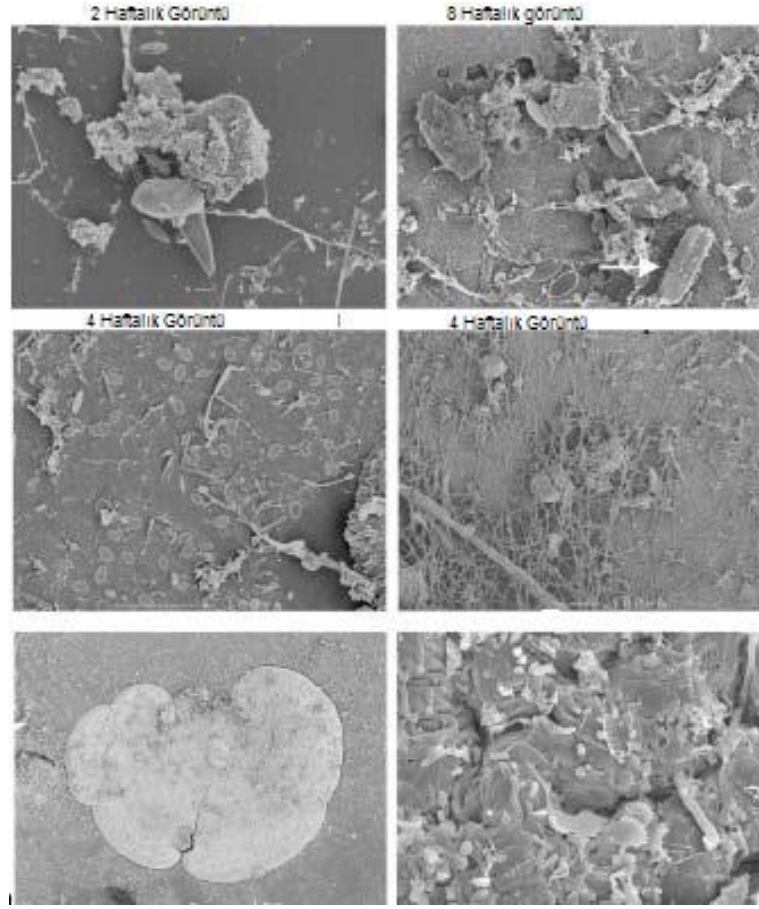
3.3.1 Biyofilm yapısı

Sucul ortamda gelişen biyofilm topluluğu; bakterileri, mantarları, algleri, protozoonları, hatta nematodları, rotiferleri ve çeşitli larvaları içerebilir (Şekil 3.5) (Donlan, 2002; Webster ve ark., 2004). Biyofilm yapısı, kararlı ancak çevresel değişimlere cevap veren, son derece dinamik bir sistemdir. Biyofilm yapısı içinde üretilen EPS üzerinde, büyüme ortamının direkt bir etkisi vardır. Örneğin; katı yüzeyde büyütülen bakterilerin, sıvı besiyerinde yetiştirilenlerle karşılaştırıldıklarında çok daha büyük miktarda EPS ürettikleri saptanmıştır. Bununla beraber, büyüme oranı ve besin azlığı gibi diğer çevresel faktörler de bu yanıtın oluşmasına katkıda bulunur; ayrıca katı yüzeyde büyüyen hücreler, düşük büyüme oranında bile planktonik olanlardan çok daha fazla miktarda EPS üretirler (Ceyhan, 2008; Shankar, Ye, Schlichtman ve Chakrabarty, 1995;).

Bakteriyal EPS'lerin çoğunluğu, düzenli oligosakkaritlerin tekrarlanan birimlerinden oluşmuş heteropolisakkarit yapıda, bazı bakteriyal EPS'ler ise tek tip şekerden meydana gelen bir homopolisakkarit yapıdadır. Heteropolisakkaritler, hücre içinde sentezlenirler ve daha sonra hücre dışına çıkarılarak hücrenin etrafını sararlar. Bu işlemler için, bir çok enzimin varlığına ihtiyaç duyulur. Genelde % 10-95'i polisakkarit, %1-60 protein, %1-10 nükleik asitler, %1-40 yağlar ve üronik asitler gibi çeşitli bileşenlerden oluşan yapı, besin elementleri ile oksijenin alımına ve metabolik yan ürünlerin uzaklaştırılmasına izin verecek düzendedir (Lee, Kwon, Cho, Kim, Park ve Lee, 2003; Sutherland, 1990).

Bakteriler, çeşitli yüzeylere bir çok farklı yolla tutunma ve yapışma yeteneğindedirler. Bir çok bakteri, çeşitli maddelere karşı çekicilik gösterir, örneğin sentetik polimerler gibi (Pashmore ve ark., 2001). Tutunmada görev alan tekniklerden biri, membran bağlı proteinlerdir. Bunlar, belli yüzeylerle yüksek çekim eğilimi gösterir. Örneğin, *Thiobacillus ferrooxidans* pirit için aporustisiyanin proteinini, *Staphylococcus aureus* ise ökaryotik hücrelere tutunmak için kollajen bağlı proteinleri ve fibronektini kullanmaktadır (Blake ve Ohmura, 1998; Foster ve Hook, 1998). Diğer bir yöntem, bazı türlerin yüzeye tutunmak için EPS'leri üretmesidir. Proteinlerden daha az spesifik olmalarına rağmen şekerler, itici elektrostatik yüzey güçlerinin üstesinden gelmede daha başarılıdırlar. Ayrıca, salgılanan bu polimerler, bir çok kimyasal fonksiyonel gruba sahiptir. Kovalent

bağlar, hidrojen bağları vb. tutunmaya yardımcı etkenlerdir (Chen ve Stewart, 2002; Pashmore ve Costerton, 2003).



Şekil 3.5 : Diyatomların ve larvaların oluşturduğu biyofilmin, scanning elektron mikroskopundaki görüntüsü. (Webster ve ark., 2004).

Hareketli bakteriler, ek tutunma teknikleri geliştirmişlerdir. Flajelli bakteriler (Ör; Pseudomonas), saplı bakteriler (Ör; Caulobacter) gibi. En etkili strateji ise, tip IV pilinin kullanımıdır. Bakteriler, hücre duvarından yüzeye doğru pilusu fırlatırlar. Pilus, hücre içinden fırlatıldıktan sonra, hücreyi yüzeye doğru çeker (O'Toole ve Kolter, 1998).

Çözülmüş moleküller, çeşitli yüzeylere doğal yollarla hızlıca tutunurlar. Yapay bir yüzey, suya daldırıldıktan sonra 30dk. içinde, yüzey hızla moleküler kaplanmayla karşı karşıya kalır (Characklis ve Marshall, 1990; Pashmore ve ark., 2001). Bu moleküler tabaka, bakteri hücrelerinin çekimi ve tutunması için kimyasal grupları sağlar ve yüzeydeki itici kuvvetlerin etkisini azaltır. Aynı zamanda, bu tabakadaki organik moleküller, yüzey ilişkili bakteriler için besin kaynağını da oluşturur (Pashmore ve Costerton, 2003).

Biyofilm oluşturan bakteriler, yzeeye tutunma sürecine hızlı yanıt verme yeteneğindedirler. Örneğın, tutunmadan 45dk. sonra, bakteriler hücre dışı polimerik maddeleri üretmeye başlarlar. Bunun yanında, biyofilm oluşumu hemen gerçekleşmez. Yüzeyi tanıma, kabullenme hızlı gerçekleşirken, olgun biyofilm oluşumu 12 saat ile haftalar arasında yapılır (Characklis ve Marshall, 1990).

Biyofilm gelişimi, basamak basamak olmaktadır. Yüzeyde hareketli bakterilerin bir çoğu, kümeler halinde hareket ederek yüzmeye ve seğirme, sıçrama (twitching) hareketlerine devam ederler. Bu kapıp çekme, sıçrama, kayma hareketleri, bakterilerin yüzey ve mikrokolonilerden oluşan yığınların içinden hareket etmelerine ve biyofilm oluşum aşamasında, boş yüzey alanlarında da hızla çoğalmalarına izin vermektedir. Bunun yanında, biyofilm yapısı yüzeyde oluşmaya başladıktan ve bakteriler yzeeye bağlandıktan sonra, hareket neredeyse durma noktasına gelmektedir (O'Toole ve Kolter, 1998). Üretilen EPS oldukça esnek, uzun moleküllü polimerik maddelerdir. Bu moleküller, yüzeyle ilgili yapışma mekanizmasını ve hücreler arası tutunma kararlılığını sağlamaktadır (Mayer ve ark., 1999). Yüzeyi kaplama süreci, iki farklı yol ile olmaktadır. İlki, bireysel hücrelerden, seğirme, sıçrama hareketleri ile hücresel yığınların oluşmasıyla, yapının gelişmesi (Tolker-Nielsen ve ark., 2000). İkinci yol ise, hücrelerin bölünerek çoğalmaya devam etmesi suretiyle, biyofilmin yüzeyden dışa doğru genişlemeye devam etmesidir (Characklis ve Marshall, 1990). Biyofilmin genişlemesi ve büyümesi, bakteri sayısındaki artışla birlikte, aynı derecede ihtiyaç duyulan besin elementlerinin miktarında da artışa yol açar. Bir çok sistem de, bunun anlamı, katı yzeeye en yakın hücrelerce besin elementlerinin hızlı bir şekilde kapılmasıdır. Biyofilmdeki hücreler, besin elementlerinin tkutilmesi ile, besin elementlerinin çoğunu almak için en yakın hücrelerce çevrenin sarılmasını sağlayan sistemi de çalıştırmaktadır. Biyofilm bakterileri bunun için 3 yol kullanır. İlki, biyofilm kolonilerinin (besin elementlerinden en uzaktakiler) en altında ya da merkezindeki hücrelerin, durağan fazdaki gibi davranarak yaşam için gerekli besin elementlerinin oranını azaltmasıdır. İkincisi, biyofilmlerin yapılarında akış kanallarını (flow channels) sürdürerek ve hem biyofilm yüzey alanını, hem de besin alımını arttırmalarıdır. Biyofilm modellerindeki ölçümler göstermiştir ki, kanal yapısı, biyofilm boyunca besin elementi seviyesinde önemli artışları sağlamaktadır. Üçüncüsü ise, biyofilm bakterilerinin, küçük biyofilm

yığımlarını kopararak çözünen besin elementlerini hızlıca kullanmasıdır (Pasmore ve Costerton, 2003).

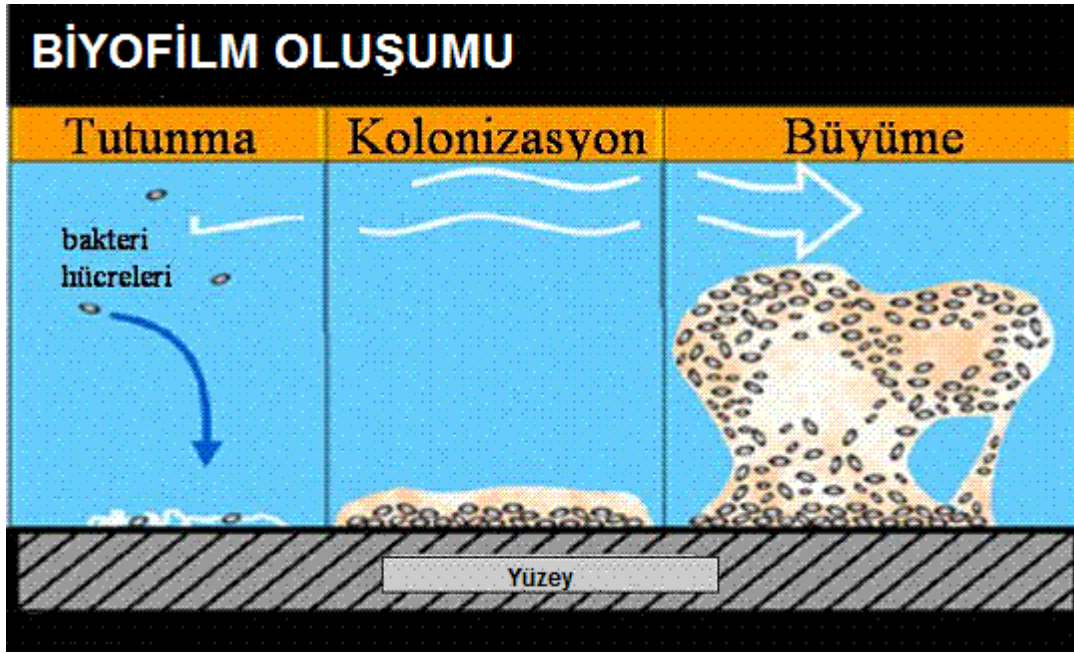
Bakterilerin planktonik hücre halinden, biyofilm üyesi oldukları duruma geçişlerinde protein ifadelerinde de değişiklikler gözlenir. Sauer, Camper, Ehrlich, Costerton ve raporuna göre, *P. aeruginosa*'nın planktonik hali ve biyofilm formu karşılaştırıldığında, yapısında %70'lik bir farklılık görülmüştür. Bu farklılık, türler arasında büyük çeşitlilik gösterir. Örnek genuslar *P. aeruginosa*, *P. putida*'dır. Diğer araştırmalar da, RNA düzeyindeki değişimler ile, en az 73 ek genin, biyofilm yapısında bulunduğunu göstermiştir. Bu bilgi, biyofilmin spesifik kontrol stratejilerinin geliştirilmesini de olası kılmaktadır (Pasmore ve Costerton, 2003; Whiteley ve ark., 2001).

3.3.2 Biyofilm oluşumu

Biyofilm oluşumu, birbirini izleyen fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin bir sonucu olarak meydana gelmektedir (Şekil 3.6).

Temel olarak biyofilmin gelişim aşamaları sırasıyla şunlardır:

- Yüzey üzerinde, sıvı ortamdan gelen organik/inorganik moleküllerin başlangıç filmi oluşturmaları.
- Sıvı ortamdan yüzeye, planktonik hücrelerin taşınımı ve hücrelerin kısa bir süre içerisinde yüzeye geri-dönüşümlü tutunması.
- Sıvının akış hızı ve kesici kuvvetlerin etkisiyle, yüzeye geçici tutunan hücrelerin yüzeyden ayrılması.
- Kalan hücrelerin yüzeye geri-dönüşümsüz tutunması.
- Hücre büyümesi, bölünmesi ve EPS matris üretimi ile yeni hücrelerin, bağlanması ve birikimi.
- Çeşitli kuvvetlerin etkisiyle, biyofilm materyalinin yüzeyden kopup ayrılması (Ceyhan, 2008; Singh, Paul ve Jain, 2006).



Şekil 3.6 : Biyofilm yapısı (Url-1)

3.4 Biyofouling

3.4.1 Biyofouling süreci

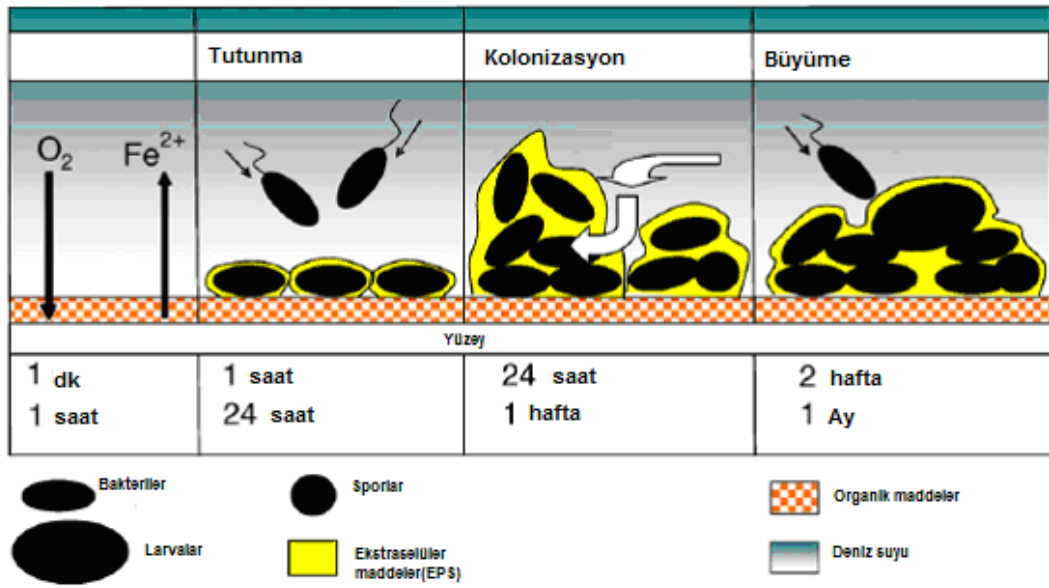
Sucul ortamlardaki, su kolonunda ve zeminde bulunan yüzeyler üçe ayrılır. 1. grup canlı olmayan doğal yüzeylerdir; kayalar, taşlar vb. gibi sert zeminler. Fiziksel ve kimyasal açıdan daha aktif 2. grup; makroalgler, hayvanlar gibi yüzeyleri diğer canlılarca kaplananlar. 3. grup; metal, ahşap tekneleri ve gemileri, kabloları, ipleri içermektedir (Railkin, 2004).

Denizlerdeki canlıların, doğal yapıların ve insan yapımı araç ve gereçlerin (gemi karinaları, su boruları, atık su deşarj boruları, şamandıralar, elektrik kabloları, balıkçılıkta kullanılan ağlar, petrol boru hatları vb.) yüzeylerinde tutunarak gelişen organizmaların oluşturduğu topluluğa fouling organizmalar ve bu organizma gelişim sürecinde genel olarak fouling olayı denir (Geldiay ve Kocataş, 2002).

Sucul ortamlardaki yüzeylerde, kolonizasyon (çoğalıp yayılma), fouling ve biyofouling benzer anlamlarda kullanılabilir (Wahl, 1989). Biyofouling, biyolojik fouling süreci anlamındadır ve hem köken açısından hem de farklı tortuların birikimi yönünden yüzeyler üzerinde değişkenlik gösteren korozyon, kristalizasyon, kimyasal reaksiyonlar gibi diğer fouling formlarından ayrılmaktadır.

Sonuç olarak, biyolojik fouling; sucul ortamda canlı organizmalarca yüzeylerin kaplanmasını kapsayan özel bir durumdur (Railkin, 2004).

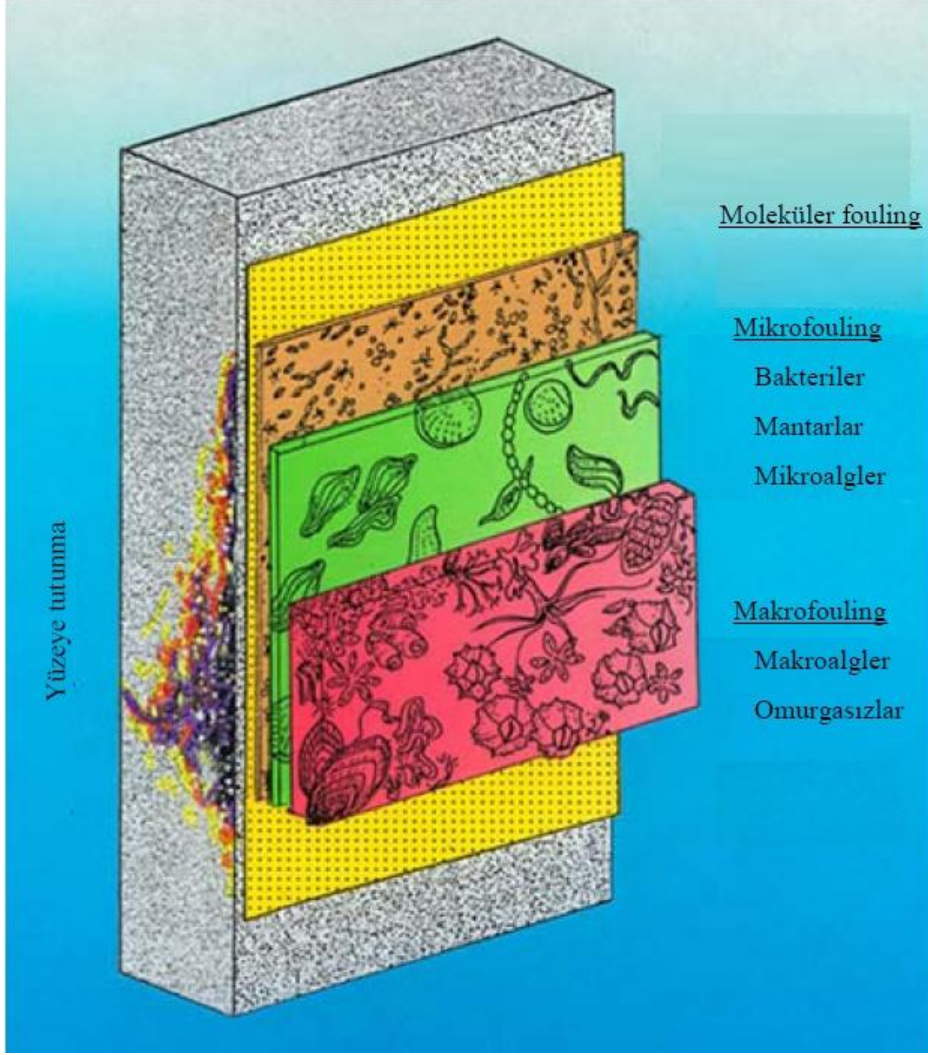
Biyofouling sürecinin önemli bir sebebi, artan organik karbon miktarıdır. Özümlenebilir organik karbon, mikrobiyal üremeyi teşvik eden en önemli bir maddedir. Biyolojik fouling sürecinde, öncelikle organik maddenin yüzeyde birikimi görülmektedir, ardından öncü bakteriler bu yüzeye tutunur ve biyofilm matrisini oluşturur, sonraki süreç ise mikro ve makrofouling organizmaların tutunmasıdır. Olgun fouling alanında, ölümler ve türlerin göçüde bulunmaktadır (Chambers ve ark., 2006).



Şekil 3.7 : Biyofoulingin gelişim aşamaları (Chambers ve ark., 2006).

Bakteriyel tutunma bir çok faktörden etkilenmektedir. Örneğin, yüzeyin elektriksel yükü, suya karşı davranışı ve topografisi (yer betimlemesi) gibi. Yüzeyin özellikleri, film tabakasının oluşumunda değişikliklere neden olabilmektedir. Deniz suyundaki; negatif ve pozitif yüklü iyonların, proteinlerin yanı sıra, humik asitler, şekerler ve yağlarda önem taşımaktadır. Ayrıca, hücre yüzey özellikleri de, (uzun zincirli polimerler, hücre uzantıları, yüzey-aktif maddeler vb.) tutunmanın gücü hakkında rol oynayan anahtar koşullardır (Yebr, Kill, Weinebell ve Dam-Johansen, 2006b). Yapılan çalışmalarda, 4000'den fazla türün foulinge sebep olduğu belirlenmiştir. Tespit edilen türler ise hali hazırda bilinmeyen türlerin yanında çok az bir miktarını oluşturmaktadır. Geleneksel olarak, fouling olayı 4 basamakta gerçekleşmektedir. İlk

basamağında, polisakkaritler, proteinler ve proteoglikanlar ve inorganik bileşikler yüzey üzerinde birikirler (ilk dakikalarda). Bu süreç, Brownian hareketi, elektrostatik ilişkiler, van der waals güçlerince oluşur; ikinci aşama için yüzeyin yaklaşık 24 saat su altında kalma koşulu gerekmektedir ki, bakteriler ve tek hücreli algler yüzeye tutunabilsinler.(Ünsalan, 1992)



Şekil 3.8 : Biyofouling süreci (Url-1)

Bu yapı, mikroorganizmaları toksinlerden (10-1000 kat yüksek konsantrasyonda) ve çevresel değişikliklerden koruduğu gibi, gerekli besin elementlerinin tutulmasını da kolaylaştırmaktadır ve oluşan film yapısı içinde enerji, karbon ve enerji kaynaklarından yapıdaki diğer mikroorganizmalarda faydalanabilmektedir (Callow ve Fletcher, 1994).

Çizelge 3.1 : Deniz suyundaki yüzeylere tutunan organizmaların tutunma aşamaları (Ünsalan, 1992)

Süreçler	Tutunan Organizmalar	Biyofilm Yapısının Durumu	Yaklaşık Başlangıç Zamanı
1. Aşama; Elektrostatik etkileşimler, brownian hareketleri ve van der Waals güçleri gibi gerekli fiziksel güçler	Proteinler, polisakkaritler, glikoproteinler ve diğer organik moleküller, yüzeylere tutunmaya başlar	Düzenleyici	İlk dakikalarda
2. Aşama; Geri dönüşümlü olabilen tutunma, fiziksel güçler ve türler arasındaki etkileşimler	Bakteriler; <i>Pseudomonas putrefaciens</i> , <i>Vibrio alginolyticus</i> , diyatamlar; <i>Achnantes brevipes</i> , <i>Amphora coffeaeformis</i> , <i>Nitzschia pusilla</i>	Mikrobiyal biyofilm	1-24 saat
3. Aşama, Yerleşen mikroorganizmalar predatörlerden, toksik maddelerden ve çevresel değişimlerden korunur ve yeni mikroorganizmalara yetecek besini sağlar	Mikroalg sporları; <i>Ulothrix zonata</i> , <i>Enteromorpha intestinalis</i> ve protozoonlar; <i>Vaginicola</i> sp., <i>Zoothamnium</i> sp., <i>Vorticella</i> sp.	Biyofilm	1 hafta
4. Aşama; Partiküllerde ve makroorganizma larvalarında artış ve dönüşümsüz film oluşumu ve üzensiz mikrobiyal kolonilerle pürüzlülük oluşumu	Makroorganizma larvaları; <i>Balanus Amphitrite</i> (Crustacea), <i>Laomedea flexuosa</i> (Coelenterata), <i>Electra crustulenta</i> (Bryozoa), <i>Spirorbis borealis</i> (Polychaeta), <i>Mytilus edulis</i> (Mollusca) ve <i>Styela coriacea</i> (Tunicata)	Deniz omurgasızlarının ve makroalglerin tutunması ve gelişimi	2-3 hafta

Yapıda, şekerler, proteinler, yağlar ve nükleik asitler gibi yapışkan maddelerin varlığı ve düzensiz mikrobiyal kolonilerin bulunuşu, daha fazla organizma ve partikülün yakalanmasına yardımcı olmaktadır. Bunlar, alg sporlarını, cirripedia larvalarını, deniz mantarlarını ve protozoonları cezbetmekte; sensör (algılayıcı) görevi görmektedir. Mikrobiyal film tabakası, foulingin üçüncü aşamasında çok hücreli birincil üreticileri, tüketicileri, ayrıştırıcıları içeren çok daha kompleks bir topluluğa dönüşmektedir. Son basamakta ise makroalglerle birlikte, büyük denizsel omurgasızların yerleşimi ve hızlı büyümeleri gözlenmektedir (Almeida, Diamantino ve DeSousa, 2007). Makrofauling organizmaların tipik özellikleri ise, hızlı değişim ve büyüme oranı, sınırlı besin maddesi tercihi ve farklı çevrelere kolay uyum sağlayabilmedir. Organizmalar arası etkileşim ile, üstteki genç organizmaların besin ihtiyacı karşılanabilmekte, çevredeki olumsuz koşullardan ve toksik maddelerden korunma sağlanabilmekte ve tutunma sürecinin devamı için yüzey serbest enerjisinde değişiklikler görülebilmektedir (Yebra, Kill ve Dam-Johansen, 2004).

Bölgesel olarak çeşitlilik gösteren biyofouling olayı, bir çok çevresel değişkenle de yakından ilişkilidir. Coğrafi bölge, su koşulları (tuzluluk, sıcaklık, pH, çözünmüş besin elementleri ve oksijen konsantrasyonu) ve geminin izlediği rota en önemli çevresel değişkenlerdir. Sonuç olarak bu değişkenler, fouling organizmalarının büyümelerinin kontrolü için değişikliğe uğratılamaz. Şüphesiz sıcaklık en önemli değişkenlerden biridir. Yaygın olarak bilinen görüş, su sıcaklığının nispeten yüksek olduğu bölgelerde, foulingin daha yoğun olduğudur. Bu, daha ziyade deniz hayvanlarının çoğalması ve büyümesi ile ilişkilidir. Mevsimsel değişiklik gösteren bölgelerde, özellikle düşük sıcaklığın görüldüğü dönemde, bir çok türün büyümesi baskılanırken, ılık dönemde üreme yeniden başlar. Diğer yandan, küçük sıcaklık değişimlerinin olduğu tropik iklimli bölgeler, hem tür açısından daha zengindir, hem de fouling olayı yıl boyunca kesintiye uğramaksızın devam eder. Bunun yanında, bazı türler değişken çevresel koşullara kolay uyum sağlayabilmekte ve gezegenin bir çok bölgesinde bulunabilmektedir (Almeida ve ark., 2007; Yebra ve ark., 2004).

Diğer yandan, fouling formlarının çoğu, büyümelerinde sorunlara neden olan düşük tuzluluk değerlerine direnç gösteremezler. Güneşten gelen radyasyon miktarı da, denizlerin yüzey kısmında ve dolayısıyla gemilerin yüzeyindeki fouling olayında rol oynamaktadır. Sıcaklık ve tuzluluğun etkisinden farklı olarak bu durum, bitkilerin fotosentezini ve dolayısıyla hayvanların besinlerinin kontrolünü direkt etkilemektedir.

Kirletilmiş sular, hem direk toksik etki gösterebilmeleri, hem de fotosentez için güneş ışığının geçişini azaltmaları ve oksijenin tüketilmesine neden olmaları sebebiyle zararlıdır. Diğer yandan, bazı kirlilik kaynakları besin açısından ortamı zenginleştirebilir ve bu da foulingi arttırabilir.

Fouling sorunu, derin sulardan ziyade kıyısız alanlarda daha büyük problemdir. Okyanuslarla karşılaştırıldığında, foulinge sebep olan organizmalar, kıyılarda daha bol bulunmaktadır. Biyofilmdeki konukçu ilişkili bakteriler, konukçu dokularında yıkıma neden olacak maddelerin üretimine ve onların ölümüne sebep olabilir. Bakteriler ve diğer yüksek türler, besinler için yarış halindedir, ışık geçişini önleyebilirler ya da diğer türlerin yerleşimini engellemek için sekonder metabolitleri (ikinci dereceli metabolizma ürünleri) salgılayabilirler (Yebra ve Ark., 2004).

3.4.2 Biyofoulinge neden olan organizmalar

Bir bölgedeki fouling organizmalarının gelişiminin, bu bölgenin sıcaklığı ve su hareketlerinin etkisinde olduğu belirtilmişti. En iyi gelişimin 20-40°C'ler arasında olduğu, yüksek ve düşük sıcaklıklarda olayın yavaşladığı ve 10°C'nin altında ve 60-70°C'nin üstünde durduğu gözlenmiştir. Fouling olayı, daha çok algler ve tutunucu hayvanlarca oluşturulur. Bunlar, kendilerini su hareketlerinden ileri gelebilecek etkilere karşı korurlar. Bunun sonucunda kütleler halinde birikirler. Bu organizma kütleleri arasına sonradan bazı serbest formlar yerleşir (Şekil 3.9 ve 3.10) (Geldiay ve Kocataş, 2002).

1960'larda, Ekonomik İşbirliği ve Gelişimi Organizasyonu (OECD), fouling sebep olan belli başlı organizmaların Fransız'lar tarafından oluşturulmuş listesini vermiştir. Günümüze kadar bu listeye sürekli eklemeler yapılmaktadır.(Almeida ve ark., 2007).

1-Bacteria ve Diatomae; denizlerdeki yapay yüzeylere ilk olarak yerleşirler ve ilk fouling filmini oluştururlar (Geldiay ve Kocataş, 2002).

Fouling bakteriler; Pseudomonas, Vibrio, Micrococcus, Achromobacter, Flavobacterium, Bacillus, Sarcina, Alteromonas, Pseudoalteromonas, Caulobacter ve diğerleri.

Diyatomlar; Nitschia, Naviculaca, Cocconeis, Licmophora, Syredra, Amphora, Achnantes, Bacillaria, Biddulphia, Melosira, Fragilaria, Grammatophora, Rhabdonema, Berkeleya ve diğerleri.

Heterotrofik flajellatlar; Bodo, Spumella(=Monas), Pteridomonas, Metromonas, Morosiga, Codonosiga.

Polimer plakalarda mikrofouling gelişimi ile ilgili yapılan bir çalışmada, hücre sayısı cm²'de 10⁷ olarak bulunmuştur. Bakteri/Diyatom/Heterotrofik flajellatların oranı ise, 640:4:1 olarak tespit edilmiştir. Yapıdaki diğer tek hücreli organizmalar ise (mayalar, sarkodinler, siliatlar vb.) toplam hücrelerin % 0.15'ini kapsayacak şekilde bulunmuştur (Railkin, 2004).

2-Chlorophyta (Yeşil algler); gelişmelerinde mutlaka ışığa gereksinme gösterdiklerinden genellikle yüzeyin üst tarafında yer alırlar. Ör: Ulva spp.,Enteromorpha spp., Cladophora spp. (Ünsalan,1992)

3-Porifera (Süngerler); bazı sünger türlerinde fouling olayına katıldıkları izlenmiştir. Ör: Halicondria spp. (Ünsalan,1992)

4-Cnidaria (Knidliler); Hydrozoa ve Anthozoa'ya dahil türler, fouling olayına katılmaktadır. Hydrozoa üyeleri birinci derecede rol oynar. Örnek olarak, Tubularia spp., Obelia spp. vb gösterilebilir. Anthozoa pek önemli olmamakla beraber bazı türlerin foulingde yer aldıkları saptanmıştır. Ör: Sagara spp. (Ünsalan,1992)

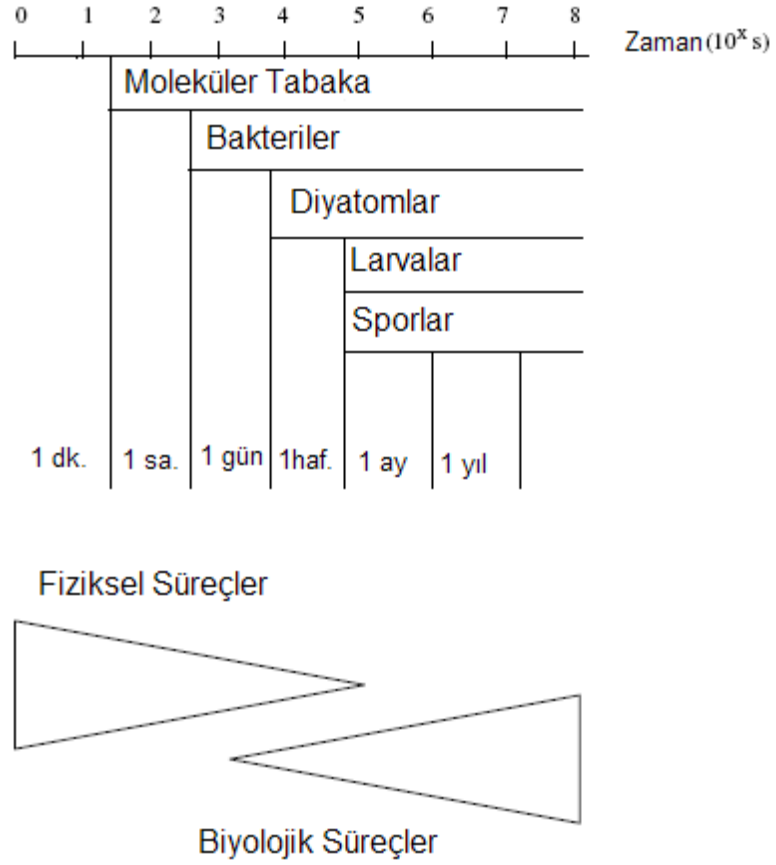
5-Polychaeta (Halkalı deniz solucanları); Sedentaria takımının bazı türleri, büyük kütleler oluştururlar. Bunlara örnek olarak Hydroides spp., Spirorbis gösterilebilir. Errantia takım türleri ise yapıya sonradan yerleşirler. Ör: Nereis spp. (Ünsalan,1992)

6-Mollusca (Yumuşakçalar); bu şubeden foulinge sebep olan en önemli tür Pelecypoda üyesi olan Mytilus galloprovincialis'dir. Bunlar 10-12 mil süratle giden gemilerin karinalarında dahi kolaylıkla gelişebilirler. (Ünsalan,1992)

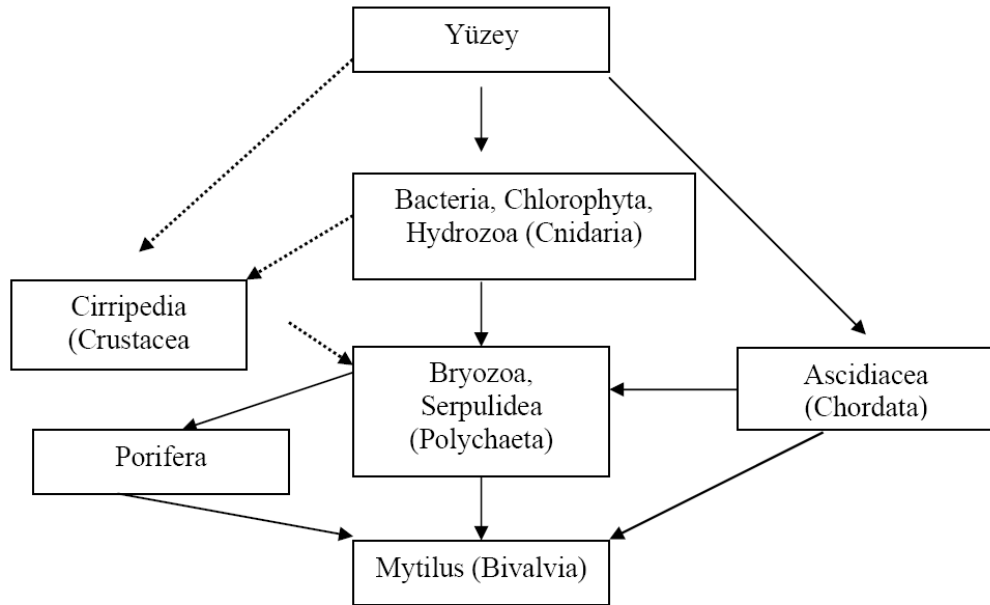
7-Crustacea (Eklembacıklılar); bu sınıfın özellikle Cirripedia grubu foulingde önemli rol oynar. Bunlara örnek olarak Balanus spp. gösterilebilir. Diğer temsilcileri (Amphipoda, Isopoda, Tanaidacea) ikincil fouling organizma grubuna girerler. 8-Bryozoa (Yosun hayvancıkları); bu şube türleride foulingde baş rolü oynarlar. Bunlara örnek olarak Bugula spp., Membranipora spp., Cryposula spp. Electra spp. gösterilebilir. (Ünsalan,1992)

9-Tunicata (Tulumlular); bu gruba dahil sınıflardan özellikle Ascidiaceae ailesi türleri fouling olayında önemli role sahiptirler. Bunlara örnek olarak özellikle Ciona intestinalis gösterilebilir (Şekil 3.11). (Ünsalan,1992)

Boring Organizmalar (delici formlar); su içindeki ağaç yapıları delen organizmalardır. Ör: Limnoria, Chelura (Almeida ve ark., 2007; Geldiay ve Kocataş, 2002; Yebra ve ark., 2004).



Şekil 3.9 : Biyofouling sürecinde, yüzey kolonizasyonunun kronolojisi (Ünsalan, 1992).



Şekil 3.10 : Biyofoulingi oluşturan süksesyonun klasik şeması (Ünsalan, 1992).

Biyofouling düzeni, yüzeye bağlı olarak oluşan makrofauling organizmalar nedeniyle tam tahmin edilememektedir. Makrofaulinglerin yerleşmesi için biyofilm yapısı öncü olmaktadır. Biyofouling süksesyonu üzerinde yapılan çalışmalarda, başlangıç film tabakası çıkarıldığında, ileri foulingin artık sınırlı olduğu görülmüştür. Biyofilmin bulunuşu, bazı algal sporların yerleşimine katkı sağlarken, buna karşın yaşlı biyofilm, Cirriped'lerin yerleşimini engellemektedir.

Fouling organizmalarca gerçekleştirilen tutunma süreçleri çeşitlidir Örneğin, diyatomlar, kapsüllü, saplı bakterilerce üretilen polisakkarit müsilaja tutunurlar. *Vibrio* ve *hewanella*'nın *Enteromorpha* zoosporlarının yerleşimini teşviklediği görülürken, karışık kültürde oluşan EPS'nin bazı barnakılların yerleşiminde etkin olduğu buna neden olanında Yine *Ciona intestinalis* larvalarının yerleşiminde bakteriyal EPS yapısından etkilendiği bildirilmiştir (Joint ve ark., 2002; Patel, Callow, Joint ve Callow, 2003;). γ -Proteobacteria, *Cytophaga-Flavobacterium*-*Bacteroides* grubu ve bazı gram pozitif bakteri cinslerinin poliket *Hydroides elegans* larvalarının yerleşiminde ve değişiminde etkin oldukları belirlenmiştir. *Alteromonas espejiana*, *Hydractinia echinata*'nın, *Vibrio alginolyticus*'un ise *Cassiopea andromeda* larvalarının değişiminde etkin olduğu görülmüştür (Chambers ve ark., 2006; Patel ve ark., 2003; Webster ve ark., 2004).

Türlerin yüzeye tutunması aşaması engellenebilirse, fouling olayı da kontrol altına alınabilir. Yüzeye tutunma ve sonrasında çoğalma, deniz canlıları için yaşam döngülerinde anahtar basamaklardır. Organizma, sıvı ortam ve yüzey arasındaki etkileşimler, modeller oluşturularak deneysel anlamda incelenmektedir. Ancak çok fazla kompleks modele ihtiyaç duyulmaktadır. Yüzeydeki elektrostatik etkileşimler, pürüzlü yüzeyler gibi kısmi alanlardaki kolonizasyon, yüksek besin ve oksijen konsantrasyonları için akış sistemleri gibi faktörler modelde etkin değişkenler olarak kullanılabilmelidir (Chambers ve ark., 2006).

Gruplar	Algler	Omurgasızlar							
		Sert kabuklu organizmalar			Ot benzeri organizmalar	Küçük çalı benzeri org.	Dikensiz organizmalar		
Alt Gruplar	Yeşil, kahverengi ve kırmızı algler <i>Enteromorpha</i> , <i>Ulva</i> , <i>Ectocarpus</i> , <i>Fucus</i> , <i>Ceramium</i>	<i>Cirripedia</i>	<i>Scalpellidae</i>	<i>Mollusca</i>	<i>Bryozoa</i>	<i>Hydrozoa</i> ya da <i>Bryozoa</i>	<i>Hydrozoa</i> ya da <i>Bryozoa</i>	<i>Ascidaceae</i>	<i>Porifera</i> ve <i>Cnidaria</i>
Tipik Görünüş									
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Cirripedia</i>	<i>Polychaeta</i>	<i>Mollusca</i>	<i>Bryozoa</i>	<i>Bryozoa</i>	<i>Bryozoa</i>	<i>Ascidaceae</i>	
Tipik Görünüş									

Şekil 3.11 : Denizdeki ana makroorgani zma türlerinin karakteristikleri (Ünsalan., 1992).

3.4.3 Foulingin etkileri

Fouling olayı çeşitli sucul ortamlarda gözlenmektedir. Denizdeki sualtı yapılar, çeşitli kategorilerdedir ancak bunların %24'ünü gemi karinaları oluşturmaktadır (Railkin, 2004). Gemi gövdelerinin yapımında çelik, aliminyum, polimerle güçlendirilmiş cam gibi karma maddeler kullanılmaktadır. Gemiler çok farklı rotaları izlemektedir ve tür verimi yüksek yerlerde, ışıklı tabakada uzun sürely kalabilmektedir. Gövdeyi korumak için çeşitli kaplamalar kullanılmaktadır. Ancak, bu kaplamalar gövdeyi, fouling organizmalarca üretilen kalsiyum karbonat kalıntılardan, hücre dışı salgılardan ve inorganik tuzlardan korumada yetersiz kalmaktadır.

-Gemi gövdelerinde yerleşen türler, farklı bölgelerde çeşitli yoğunluklarda olabilmektedir. Örneğin, pervane foulingi manevra kabiliyetini etkilemektedir. Yine geminin ses izi (sound signature) etkilenebilir ve bu da pasif ve aktif sonar sisteminde sorunlara yol açabilir (Chambers ve ark., 2006).

-Pürüzlülükten kaynaklanan yüksek sürtünme direnci, hızda ve manevra kabiliyetinde azalmaya neden olmaktadır. Biyofilmin çok küçük bir miktarı bile, gemilerin sürtünme direnci (1 mm kalınlıktaki film için %80' e kadar arttırılabilir) üzerinde etki gösterebilir (Yebra ve ark., 2006b). Bunu dengelemek için, zararlı bileşiklerin salınımında artışa neden olan fazla yakıt tüketimine gerek duyulmaktadır. Yakıt tüketimindeki % 40'lık artış seyahat masraflarını % 77'ye kadar arttırmaktadır (Schultz ve Swain, 2000).

-Havuz işlemlerinin sıklığında artışa neden olmaktadır. Hem zaman kaybına, hem de toksik atıkların üretilmesine yol açar.

-Korozyon nedeniyle kaplamadaki bozulma, materyalin elektrik iletkenliğindeki değişimi ve renkteki solmayı kolaylaştırmaktadır.

-Doğal olmayan türlerin bulunuşuna neden olmaktadır (yayılmacı, istilacı ya da yerli olmayan türler gibi) (Yebra ve ark., 2004).

3.5 Kirlilik Oranı(FR)

Kirlilik oranı aşağıdaki tabloda verildiği gibi 0-100 aralığında, 10'lu artımlar yapılarak oluşturulan skala. Düşük seviyelerde yüzeyin temiz olduğu ve oran arttıkça

yüzeyin kirlilik seviyesi dolayısıyla canlı yoğunluğunun arttığı anlaşılmaktadır. Aşağıdaki tabloda verilen her kirlilik oranı için fotoğraflar ile tasvir edilmiştir.

Çizelge 3.2 : Kirlilik Skalası (NSTM, 2006)

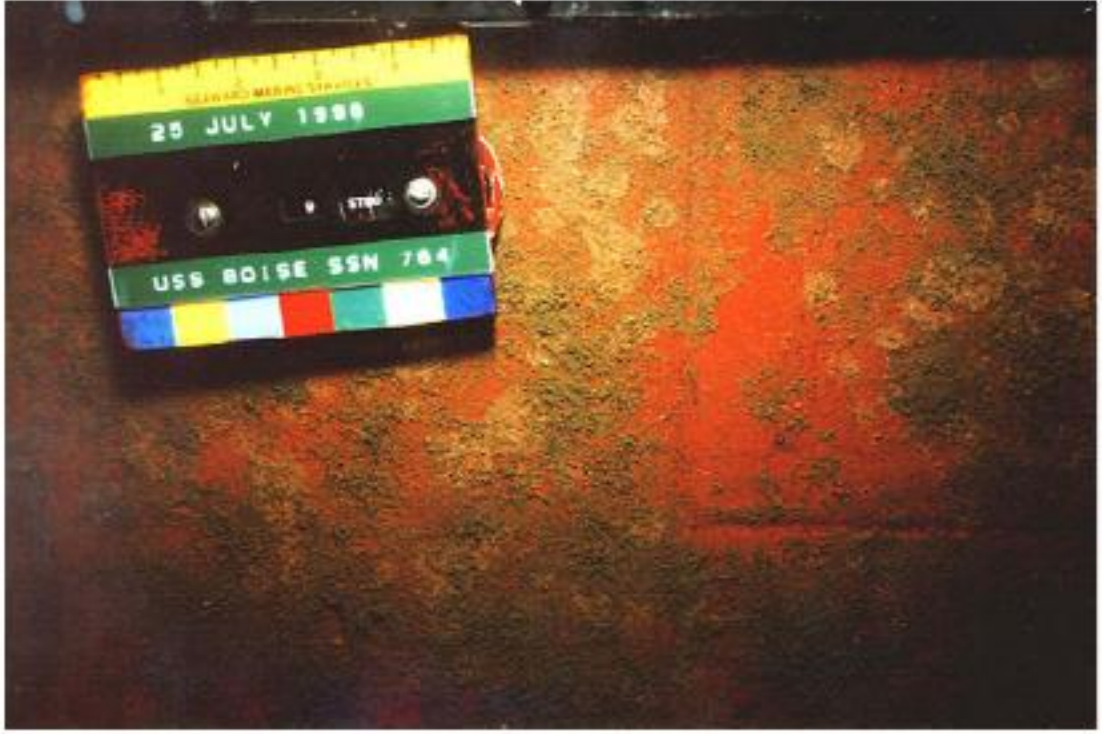
ÇESİT	KİRLİLİK ORANI	AÇIKLAMA
YUMUŞAK	0	TEMİZ, ÇIPLAK YÜZEY
YUMUŞAK	10	KIRMIZI VE YEŞİL TONLU MADDE İLE KAPLI YÜZEY. ÇIPLAK METAL VE BOYALI YÜZEYLERDE GÖRÜLEBİLİR.
YUMUŞAK	20	KOYU YEŞİL, YER YER SARI VE KAHVERENGİ TONLU MADDE İLE KAPLI YÜZEY.
YUMUŞAK	30	BOYU YAKLASIK 76 MM(3 INCH), PROJEKSİYON YÜKSEKLİĞİ 6.4 MM (1/4 INCH).YEŞİL, SARI VEYA KAHVERENGİ RENKLİ, KALKERLİ YAPIDA OLMAYAN DENİZ HIYARI,DENİZ ÜZÜMÜ VB. BU KİRLİLİK SEVİYESİNDEKİ KARİNALAR EL İLE KOLAYLIKLA TEMİZLENEMEZ.
SERT	40	ÇAPI VEYA YÜKSEKLİĞİ 6.4 MM(1/4 INCH) DEN KÜÇÜK OLAN TÜP SOLUCAN GİBİ KALKERLİ MADDE İLE KAPLI YÜZEY.
SERT	50	ÇAPI VEYA YÜKSEKLİĞİ 6.4 MM(1/4 INCH)DEN KÜÇÜK OLAN MİDYE GİBİ KALKERLİ MADDE İLE KAPLI YÜZEY.
SERT	60	ÇAPI VEYA YÜKSEKLİĞİ 6.4 MM(1/4 INCH)DEN KÜÇÜK OLAN MİDYE VE TÜP SOLUCAN KOMBİNASYONLU, KALKERLİ MADDE İLE KAPLI YÜZEY.
SERT	70	ÇAPI VEYA YÜKSEKLİĞİ 6.4 MM(1/4 INCH)DEN BÜYÜK OLAN MİDYE VE TÜP SOLUCAN KOMBİNASYONLU, KALKERLİ MADDE. İLE KAPLI YÜZEY.
SERT	80	YÜZEY TAMAMEN TÜP SOLUCANIYLA KAPLI, ÜZERİNDE 6.4 MM(1/4 INCH) YÜKSEKLİĞİNDE MİDYE YETİŞMİŞ. KALKERLİ YAPI BEYAZ RENKLİ OLAN YÜZEY.
SERT	90	YOĞUN OLARAK TÜP SOLUCAN VE MİDYE KAPLI UZUNLUKLARI 6.4 MM(1/4 INCH) DEN BÜYÜK. KALKERLİ YAPININ TONU KAHVERENGİNDE OLAN YÜZEY.
KARIŞIK	100	HER TÜRLÜ KİRLİLİK OLUŞTURAN DENİZ CANLILARI İLE KAPLI YÜZEY.



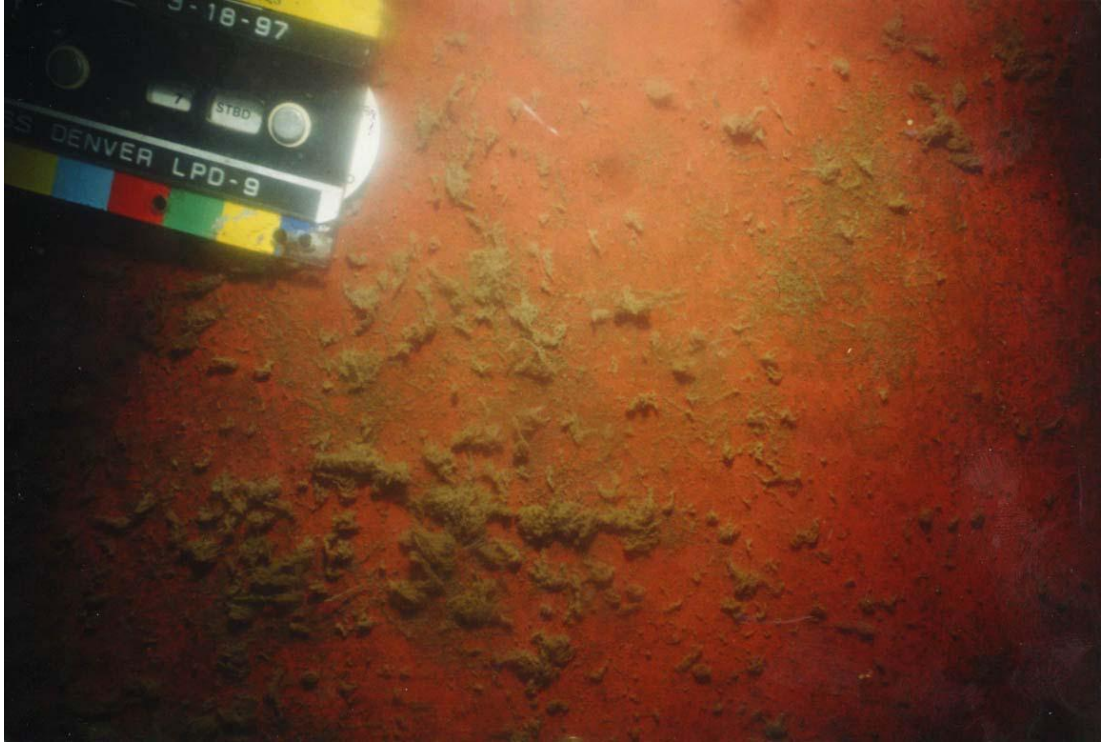
Şekil 3.12 : FR-10, toplam alanın %30'u kaplı (NSTM, 2006)



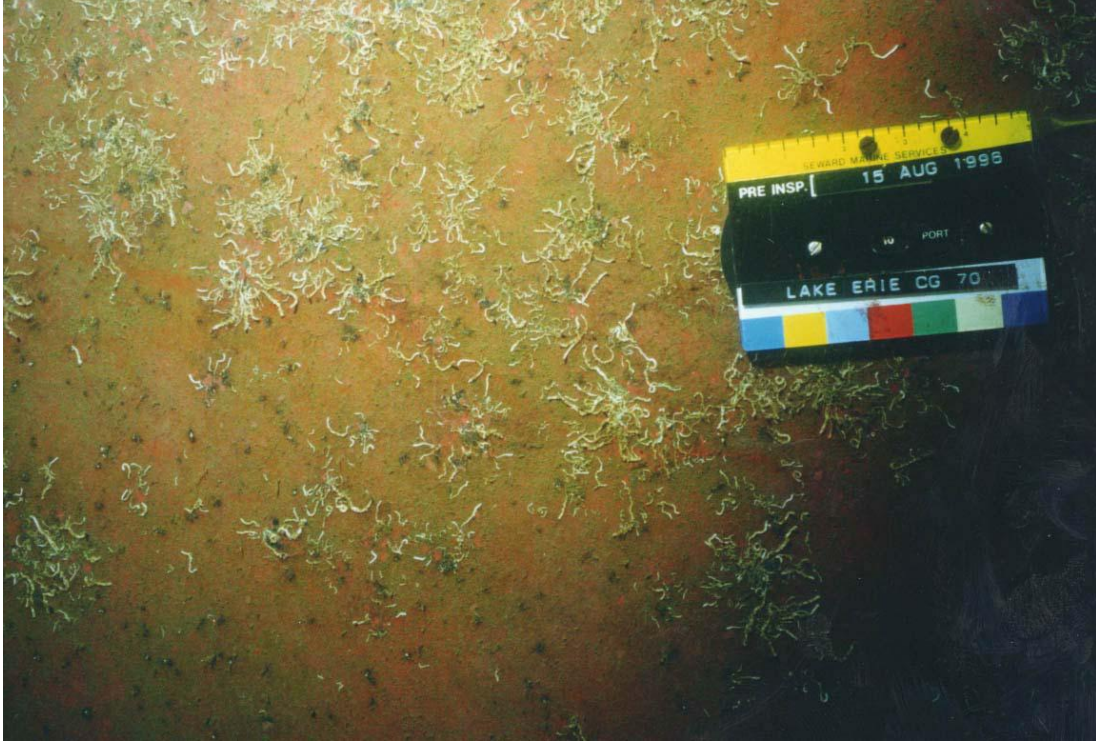
Şekil 3.13 : FR-10, toplam alanın %100'ü kaplı (NSTM, 2006)



Şekil 3.14 : FR 20, toplam alanın %80'i kaplı (NSTM, 2006)



Şekil 3.15 : FR-30, toplam alanın %40'ı kaplı (NSTM, 2006)



Şekil 3.16 : FR-40, toplam alanın %20'si kaplı (NSTM, 2006)



Şekil 3.17 : FR-40, toplam alanın %30'u kaplı (NSTM, 2006)



Şekil 3.18 : FR-40, toplam alanın %90'ı kaplı (NSTM, 2006)



Şekil 3.19 : FR-50, toplam alanın %20'si kaplı (NSTM, 2006)



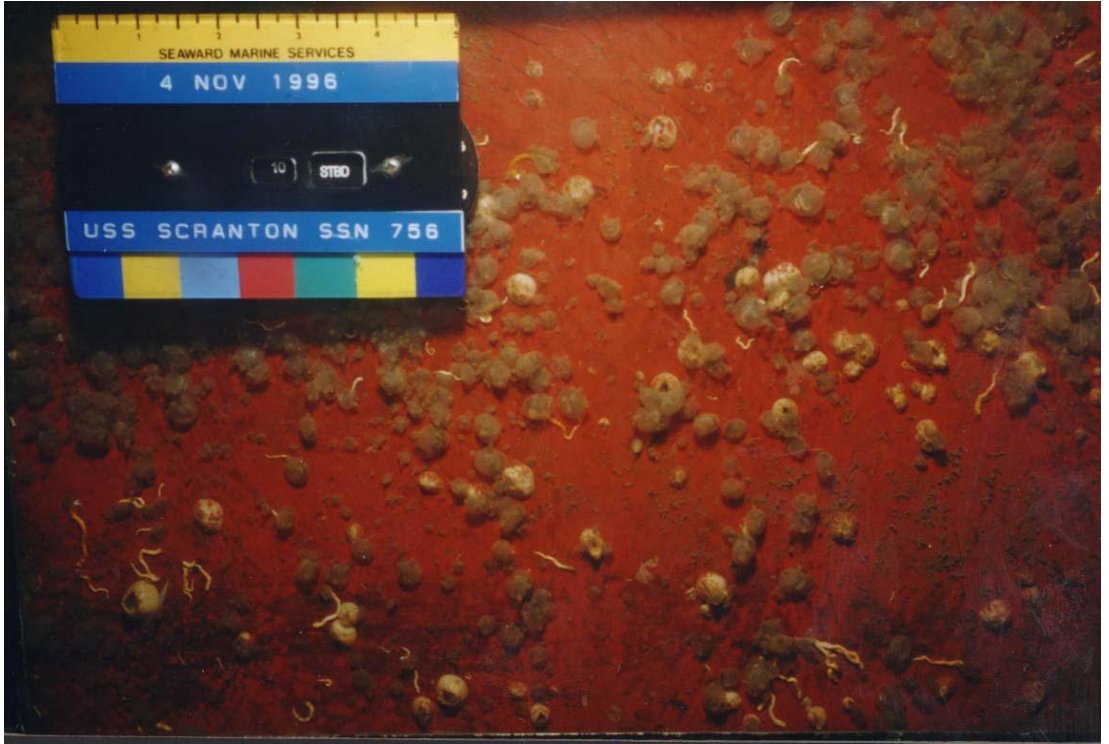
Şekil 3.20 : FR-50, toplam alanın %40'ı kaplı (NSTM, 2006)



Şekil 3.21 : FR-50, toplam alanın %100'ü kaplı (NSTM, 2006)



Şekil 3.22 : FR-60, toplam alanın %15'i kaplı (NSTM, 2006)



Şekil 3.23 : FR-60, toplam alanın %20'si kaplı (NSTM, 2006)



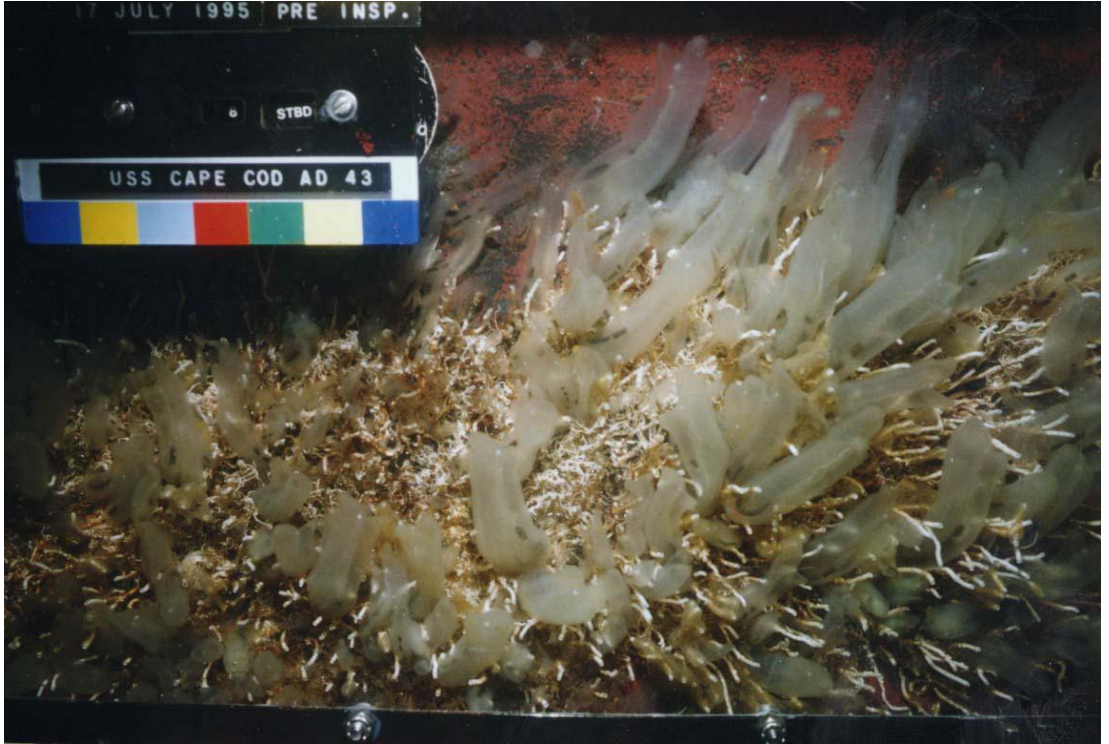
Şekil 3.24 : FR-60, toplam alanın %90'ı kaplı (NSTM, 2006)



Şekil 3.25 : FR-70, toplam alanın %20'si kaplı (NSTM, 2006)



Şekil 3.26 : FR-70, toplam alanın %80'i kaplı (NSTM, 2006)



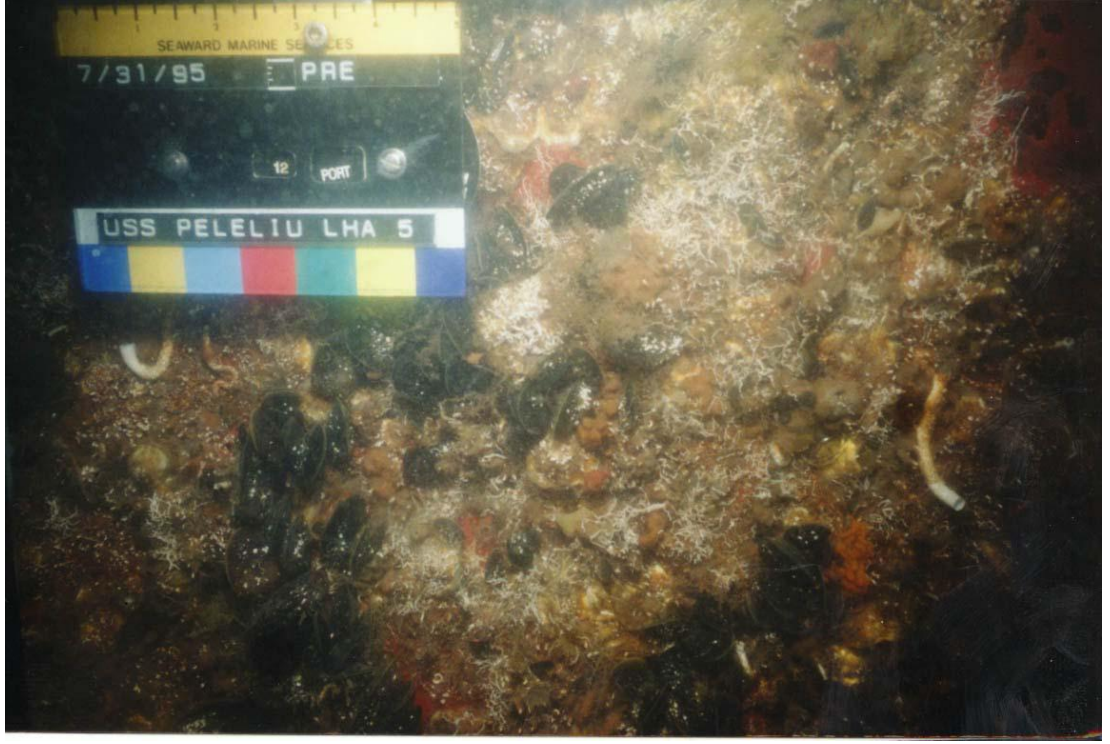
Şekil 3.27 : FR-80, toplam alanın %60'ı kaplı (NSTM, 2006)



Şekil 3.28 : FR-80, toplam alanın %80'i kaplı (NSTM, 2006)



Şekil 3.29 : FR-80, toplam alanın %90'ı kaplı (NSTM, 2006)



Şekil 3.30 : FR-90, toplam alanın %90'ı kaplı (NSTM, 2006)



Şekil 3.31 : FR-100, toplam alanın %50'si kaplı (NSTM, 2006)



Şekil 3.32 : FR-100, toplam alanın %100'u kaplı (NSTM, 2006)

4. KARİNA TEMİZLİK YÖNTEMLERİ

4.1 Giriş

Boya ekspektorleri kirlilik miktarına göre ne kadar anti-fouling boya kullanımı gerektiğini belirlemeye çalışmaktadırlar. Anti-fouling boyalar özellikle kalkerli kirlenmeyi geciktirmelerine rağmen tam olarak verimli değildirler. Bu durum anti-fouling boyalar tarafından korunan gemilerden alınan veriler doğrultusunda kanıtlanmıştır. Bunun sonucunda gemilere periyodik olarak havuzlanır, karina temizliği yapılır ve yeniden anti-fouling boya uygulaması yapılır. Havuzlama operasyonu çok pahalı bir uygulama olduğundan son yıllarda havuzlamaya alternatif sualtında karina temizliği uygulamaları yaygınlaşmakta ve gelişmesi için çalışmalar yürütülmektedir. Gemileri kuru havuza almak yerine sualtında karinaları temizlemek gemi sahiplerine birçok avantaj sunmaktadır:

- Temizliğin icrası için minimum gemi aktivitesinden kısıtlama yapılır.
- Temizliğin ara basamakları nispeten daha basittir.
- Yardımcı kuvvetler (suyun kaldırma kuvveti) sayesinde temizlik icrasında kullanılan ekipmanların kullanım ve kontrolü seviyesi artırılmaktadır.
- Periyodik olarak yapılan sualtında karina temizliği havuzda yapılan temizlik ile karşılaştırıldığında atmosferik kirliliği azalttığı ve her temizleme operasyonunda limana geri dönen ölü organizma miktarının azaldığı tespit edilmiştir.

Bu yöntemin birçok avantajı olmasına karşın birkaç dezavantajda mevcuttur.

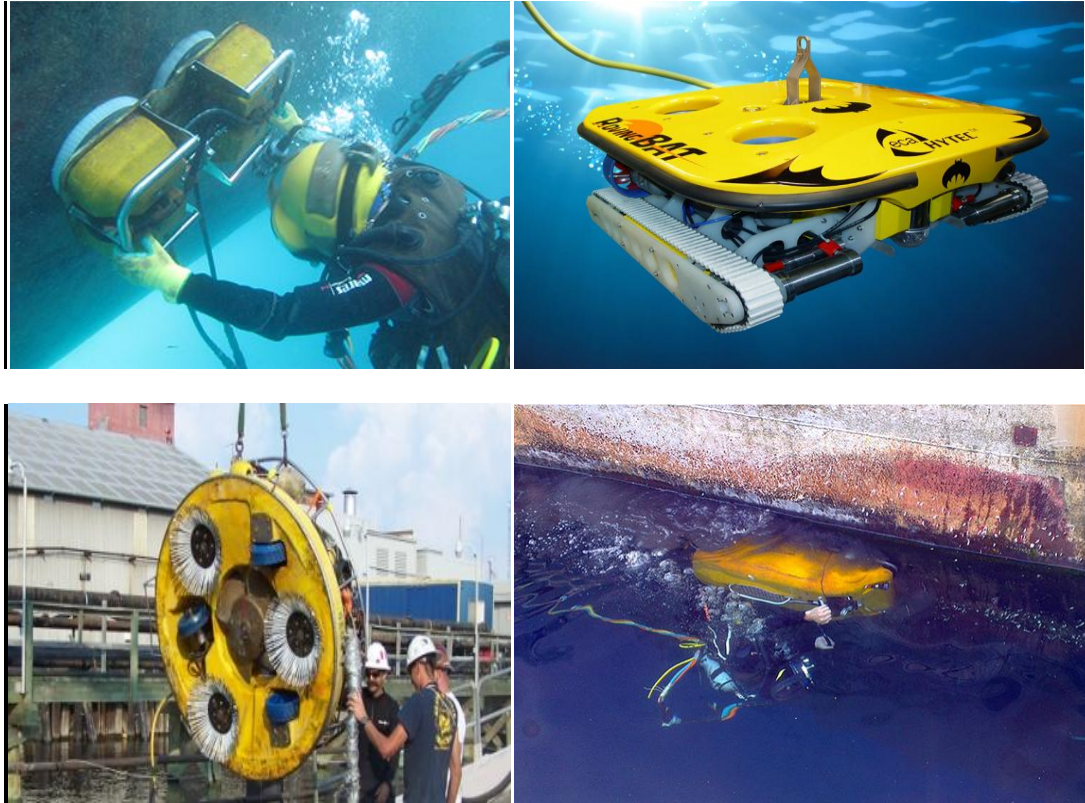
- Eğitimsiz operatörler tarafından yapılması durumunda boya aşınmasına ve karınaya zarar verebilir.
- Sualtı görüş mesafesinin uygun olmadığı durumlarda operatör tarafından verimli bir temizlik yapılamamaktadır.
- Temizliğin yapılabilmesi için operatörün güvenlik eğitimlerinden geçmiş ve tam donanımlı güvenlik gereçlerine sahip olmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

4.2 Fırça İle Temizlik

Bu sistem ile sualtında yapılan karina temizliği döner tipte fırça sistemleri ile icra edilir. Çelik, plastik gibi farklı kompozisyonlarda bulunan kıl fırçalar farklı şekil ve boyutlarda bulunabilir. Fırça sistemlerinin bir çok seçeneği mevcuttur. Kompleks sistemlerin yanında çok daha basit sistemlerde mevcuttur. Uzaktan kumanda edilebilen kendinden sevk sistemine sahip araçlar en yaygın olarak kullanılmaya başlananlardandır. Bir diğer sistem ise silindirik olarak döner fırça ekipmanı yardımcı tekne ile beraber hareket edip temizlik gerçekleştiren sistemlerde mevcuttur. (NSTM, 2006)

Fırça ile temizliğin genel özellikleri:

- Operasyonun icrası esnasında karinanın farklı bölümlerinde farklı kirlilik seviyesine sahip olduğundan her bölgenin ihtiyacına göre basınç verebilmektedir.
- Kıl fırçalar boyaya zarar vermemektedir.
- Temizliğin rotasını ve dönüş miktarını ayarlama imkânına sahiptir.



Şekil 4.1 : Fırça ile temizlik örnekleri (Url-3)

4.3 Yüksek Basınçlı Sualtı Su Jeti

Bu sisteme %100 suyu vakumlayıp basınçlandıran, yatay, dikey, baş üstü çalışabilen, boyayı ve kirleticileri temizleyebilen, tek operatör yardımıyla çalışan bir sualtı temizlik yöntemidir. Suyu 55000 PSI ile basınçlandırabilmektedir. Bu sisteme hava ve deniz sektörlerinde kullanılan boya atmak amaçlı kullanılır. Bu sistem sualtında çalışma yapılması için geliştirme safhasındadır. Diğer yöntemler gibi verimliliği tam olarak ortaya konulamamıştır. Operatör yüksek basınçtan dolayı dengeyi sağlamakta güçlük çekmektedir. (NSTM, 2006)



Şekil 4.2 : Su Jeti Örneği (Url-4)

4.4 Kavitasyon Yöntemi İle Temizlik

Prensip olarak çalışma prensibi su jeti ile aynı olup, sahip olduğu nozul sistemi farklılaşmaktadır. Nozuldan gaz dolu baloncuklar yüksek basınçla su içinde hareket ederek karında şok etkisi yaratarak temizleme yapar. Sonuç olarak baloncuklar dinamik etki yaparak sok dalgalarıyla halinde yayılır. Şok dalgaları yüzeye gelirken erozyona sebep olur, kirleticilerle buluşur ve tutundukları yüzeyden sıyrır. Sıyırma işlemi basınca, sıcaklığa, püskürtme açısı ve mesafesine, kirleticinin cins ve büyüklüğüne göre değiştiğinden sisteme uygun makine seçilmelidir. Temizlik operatör marifetiyle yapılır. Nozula hâkim olmak kolaydır. Çıkan baloncukların operatöre zararı yoktur. Temizlik esnasında karına yüksek şok dalgalarına maruz kalmasına rağmen boyaya zarar vermez, kopmalar yaşanmaz. (NSTM, 2006)



Şekil 4.3 : Kavitasyon Jet Örnekleri (Url-5)

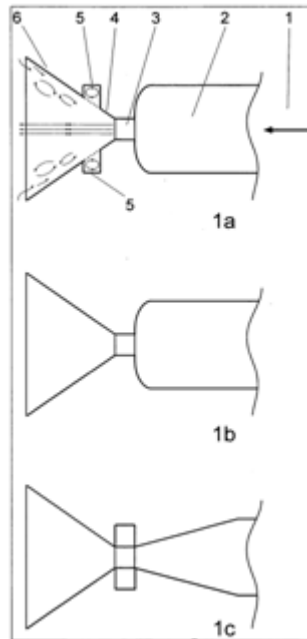
4.4.1 Kavitasyon yönteminin incelenmesi

“Sıvıların kaynama noktaları sıvının ortamın basıncına bağlıdır. Basıncın düşmesi ile kaynama sıcaklığı düşer. Yüksek vakum altında, yüksek hızlar meydana geldiğinde akışkan kaynamaya başlar. Bu durum sık sık hidro dinamik akış makineleri, pompalar, türbinler, türbin kanatlarında meydana gelir. Kavitasyon ile su içinde boşluk, buhar ve gaz baloncukları oluşur. Bu baloncuklar boşlukçuklar meydana getirir. Ani olarak baloncukların patlaması ile beraber basıncın artması sözde yoğunlaşma etkisi gösterir. Kavitasyon genellikle istenilmeyen bir durumdur çünkü materyal etrafında erozyona sebep olabilir. Kavitasyon dikkate değer miktarda sese sebep olur. Kavitasyonun yararlı kullanılabileceği alanlarda mevcuttur, karından mikroorganizmaların yıkımı gibi. Kavitasyon sıvı içersinde belirli miktarda ultrasonik enerji ortaya çıkartır. Klasik anlamda karmaşık ekipmanların çıkardığı ultrasonik enerji ile kavitasyon üretimi yapılabilir. Bir diğer üretim yöntemi ise cavitator iledir. Özünde santrifuj yöntemiyle benzerdir. Fakat bu yöntem nispeten kompleks ve pahalıdır. Sıvı ve sıvıyı çevreleyen havanın arasında ki yüzey alanı artması ile sıvının yüzey enerjisi artar. Bu nedenle çok miktarda küçük baloncuk ile

maksimum yüzey alanı yaratılması arzu edilir. Potansiyel enerjinin bir kısmı baloncukların çökmesi ile ısı enerjisine dönüştürülmesi gerçekleşir. Çöken baloncukların bir diğer özelliği de mekanik kuvvet üretimidir. Kavitasyon baloncukları çok düşük basıncıdır buda çok güçlü kuvvetler meydana getirir.” (Kondraty, 2006)

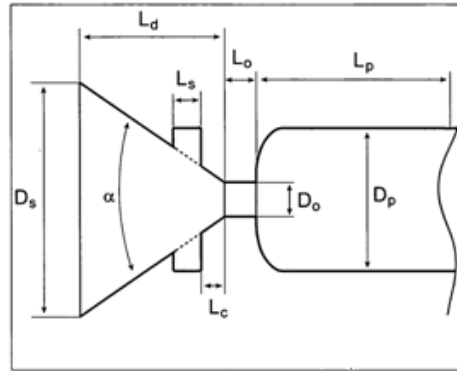
“Modern su jetleri pası ve boyayı temizlemek için kullanılır. Bu tür yüzeyler bir aşındırıcı cisim kullanarak uygulama yapar ve temizler. Bu aşındırıcı cisme kum, girit gibi maddelerden örnek verilebilir. Özellikle paslanmış ve boyanmış yüzeylerin çıplak metale ulaşana kadar temizlenmesidir. Kavitasyon yöntemi çıkmadan önce aşındırıcısız yüksek basınçlı su jetleri ile temizlik efektif değildi. Kavitasyon kullanımı su jetinin temizlik gücünü arttırmıştır. Kavitasyon yöntemi ile suyun basıncı azaltarak buhar basıncından aşağı olmasını sağlamaktır. Böylelikle suyun basıncı buhar basıncından düşük olur. Memeden baloncuklar buharlaştırılmış sıvı formda çıkar. Baloncuklar yüzey ile buluştuğunda çöker ve kinetik enerjisini salar. Bu enerji ile temizlik, boya kazıma yapılır. Paslar ve boyalar yüzeyden atılır çünkü kavitasyon baloncukları çöktüğü zaman su içinde büyük bir kuvvet çıkar ve yüzeyde bulunan parçacıkları tutundukları yerden ayırır.” (Kondraty, 2006)

4.4.2 Yöntemin detayları



Şekil 4.4 : Nozul Konfigürasyonları (Kondraty, 2006)

“Şekilde kavitasyon nozulunun yandan kesit görünüşü verilmektedir. Nozul hidro akustik osilator (2), meme (3), ters nozul (6), ve bir veya birden fazla sayıda olabilen kesme hazneleri (5)’nden oluşur. Şekildeki nozulda her iki tarafta kesme hazneleri bulunmaktadır. Bir tarafta birden fazlada kesme haznesi bulunabilir. Bu ek ters akış ortaya çıkarmak için eklenebilir. Nozulun kullanımı; kaynaktan sağlanan sıvı (1) hidro akustik osilatorun (2) içine girer. İçeride Kavitasyon üretimi için sıvı içinde dinamik basınç ortaya çıkar, sıvı meme den geçer, memenin çapı önemli ölçüde su kaynağı veya hidro akustik osilatorun çapından küçüktür. Bu sebeple sıvı memeden geçerken sıvının hızı oldukça artar. Kavitasyon baloncuklarının oluşması için gerekli olan düşük basınç ihtiyacına olanak sağlar. Tercihen hidro akustik osilatorun çapı meme den 3 kat daha büyük değildir. Sonra sıvı ters nozula giriş yapar. Ters nozul 3 bölgeden oluşur. İlk bölge (4) sıvının yayılmasına yardım eder. İkinci bölge (5) kesme haznelerinden oluşmaktadır. Bunlar hazne içerisinde döner akışlar oluşturarak ilave kavitasyon baloncukları üretimi sağlarlar. Üçüncü bölge (6) , kesme hazneleriyle aynı görevde çalışır, kavitasyon baloncuklarının olumsunu sağlar.” (Kondraty, 2006)

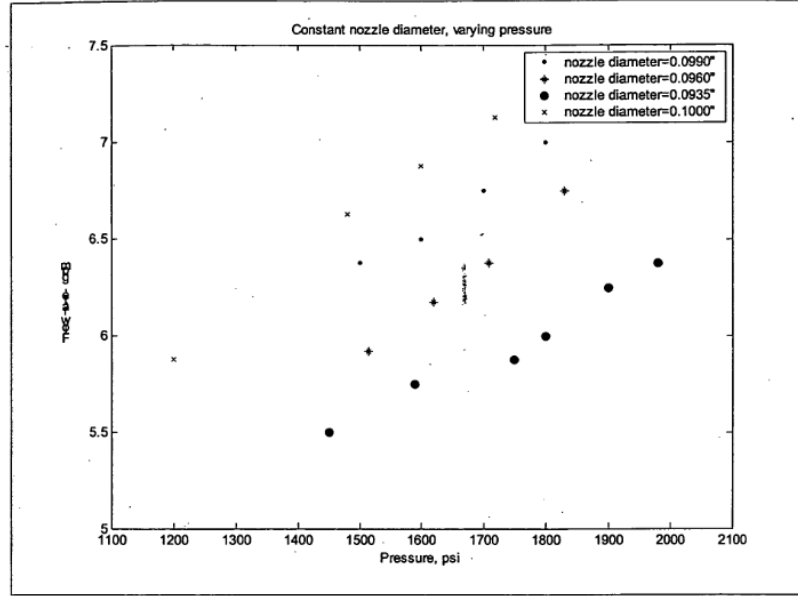


Şekil 4.5 : Nozul Parametreleri (Kondraty, 2006)

“Şekil 4.5’de nozulun yan görünüşü ve önemli boyut parametreleri verilmiştir. Rezonans yaratmak için hidro akustik osilatorun boyu ve çapı boruda ki akış hızına bağlı olarak seçilir. Diğer kalan boyutlar ampirik olarak hesaplanır. Buradaki amaç maksimum miktarda enerji çıkarmak için nozulun besleneceği miktarı belirlemektir. Aşağıda kabuller yapılarak nozul parametreleri arasındaki ilişki verilmektedir.” (Kondraty,2006)

“Nozul içinden geçen akış oranının belirlemek için aşağıda bağıntı kullanılır. Q ;akış

oranı, P ; basınç(psi), D ; meme çapı(inch), k sabiti ampirik olarak hesaplanmış ve Şekil 4.6 de verilen verilere göre yerine konacaktır.



Şekil 4.6 : K Katsayısı Grafiği (Kondratalv, 2006)

$$Q = k\sqrt{PD^2} \quad (3.1)$$

k Katsayısı şekil 4.4 (1 c) için test yapıldığında $k = 23,8$, şekil 4.4 (1 b) için $k = 21,3$, şekil 4.4'de 1 a için $k = 16,8$ olarak hesaplanmıştır. Bu katsayı nozulun konfigürasyonu ve boyutuna göre değişir.” (Kondratalv, 2006)

“Meme çapı D_0 genellikle nozul içinden geçeceğini bildiğimiz sıvının durumuna dayalı olarak seçilir. Bunlar basınç sağlayıcının basıncı ve debisidir. Osilatorun çapı D_p meme çapı D_0 dan en az 3 kat büyük olmak zorundadır. Tercihen 4 veya 6 kat büyük olması istenir. Osilatorun boyu kesme haznelerine rezonans sağlayacak kadar olmalıdır. Osilatorde duran dalga yaratmak için dalga boyu $l = 2L_p n$ ve frekansı $f = cn/2L_p$ c ses hızı, n ise de modudur.

$$L_p = cD_0 2SV_j \quad (3.2)$$

V_j ; akış hızı, V_j akış oranından hesaplanır, S ; strouhal sayısı. Strouhal numarası ideal olmayan akışlar için 0,2 alınır. “ (Kondratalv, 2006)

“ L_C , L_S , L_O gibi boyutlar icra edilen testler sonucu seçilmiştir. İcra edilen testler $L_S, = L_O, = 0.5L_C = D_0$, temel alınarak yapılmıştır. Ters nozulun acısında yapılan

deneyler sonucu belirlenmiştir. Nozul konfigürasyonları 30° ile 100° arasında yapılmış ve en iyi sonucu 80° yakalanmıştır.” (Kondratalv, 2006)

Kavistasyon nozulu sualtı yapıları, köprüler, petrol platform ayakları ve teknenin sualtında kalan kısımlarını temizlemek için kullanılır. (Kondratalv, 2006)

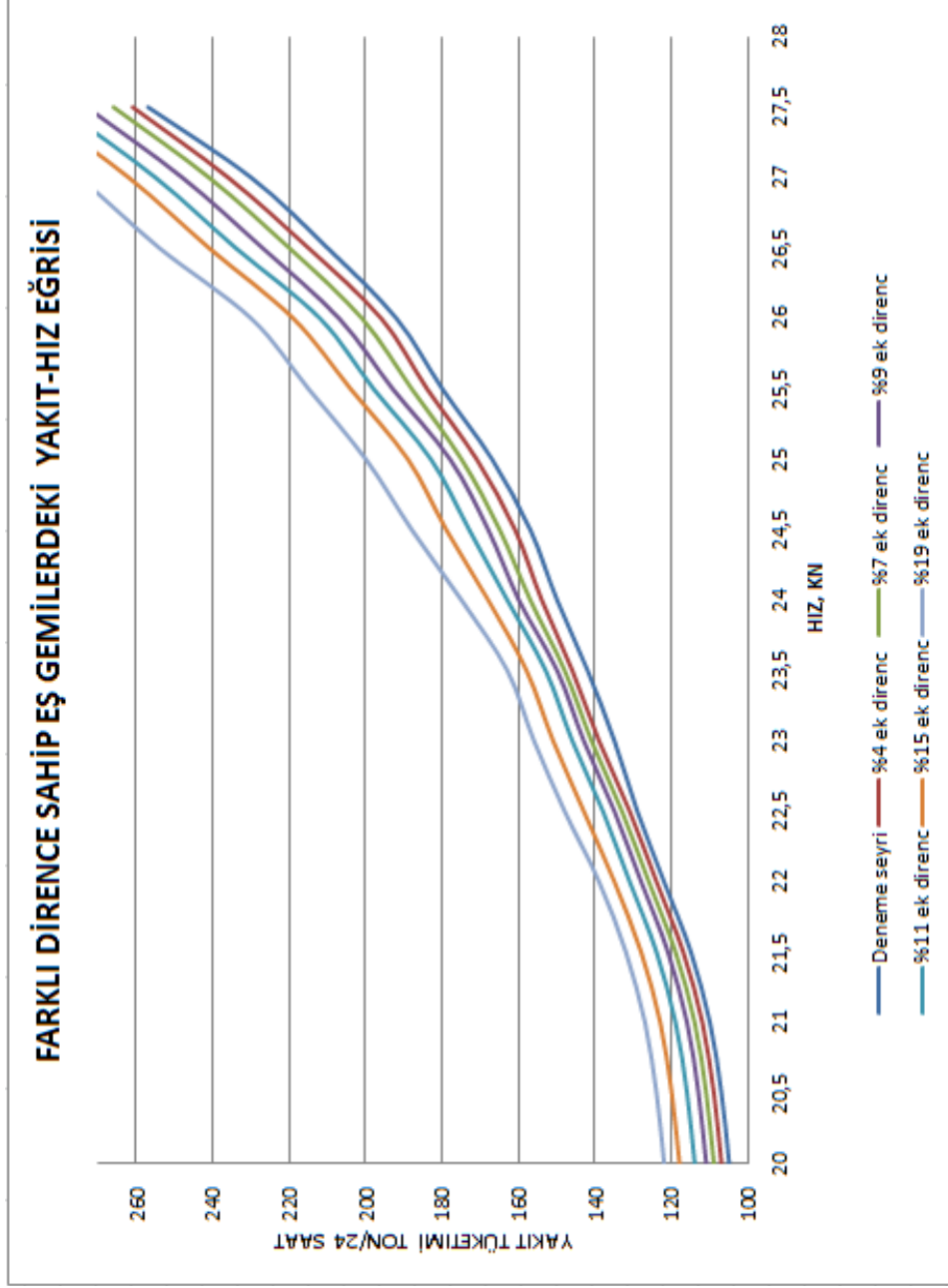
Kavitasyon nozulu tekne karinası, pervane, kinistinlerde bulunan biyolojik canlıların temizliğinde kullanılabilir. (Kondratalv, 2006)

Kavitasyon nozulu herhangi bir yüzeyde kullanılabilir. Çelik, alüminyum, fiberglas, beton, plastik, tahta, komposit gibi yüzeylerde kullanılabilir. (Kondratalv, 2006)

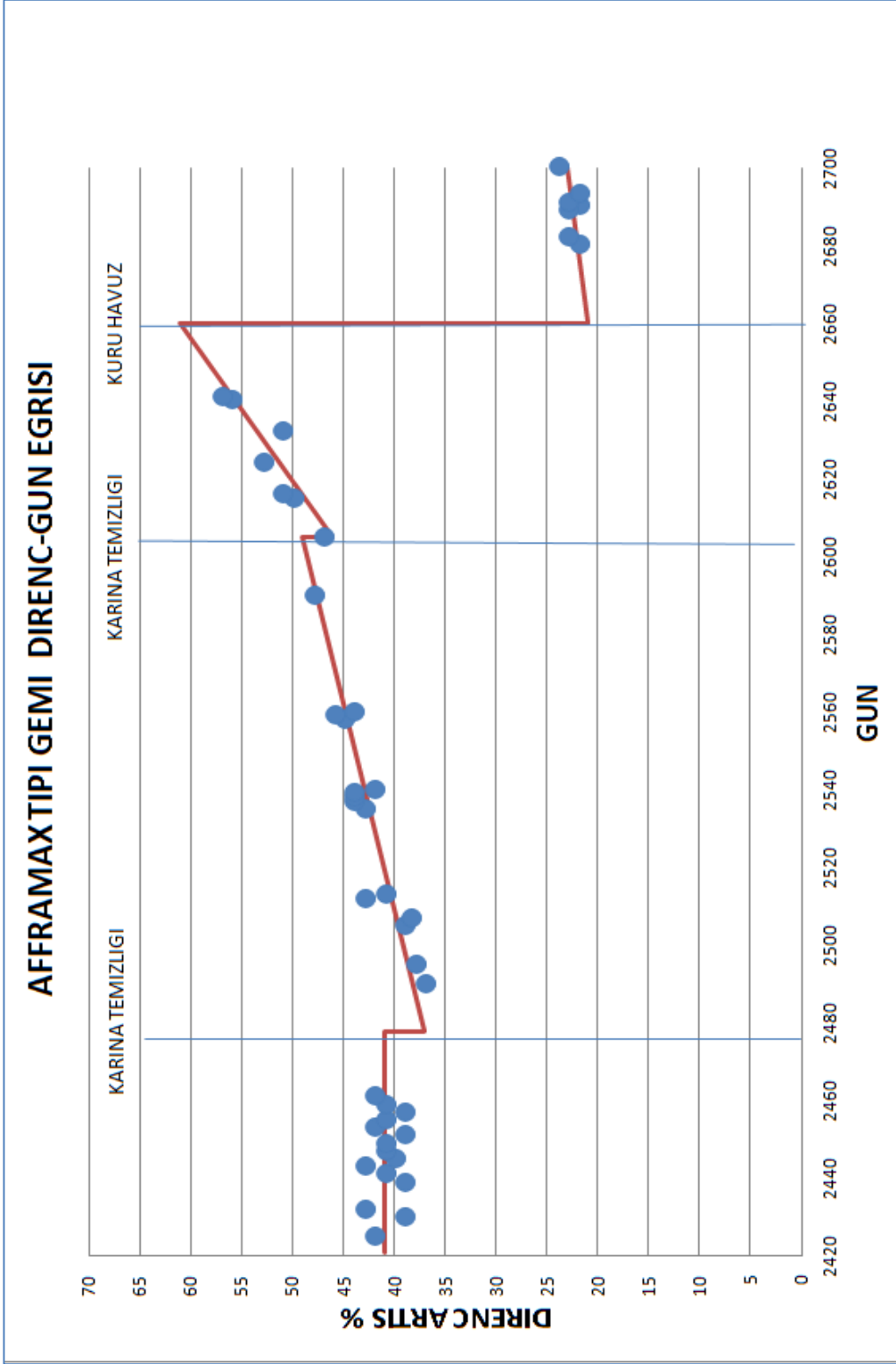
Strouhal sayısı boyutsuz ısı transfer katsayısı olarak tanımlanan sayıdır. Deneysel çalışmalarda elde edilen bir çok değerle uğraşmanın zor olduğu düşünüldüğünde, boyutlu fiziksel parametreleri boyutsuz gruplara dönüştürmemiz gerekir ve bu şekilde elde edilen boyutsuz parametreler, yeni değişkenler olarak kabul edilirler. Bu boyutsuzlaştırma işlemi diğer bütün boyutsuz sayılarda geçerlidir. $St = \frac{fd}{V}$ olarak tanımlanır. Burada f kanat ve yüzgecin çırpma frekansı, d engelin karakteristik çapı veya genişliği, V engel üzerine çarpan akışkan hızıdır.

AVANTAJLAR	CAVİ-JET	FİRÇA
Temizliğin kalitesi	Her yüzeyde uygulanabilir. Ulaşılması güç yüzeylerde etkindir; pervane kanadı, valfler, kinistinler vb. Temizlik esnasında hızı, seviyeyi değiştirmemize olanak sağlar. çiplak metale kadar aşınma yapılabilir.	Sert deniz canlılarının bulunduğu yüzeylerde etkili değildir. Limitli yüzeylerde çalışabilir.
Temizlik hızı	Saat sınırı olmadan her zaman uygulanabilir. Temizlik esnasında parça değişimine ihtiyaç yoktur.	Sadece uygun hava koşulları ve deniz sıcaklığında temizlik yapılır. Temizlik hızı düşüktür çünkü periyodik olarak fırçaların değişmesi gerekmektedir.
Ekolojik uyumluluk	Sadece su vakumlar ve su atar. Geminin kaplamasına ve boyasına zarar vermez.	Su aracının kullanılması durumunda fosil atık çıkışı olur. Çevresel kirlilik oluşur. Geminin dış kaplamasına zarar verir.
Sistem gereksinimleri	Dalgıclar için zararsızdır. Dalış öncesi özel hazırlığa gerek yoktur. Ekipmanlar rahatlıkla yer değiştirebilir, küçük botlarla hareket edebilir.	Operator için kullanımı risk oluşturmaz. Dalgocin özel hazırlık yapması gerekmektedir.

Çizelge 4.1 : Kavitasyon-Fırça Karşılaştırması



Şekil 4.7 : Farklı direnç değerlerindeki yakıt-hız eğrisi (Url-2)

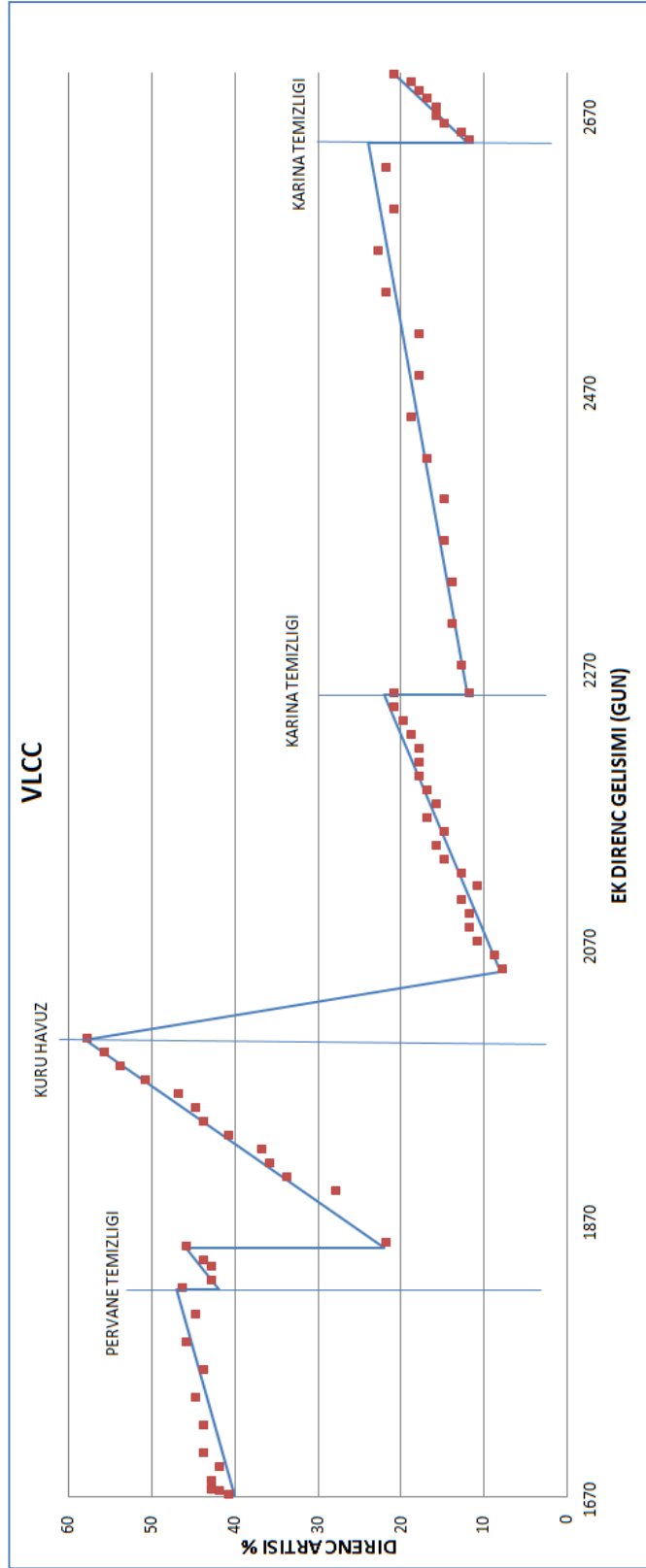


Şekil 4.8 : Aframax tipi bir geminin zamana bağlı direnç değişim eğrisi(Url-2)

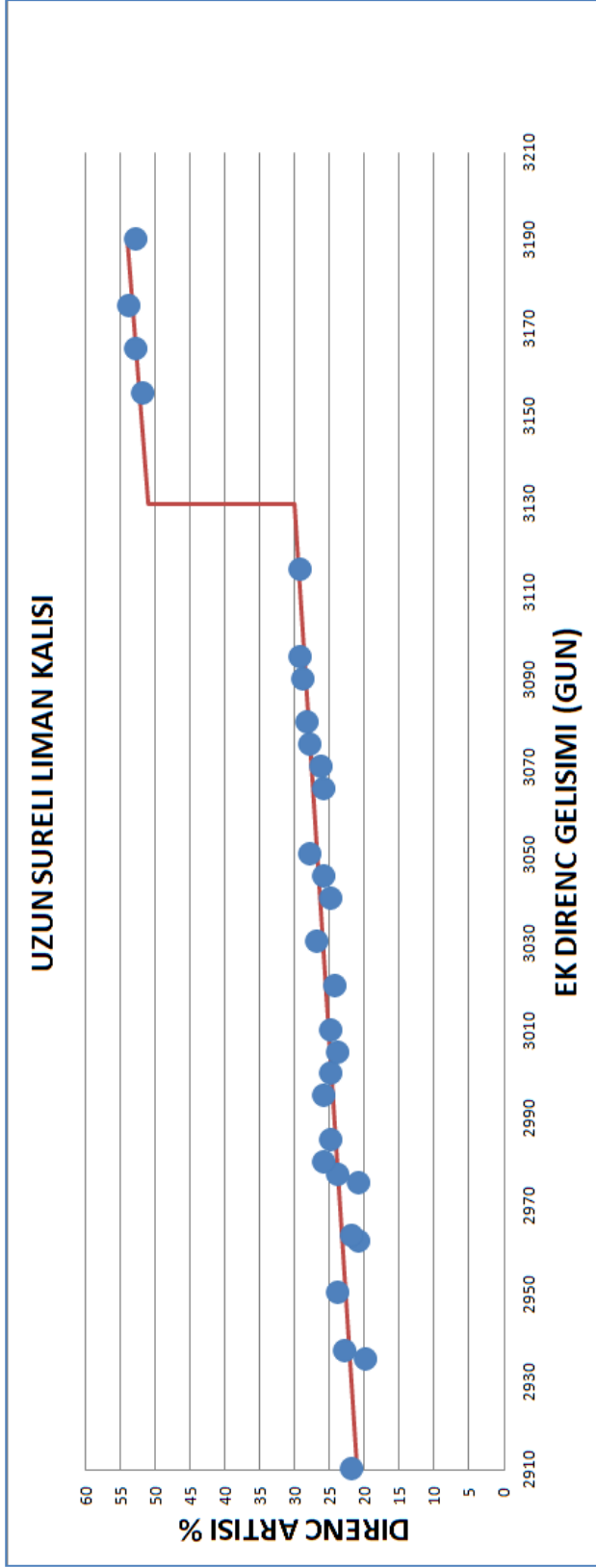
Şekil 4.7’de 7 kardeş geminin farklı direnç oranlarındaki yakıt sarfıyatı ve hız grafiği görülmektedir. Gemiyle önce temiz durumda deneme seyrine çıkılmış ve 7 farklı geminin direnç oranları belirlenmiştir. Grafikte ek direnç artıkça aynı hız için daha fazla yakıt sarf edileceği görülmektedir. 25 kn için deneme seyrinde temiz durumda 165 ton/gün yakıt harcanırken %19 ek dirençe sahip gemi ise 205 ton/gün harcamaktadır, buda aynı hızı yakalamak için günde %20 daha fazla yakıt harcamaktadır.

Şekil 4.8’de Aframax tipi bir geminin karina temizliği ve kuru havuza alındığında ki direnç düşüşleri gösterilmiştir. Birinci karina temizliği sonrası aylık %3’luk direnç artışı, ikinci karina temizliği sonrası %7’lik direnç artışı (13 kn da 21 ton/gün veya 1.4 kn) gerçekleşmiştir. Kuru havuz sonrası %40’lik direnç azalışı olmuş buda 13 kn da 10 ton/gün veya 0.5 kn hız artısına sebep olmuştur.

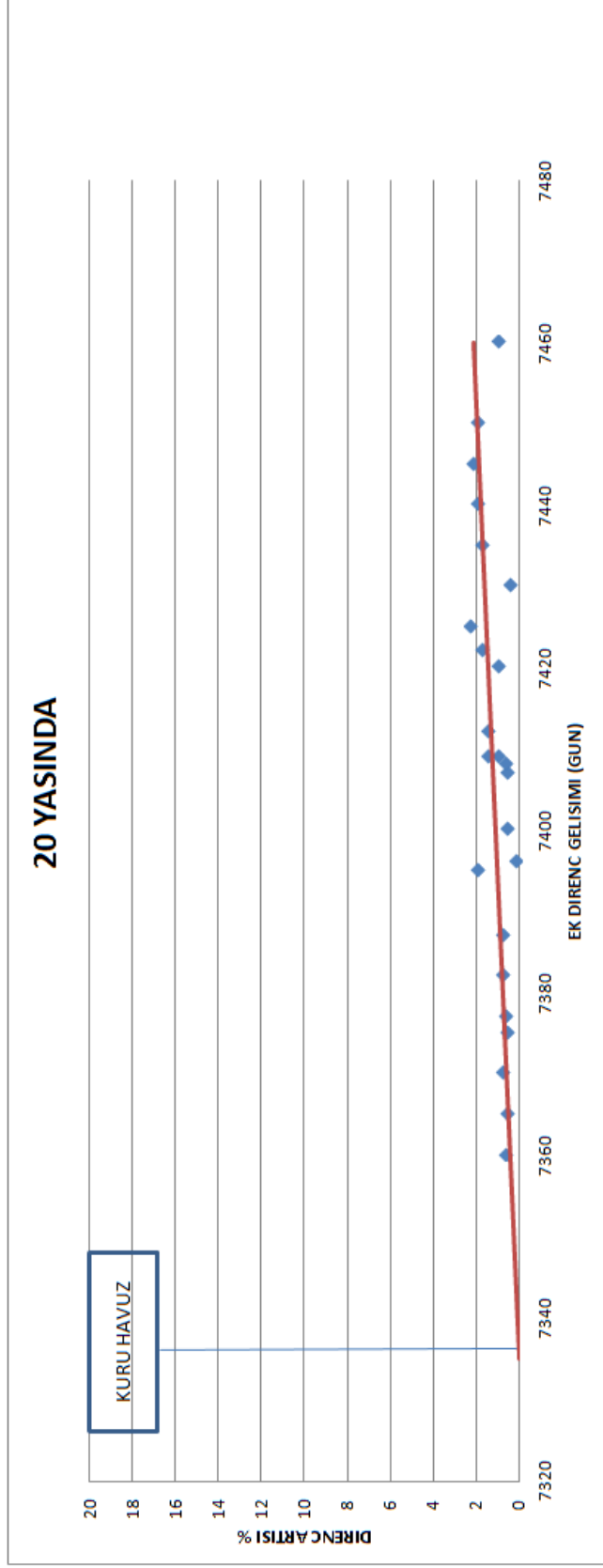
Şekil 4.9’da VLCC (Very Large Crude Carrier) tipi bir geminin pervane, karina ve kuru havuz temizleme periyotları sonucunda dirençteki düşüşü göstermektedir. İlk olarak pervane ve geminin yanları temizlenmektedir bunun sonucunda %8’lik bir direnç düşüşü gözlenmektedir. İkinci olarak suya indiğinden itibaren ilk karina temizliği yapılmış ve yaklaşık %25’li bir direnç düşüşü yaşanmıştır. İlk karina temizliği sonrası aylık %5’lik bir direnç artış hızı gözlenmiş ve 200 gün sonra gemi kuru havuza alınmış, %40’lik bir direnç düşüşü görülmüştür. Grafikten anlaşılacağı üzere ilk yapılan karina temizlinin etkisi 200 gün kadar sürmüş yeniden eski haline gelmiştir. Eğer bu temizlik yapılmamış olsaydı kuru havuza daha kirli ve o periyotta aynı hıza ulaşmak için daha fazla yakıt sarf edecekti. Kuru havuz sonrası 200 gün sonrası karina temizliği yapılmış ve ay başına %1’lik bir direnç artışı gerçekleşmiştir.



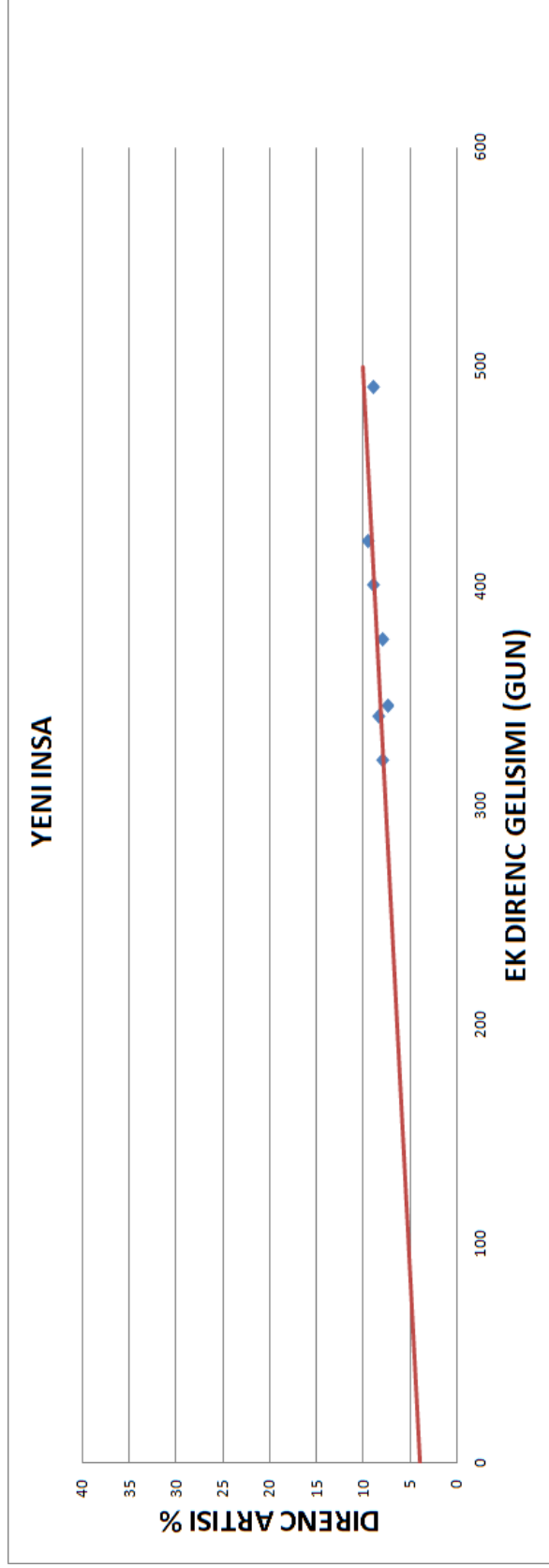
Şekil 4.9 : VLCC tipi bir geminin zamana bağlı direnç değişim eğrisi (Url-2)



Şekil 4.10 : Uzun süreli liman durumunda zamana bağlı direnç değişim eğrisi (Url-2)



Şekil 4.11 : 20 yaşında bir geminin zamana bağlı direnc değişim eğrisi (Url-2)



Şekil 4.12 : Yeni inşa edilmiş bir geminin zamana bağlı direnç değişim eğrisi (Url-2)

Şekil 4.10'da Suezmax tipi bir geminin güne göre direnç artış hızı gösterilmektedir. Burada gemi 4 haftalık bir limanda demir atması durumunda ki direnç artış hızı verilmiştir. Gemi 4 hafta limanda sabit kalmış bunun sonucunda %20'lik direnç maruz kalmıştır. Bu tip bir gemi için %20'lik direnç artışı 0.9 kn'lik hız düşüşüne veya 8 ton/gün'lük yakıt artısına sebep olmaktadır.

Şekil 4.11'de 20 yaşında kuru havuzdan yeni çıkmış bir geminin güne oranla direnç artış oranı verilmiştir. Yaklaşık 100 günde %2'lik bir direnç artışı gözlenirken Şekil 4.12'de yeni inşa edilmiş bir geminin 100 günde yaklaşık %1'lik direnç artışı görülmektedir. Bunu sebebi gemi yaslandıkça saçta meydana gelen demorfasyon, raspanın iyi yapılamaması gibi nedenler gösterilebilir.

5. UYGULAMALAR

5.1 Ro-Ro Tipi Bir Gemide Pürüzlülüğün Etkisi

Geminin adi: Kaptan Burhanettin (Ro-Ro)

Yapım yılı: 1991

L= 142 m , D=24 m , V= 20 kn,

Ana makine gücü= 2*3960 kw

Çalıştığı hat= Derince- Triyeste- Derince

Mesafe= 2960 mil

Yakıt sarfiyatı=180 g/kwh

1 t heavy fuel oil= 495 dolar=1090 tl

1 dolar=2.2 tl

1. Yeni Gemi: pürüz yüksekliği:120 μ m
Bu mesafeyi alma suresi = 148 saat
Toplam yakıt sarfiyatı = 229977 tl
2. 2 Yıllık Gemi Gemi: pürüz yüksekliği:180 μ m
Bu mesafeyi alma suresi = 157,5 saat
Toplam yakıt sarfiyatı = 244739 tl
3. 6 Yıllık Gemi Gemi: pürüz yüksekliği:350 μ m
Bu mesafeyi alma suresi = 169,5 saat
Toplam yakıt sarfiyatı = 263386 tl

Rakamlardan da anlaşılacağı gibi 2 yıllık servisten sonra tekne bakıma alınmazsa sefer başına yakıt sarfiyatını 229977 tl. den 244739tl, çıkmaktadır. Yine aynı şekilde 6 yıllık servisten sonra ise sefer başına 263386 tl. olmaktadır. Rakamlardan da

anlaşılabacağı üzere 2 yıllık serviste %6, 6 yıllık servisten sonra %13 yakıt sarfıyatı artmaktadır.

Hesaplamalardaki kabuller:

1. Yeni geminin ortalama tekne pürüzlülüğü 120 μm
2. 2 yıllık seyirden sonra 180 μm
3. 6 yıllık seyirden sonra 350 μm
4. Su sıcaklığının etkisi ihmal edildi.
5. Deniz suyunun tuzluluk oranı ihmal edildi.
6. Limanda beklerken ve manevra yaparken sarf edilen Light Fuel Oil miktarları ihmal edilmiştir.

5.2 Askeri Bir Gemide Karina Temizliğinin Ekonomik Etkileri

5.2.1 Giriş

“Bu çalışma orta büyüklükteki askeri yüzey gemilerindeki (Arleigh Burke DDG-51) karina kirliliğinin ekonomik etkilerinin analiz edildiği bir çalışmadır. Bu çalışmada karina kirliliğinin etkisi yakıt, karina boyası ve karina temizliği etkileri incelenerek maliyet üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada temel olarak yakıt tüketimindeki artış sürtünme direncindeki artıştan kaynaklandığı üzerinedir. Karina temizliğinin maliyeti yakıt fiyatlarına oranla çok çok azdır. Her yıl Amerikan Donanması karina kirliliğine karşı aldığı önlemler sayesinde bu sınıf gemi bazında 56 milyon dolar kazanç elde etmektedir.” (Schultz,2010)

5.2.2 Analiz için gemi sınıfının seçimi

“Amerikan Donanması çok farklı boyutlarda, değişik güç sistemlerine sahip, farklı operasyon alanlarında çalışan gemilerden oluşmaktadır. Örnek vermek gerekirse nükleer tahrik sistemine sahip bir gemi seçilmiş olsaydı alternatif koruma etkilerine anlamak veya yakıt tüketimindeki değişimi kayıt altına almak çok zor olurdu. Bundan dolayı analizi yapılacak olan geminin benzer bölgelerde görev yapan ve çalışma periyotları birbirine benzer gemiler seçilmesi gerekmektedir. Donanma gemilerine bakıldığında Arleigh Burke DDG-51 sınıfı gemilerin uygun olduğu değerlendirilmiştir. Bu sınıf gemiler donanma harcamaların %30’unu

oluşturmaktadır, buda genel çerçevede net karın daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır. Arleigh Burke DDG-51 sınıfı gemiler donanmada ki gemilerin %22 ıslak alanına sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı donanmadaki en fazla sayıda olması ve toplam ıslak alan bazında en fazla olan sınıf olması dolayısıyla Arleigh Burke DDG-51 sınıfı seçilmiştir. 46 adet Arleigh Burke DDG-51 sınıfı gemide 1 Ocak 2004 ile 31 Aralık 2006 tarihlerinde arasındaki 3 yıllık periyotta 310 kez enspektor raporu hazırlanmış buna istinaden bu periyotta 28 ful karına temizliği, 282 kez kısmi karına temizliği yapılmıştır. Ortalama ful karına temizlik sıklığı 0.21 sene^{-1} , ortalama kimsi karına temizlik sıklığı 2.4 sene^{-1} olarak belirlenmiştir. Karına temizlikleri Naval Ship's Manuel'e göre; kirlilik oranı $FR-40 > 20\%$ karına alanı olduğunda ve kirlilik oranı $FR-50 > 10\%$ karına alanı olduğunda yapılması gerekmektedir. Performans kriterlerine göre analiz edildiğinde 1 kn'lık hız düşüşü olduğunda, %5'lik yakıt artışında, şaft devir oranında %5'lik artış olduğunda karına temizliği yapılması ekonomik açıdan önemlidir. 2001 yılında NAVSEA Seaward Marine Service Inc. Şirketi ile 8 yıllık temizlik anlaşması yaptı. 2001 de yapılan ve 8 yıllık boyunca fiyat artışı %3'luk enflasyon oranınca artış gösterdi. 2010' da yapılan anlaşmaya göre ful temizlik 34,200 dolar, kısmi temizlik 21,500 dolar olarak imzalandı.” (Schultz,2010)

5.2.3 Karına kirliliğinin hidrodinamik etkisinin tespiti

“Arleigh Burke DDG-51 sınıfı gemilerdeki karına kirliliğinin toplam direnç ve güce etkisini incelemek amacıyla çekme tankı testleri yapılmıştır. Deney 1:36 oranında küçültülmüş model kullanılarak yapılmıştır. Test US Naval Academy Hydromechanics Laboratory de gerçekleştirilmiştir. Sınıf geminin ana boyutları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Arleigh Burke DDG-51 sınıfı gemilerin ana boyutları (Schultz,2010)

Su hattı boyu, L	142.0 m
En, B	18.0 m
Draft, T	6.4 m
Islak alan, S	3001 m ²
Deplasman, Δ	8768 ton

Tahmini olarak gemilerdeki toplam direncin 7.7 ms^{-1} (15 kn) ve 15.4 ms^{-1} (30 kn) daki değişimi ve buna bağlı olarak şaft gücündeki değişim Çizelge 5. 2’de ve Çizelge 5. 3’de gösterilmiştir. “(Schultz,2010)

Çizelge 5. 2 : 7.7 ms^{-1} (15 kn) deki toplam direnç ve şaft gücündeki değişim (Schultz,2010)

Koşul Durumları Arleigh Burke DDG-51 sınıfı	ΔR_T (kN)	ΔR_T	ΔSP (Kw)	ΔSP
AF boya uygulanmış	5.2	1%	61	1%
Boya kalitesi bozulmuş veya hafif biyofilm kaplı yüzey	34	9%	405	9%
Ağır biyofilm kaplı yüzey	64	17%	766	18%
Hafif kalkerli yüzey	110	29%	1325	31%
Orta kalkerli yüzey	168	44%	2050	47%
Ağır kalkerli yüzey	261	69%	3274	76%

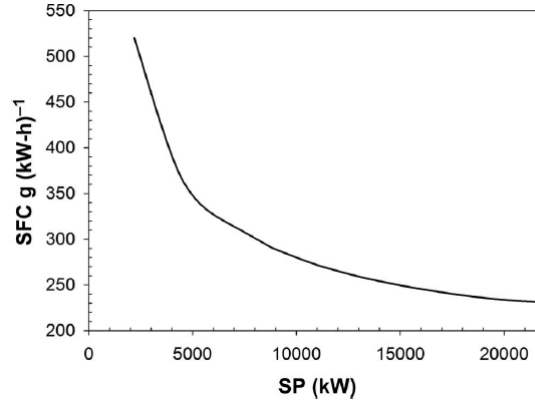
Çizelge 5.3 : 15.4 ms^{-1} (30 kn) deki toplam direnç ve şaft gücündeki değişim (Schultz,2010)

Koşul Durumları	ΔR_T (kN)	ΔR_T	ΔSP (Kw)	ΔSP
AF boya uygulanmış	66	3%	1533	3%
Boya kalitesi bozulmuş veya hafif biyofilm kaplı yüzey	182	7%	4300	7%
Ağır biyofilm kaplı yüzey	303	12%	7202	12%
Hafif kalkerli yüzey	485	19%	11699	20%
Orta kalkerli yüzey	715	28%	17519	30%
Ağır kalkerli yüzey	1088	43%	27315	47%

5.2.4 Yakıt tüketim hesabı

“Arleigh Burke DDG-51 sınıfı gemiler çift pervaneli ve 4 adet General Electric LM2500 gaz türbini makine sahiptir. Tüm makineler çalıştığında 80000 kW şaft gücü elde edilir. Ana tahrik sistemi 3 modda çalışır. Birinci mod seyir modudur. Bu modda bir gaz türbini çalışır ve tek şaft üzerinden dağılır. Bu mod en ekonomik seyir modudur. İkinci modda iki makine çalışır ve her makine ürettiği gücü kendi şaftına aktarır. Üçüncü mod ise ful güç modudur. Burada 4 gaz türbini de çalışır ve şaftlara bölünür. Bu mod yüksek hız istenilen durumlarda kullanılır. Bu analizde birinci mod da 7.7 ms^{-1} (15 kn) seyir yapılmış ve üçüncü modda 15.4 ms^{-1} (30 kn) hız

değerleri kullanılmıştır. Makinenin ürettiği şaft gücünün değişimi ile yakıt tüketimi arasındaki ilişki Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Şaft gücü ile yakıt tüketim değişim eğrisi (Schultz,2010)

Arleigh Burke DDG-51 sınıfı gemiler ortalama yılda 2835 saat seyir yapmaktadır. Seyirlerin ~%90’nini 7.7 ms^{-1} (15 kn) seyir hızında, ~%10’luk kısmını da 15.4 ms^{-1} (30 kn) yüksek süratli modda icra etmektedirler. ” (Schultz,2010)

5.2.5 Karina kirliliğinin ekonomik etkisi

“Boyadan yada kirlilikten kaynaklı karina pürüzlülüğünün operasyon masrafları üzerine etkisi büyüktür. Pürüzlülük miktarının artışı şaft gücünü o da yakıt sarfıyatı arttırmaktadır. Bu çalışmada bir geminin 15 yıllık periyotta Çizelge 5.3’de verilmiş 4 farklı pürüzlülük durumundaki ek yakıt masrafları hesaplanacaktır.” (Schultz,2010)

Çizelge 5.4 : Arleigh Burke DDG-51 sınıfı gemilerde 4 farklı kirlilik ve pürüzlülük senaryosu ” (Schultz,2010)

Senaryo	Boya Tanımlaması	Kirlilik Seviyesi	Kismi Temizlik Sikligi sene^{-1}	Full Temizlik Sikligi sene^{-1}
Durum 1	AF kapli, hidrodinamik olarak pürüzsüz yüzey	FR-0	0	0
Durum 2	AF kapli, $Rt = 150 \mu m$	FR-0	0	0
Durum 3	AF kapli, $Rt = 150 \mu m$	FR-30	2.4	0.21
Durum 4	AF kapli, $Rt = 150 \mu m$	FR-60	2.4	0.21

“Durum 1’de hidrodinamik olarak pürüzsüz bir yüzey, durum 2’de; donanma onaylı boya ile boyanmış temiz yüzey, durum 3’de; donanma boyasıyla boyanmış kısmı ve ful karına temizliği yapılan kirli yüzey ve durum 4’de; üst sinir kirlilik görülen bir yüzey.” (Schultz,2010)

“Durum 1’de temel olarak sadece sevk yakıt masrafı 11.1M dolardır. Bu masrafa kirlilik ve boyadan dolayı oluşan pürüzlülük dahil değildir. Baz ücretin üzerine her yıl bir gemi için 0.45M dolar ek masraf yapılır. 15 yıllık periyotta ise 3.33M dolar bir geminin maliyeti çıkar. AF Boya pürüzlülüğünden dolayı yakıt artışı %1.4 ve yaklaşık maliyeti 0.15M dolar olarak hesaplanmaktadır. Durum 3 ve durum 4’de durum kötüleşmektedir. 15 yıllık maliyeti 22.7M dolar olarak hesaplanmaktadır. Kirlilikten dolayı yakıt tüketimi %10.3 artmıştır. Bu artış yıl bazında gemi başına 1.2M dolar artış sağlamaktadır. Durum 4’de 15 yıllık maliyet 43.8M dolara kadar çıkmaktadır. Kirlilikten dolayı yakıt tüketim artışı %20,4’tur. buda durum 1 de ki baz fiyat üzerine bir gemi için yıllık ek 2.3M dolar ek masraf çıkarmaktadır. Sınıf gemi bazında yıllık 56M dolar, 15 yıllık periyotta ise 1 milyar dolarlık ek masraf çıkarmaktadır.” (Schultz,2010)

5.3 Yüksek Hızlı Teknede Kirliliğin Ekonomik Etkisi

Deneyin yapıldığı yüksek hızlı teknenin kirliliğin hıza ve yakıt tüketim miktarına olan incelemek amacıyla testler yapılmıştır. Geminin ana boyutları Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5 : Yüksek hızlı teknenin ana boyutları

Su hattı boyu, L	57.4 m
En, B	8.5 m
Draft, T	2.95 m
Islak alan, S	550 m ²
Deplasman, Δ	510 ton

Geminin yapılan sörvey raporuna göre teknenin kirlilik oranı FR-60 olarak belirlenmiştir. Uygulama esnasında akıntı hızı ve rüzgar hızı ihmal edilmiştir. Uygulamada 4 dalgıç kullanılarak 6 saate tamamlanmıştır. Uygulama maliyeti 2000 dolar olarak fatura edilmiştir. Dalgıçların hazırlanması ve malzemelerin kurulması 2 saate tamamlanmıştır. Çizelge 5.6’da hız değerlerinde güç, eksoz sıcaklığı ve

yakıt tüketim miktarları verilmiştir. Eksoz sıcaklığında ortalama 20°C bir düşüş gözlemlenmiştir. Ortalama temizlik sonrası yakıt tüketim miktarı %9 azalmıştır. Hız artışı temizlik sonrası son yolda 1.2 kn, 39 kn da 1 kn, 36 kn da 0.8 kn, 33 kn da 0.7 kn, 30 kn da 0.6 kn hız artışı gözlemlenmiştir. Yakıt tüketiminde ortalama 100 litre azalma görülmüştür. Uygulama yapılan yüksek hızlı teknenin yıllık seyir saati ortalama 1000 saat olarak kabul edilirse yıllık 100 ton yakıt tasarrufu sağlanmaktadır. 1 ton marine diesel oil fiyatı 1000 dolar olarak kabul edildiğinde yıllık 100000 dolar yakıttan tasarruf sağlanmaktadır. 3 aylık temizleme periyodu uygulandığında temizlik maliyetleri yaklaşık 10000 dolar olarak fatura edilmektedir. Teknenin 1 yıllık kazancı yaklaşık 180000 tl olarak hesaplanmaktadır.

Çizelge 5.6 : Uygulama yapılan gemideki test verileri

GAZ KADEMESİ		1 NOLU MAKİNA		2 NOLU MAKİNA		SÜRAT		DEĞİŞİM MİKTARI
		TEMİZLİK ÖNCESİ	TEMİZLİK SONRASI	TEMİZLİK ÖNCESİ	TEMİZLİK SONRASI	TEMİZLİK ÖNCESİ	TEMİZLİK SONRASI	
SON YOL	GÜÇ	3200	3320	3200	3320			
	EKSOZ SICAKLIĞI	662	641	663	644	38.2	39.4	1.2
	YAKIT TÜKETİMİ	731.6	662.6	736.5	663.6	1468.1	1326.2	-141.9
39	GÜÇ	3200	3100	3200	3000			
	EKSOZ SICAKLIĞI	659	643	668	641	37.8	38.8	1
	YAKIT TÜKETİMİ	705.3	644.1	702.4	645.4	1407.7	1289.5	-118.2
36	GÜÇ	2800	2600	3000	2650			
	EKSOZ SICAKLIĞI	654	646	665	651	36	36.8	0.8
	YAKIT TÜKETİMİ	673	621	675.3	621.2	1348.3	1242.2	-106.1
33	GÜÇ	2100	1950	2200	1950			
	EKSOZ SICAKLIĞI	592	578	600	581	31.1	31.8	0.7
	YAKIT TÜKETİMİ	584.7	532.8	571.2	529.5	1155.9	1062.3	-93.6
30	GÜÇ	1650	1500	1700	1550			
	EKSOZ SICAKLIĞI	590	577	594	583	29.5	30.1	0.6
	YAKIT TÜKETİMİ	473.8	434.9	473.2	435.5	947	870.4	-76.6

Çizelge 5.7’de Türk bayraklı 584 adet geminin sınıflarına göre dağılımı verilmiştir. Kavitasyon yöntemi ile karina temizliğini Türk bayraklı gemi filosuna 6 aylık periyotlar ile uygulandığı takdirde yaklaşık gemi bazında ortalama temizlik sonrası 1 kn’ lik artış gözlemlenecektir. 1 kn hız artışı için gemi bazında 100 litre/saat tasarruf sağlanacağı düşünüldüğünde yıllık 5000 saat seyir yapan ticaret gemileri, gemi başına 500 ton, 250000 dolar. Filo bazında düşünüldüğünde 125M dolar ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.

Çizelge 5.7 : IMO verilerine göre Türk bayraklı gemi sayıları

Türk Bayraklı Gemi Sınıfı	Türk Bayraklı Gemi Sayısı
Dökme yük	97
Tanker	198
Konteyner	41
Genel yük gemisi	248

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya ticaret hacminin büyümesi ile birlikte deniz yolu taşımacılığına ilgide artmıştır. Her geçen gün artan gemi sayısı ve dünyanın sahip olduğu fosil yakıt kaynaklarının azalmasından dolayı gemilerin harcadıkları yakıt miktarı önem kazanmıştır. Artan yakıt fiyatları karşısında tüketimde azalmaya gitmek yani birim yol başına yakıt tüketimini düşürmek konu ile ilgilenen araştırmacıların temel hedefi olmuştur. Birim yol başına yakıt tüketimini düşürmek bir diğer ifade ile gemi sevk verimini artırmak, gemi direncini azaltmak ile mümkündür.

Bu çalışmada tekne yüzey pürüzlülüğünün değişiminin dirençteki dolayısı ile yakıt tüketimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu incelemede ülkemizde yeni kullanılmaya başlayan karina temizlik yöntemi olan kavistasyon ile karina temizliğinden bahsedilmiştir. Bu yöntem ile temizlenen yüksek hızlı tekneden alınan veriler ile daha önce yapılmış inceleme ve deney sonuçlarının doğrulaması yapılmıştır. Farklı hız ve kirlilik durumlarındaki yakıt artışı miktarı ve hız değişimleri gösterilmiştir.

Grafik ve çizelgelerden de görüleceği üzere, kirlilik (fouling) gemi sürtünme direncini, dolayısıyla toplam direnci ve yakıt tüketimini önemli şekilde artırmaktadır. Kirlilik yüzünden hem verim düşürmekte hem de fazla yakıt tüketiminden kaynaklanan salınımlar nedeniyle doğa olumsuz şekilde etkilenmektedir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında kirliliğin azaltılması konusu gelecekte üzerine çalışılması gereken önemli bir konu olarak öne çıkmaktadır.

Giriş bölümünde verilen pürüzlülüğün gemi direncine etkisi, konunun önemi, tarihsel gelişimi, pürüzlülük araştırması yapılan çalışmalar ile konunun geçmişten geleceğe önemi kavranmış, pürüzlülük ile direnç arasındaki bağıntı kavranmıştır.

İkinci bölümde gemi direncini oluşturan bileşenler anlatılmış, gemi direncini belirlemede kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Böylece, gemi direncini oluşturan bileşenlerin nasıl oluştuğu, nasıl yorumlanmaları gerektiği direnç bileşenlerinin nasıl elde edileceği anlaşılmıştır.

Üçüncü bölümde tekne ve pervane yüzey pürüzlülüğünün nasıl oluştuğu, pürüzlülüğün viskoz dirence etkisi, pürüzlülüğü meydana getiren biyofilmin oluşumu, yapısı, biyofoulingin olumsuzuna etki eden faktörler,, kirliliğin etkilerinden bahsedilmiştir

Dördüncü bölümde karina temizlik yöntemleri, yöntemlerin birbiri ile karşılaştırılması, kavitasyon ile temizleme yönteminin incelenmesi daha önce bu yöntemin uygulandığı gemiler üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

Beşinci bölümde Kaptan Burhanettin (Ro-Ro) gemisi üzerinde farklı pürüzlülük miktarları verilerek belli bir hat üzerinde seyir saatinin artış miktarları verilmiştir. Yeni geminin pürüzlülük miktarı 120 µm kabul edilmiş ve 2 yıl sonra bu miktarın 180 µm ve 6 yıl sonraki değerinin de 350 µm olacağı kabul edilmiştir. Pürüzlülük miktarından dolayı gemi 2 yıl sonra aynı mesafeyi 9,5 daha geç almakta yani seyir saatinde %6'lık bir artış gözlenmiştir. 6 yıl sonra aynı mesafeyi 21,5 saat fark ile tamamlamış ve yakıt tüketimi ve seyir saatindeki artış %13 olduğu görülmüştür.

Altıncı bölümde Amerikan Donamasında yer alan orta büyüklükteki askeri yüzey gemilerindeki (Arleigh Burke DDG-51) karina kirliliğinin ekonomik etkilerinin analiz edildiği bir çalışmadır. Bu çalışmada karina kirliliğinin etkisi yakıt, karina boyası ve karina temizliği etkileri incelenerek maliyet üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada temel olarak yakıt tüketimindeki artış sürtünme direncindeki artıştan kaynaklandığı üzerinedir. Karina temizliğinin maliyeti yakıt fiyatlarına oranla çok çok azdır. Bu sınıf gemiler donanma harcamaların %30'unu oluşturmaktadır, buda genel çerçevede net karin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır. Arleigh Burke DDG-51 sınıfı gemiler donanmada ki gemilerin %22 ıslak alanına sahiptirler

46 adet Arleigh Burke DDG-51 sınıfı gemide 1 Ocak 2004 ile 31 Aralık 2006 tarihlerinde arasındaki 3 yıllık periyotta 310 kez enspektor raporu hazırlanmış buna istinaden bu periyotta 28 ful karina temizliği, 282 kez kısmi karina temizliği yapılmıştır. Ortalama ful karina temizlik sıklığı 0.21 sene^{-1} , ortalama kısmi karina temizlik sıklığı 2.4 sene^{-1} olarak belirlenmiştir. Karina temizlikleri FR-40>20% karina alanı olduğunda ve kirlilik oranı FR-50>10% karina alanı olduğunda yapılması gerekmektedir. Performans kriterlerine göre analiz edildiğinde 1 kn'lik hız düşüşü olduğunda, %5'lik yakıt artışında, shaft devir oranında %5'lik artış olduğunda karina temizliği yapılması ekonomik açıdan önemlidir. Gemilerdeki toplam direncin

7.7 ms^{-1} (15 kn) ve 15.4 ms^{-1} (30 kn) daki değişimi ve buna bağlı olarak şaft gúcündeki değişim değerleri verilmiştir. 7.7 ms^{-1} (15 kn) hızda hafif kalkerli yüzeyde toplam direnç %29, şaft gúcünde değişim %31, orta kalkerli yüzeyde dirençteki değişim %44, şaft gúcündeki değişim %47, ağır kalkerli yüzeyde direnç %69, şaft gúc değişimi %76 olarak hesaplanmıştır. 15.4 ms^{-1} (30 kn) hızda hafif kalkerli yüzeyde toplam direnc %19, saft gucundedeğisim %20, orta kalkerli yuzeyde direncteki değisim %28, şaft gúcündeki değişim %30, ağır kalkerli yüzeyde direnç %43, şaft gúc değişimi %47 olarak hesaplanmıştır.

Hidrodinamik olarak pürüzsüz bir yüzey temel olarak sadece sevk yakıt masrafı 11.1M dolardır. Bu masrafa kirlilik ve boyadan dolayı oluşan pürüzlölük dâhil değildir. Baz ücretin üzerine her yıl bir gemi için 0.45M dolar ek masraf yapılır. 15 yıllık periyotta ise 3.33M dolar bir geminin maliyeti çıkar. AF Boya pürüzlölüğünden dolayı yakıt artışı %1.4 ve yaklaşık maliyeti 0.15M dolar olarak hesaplanmaktadır.

Donanma boyasıyla boyanmış kısmı ve ful karina temizliği yapılan kirli yüzey ve Donanma boyasıyla boyanmış kısmı ve ful karina temizliği yapılan kirli yüzeyde durum kötüleşmektedir. 15 yıllık maliyeti 22.7M dolar olarak hesaplanmaktadır. Kirlilikten dolayı yakıt tüketimi %10.3 artmıştır. Bu artış yıl bazında gemi başına 1.2M dolar artış sağlamaktadır. Donanma boyasıyla boyanmış kısmı ve ful karina temizliği yapılan kirli yüzeyde 15 yıllık maliyet 43.8M dolara kadar çıkmaktadır. Kirlilikten dolayı yakıt tüketim artışı %20,4'tur. buda durum 1 de ki baz fiyat üzerine bir gemi için yıllık ek 2.3M dolar ek masraf çıkarmaktadır.

Yüksek hızlı bir tekne üzerinde yapılan kavitasyonla karina temizliği sonucu eksoz sıcaklığında ortalama 20°C bir düşüş gözlemlenmiştir. Ortalama temizlik sonrası yakıt tüketim miktarı %9 azalmıştır. Hız artışı temizlik sonrası son yolda 1.2 kn, 39 kn da 1 kn, 36 kn da 0.8 kn, 33 kn da 0.7 kn, 30 kn da 0.6 kn hız artışı gözlemlenmiştir. Yakıt tüketiminde ortalama 100 litre azalma görölmüştür. Uygulama yapılan yüksek hızlı teknenin yıllık seyir saati ortalama 1000 saat olarak kabul edilirse yıllık 100 ton yakıt tasarrufu sağlanmaktadır. 1 ton marine diesel oil fiyatı 1000 dolar olarak kabul edildiğinde yıllık 100000 dolar yakıttan tasarruf sağlanmaktadır. 3 aylık temizlime periyodu uygulandığında temizlik maliyetleri yaklaşık 10000 dolar olarak fatura edilmektedir. Teknenin 1 yıllık kazancı yaklaşık 180000 tl olarak hesaplanmaktadır.

Temizlik yöntemi Türk bayraklı gemilerde filosuna 6 aylık periyotlar ile uygulandığı takdirde yaklaşık gemi bazında ortalama temizlik sonrası 1 kn' lik artış gözlemlenecektir. 1 kn hız artışı için gemi bazında 100 litre/saat tasarruf sağlanacağı düşünüldüğünde yıllık 5000 saat seyir yapan ticaret gemileri, gemi başına 500 ton, 250000 dolar. Filo bazında düşünüldüğünde 125M dolar ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.

Çalışma sonucunda pürüzlülüğün gemi direnci üzerinde çok önemli bir rolü olduğu, pürüzlülük artışı ile gemi direncinin arttığı literatür çalışması ve yapılan uygulama ile kanıtlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Abrahart, R. J. ve See, L.** (1998). Neural Network vs. ARMA Modelling: Constructing Benchmark Case Studies of River Flow Prediction. In GeoComputation '98. Proceedings of the Third International Conference on GeoComputation, University of Bristol, United Kingdom, 17–19 Eylül (CD-ROM).
- Allison, D. G.** (2003). The biofilm matrix. *Biofouling*, 19, 139-150.
- Almeida, E., Diamantino, T. C., & De Sousa, O.** (2007). Marine paints: The particular case of antifouling paints. *Progress in Organic Coatings*, 59, 2–20.
- Atlar, M., Clover, E.J., Candries, M., Mutton, R.J., Anderson, C.D.** (2002). The effect of a foul release coating on propeller performance, *ENSUS* 2002, University of Newcastle Upon Tyne.
- Blake, R. C., & Ohmura, N.** (1998). Aporusticyanin mediates the specific adhesion of *Thiobacillus ferrooxidans* to pyrite. *Society for Industrial Microbiology Annual Meeting Program*, 58.
- Bowden, B.S ve Davison, N.J.** (1974). Resistance increments due to hull roughness associated with form factor extrapolation methods. *Technical Memo* 380, National Maritime Institute.
- Callow, M. E. & Fletcher, R. L.** (1994). The influence of low surface energy materials on bioadhesion: a review. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 34, 333–348.
- Callow, M.E.** (1996). Ship-fouling : the problem and methods. *Biodeterioration Abstracts* 10, 411-421.
- Candries, M.** (2001). *Drag, boundary-layer and roughness characteristics of marine surfaces coated with antifouling coatings* (doktora tezi). Department of Marine Technology, University of Newcastle-upon-Tyne, UK.
- Carlton, J.S.** (2007). *Marine Propellers and Propulsion*. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann.
- Ceyhan, N.** (2008). Çeşitli sistemlerde sorun oluşturan hücre dışı polisakkarit üreten mikroorganizmaların polisakkaritlerinin biyoparçalanması ve parçalanma etkinliğinin saptanması. İzmir: Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Chambers, L. D., Stokes, K. R., Walsh, F. C., & Wood, R. J. K.** (2006). Modern approaches to marine antifouling coatings. *Surface and Coatings Technology*, 201, 3642–3652.
- Characklis, W. G., & Marshall, K. C.** 1990. *Biofilms*. New York: Wiley.
- Chen, X., & Stewart, P. S.** (2002). Role of electrostatic interactions in cohesion of

bacterial biofilms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 59, 718–720.

- Christensen, B. E., & Characklis, W. G.** (1989). The role of extracellular polysaccharides in biofilms. *Journal of Biotechnology*, 10, 181-202.
- Dahlberg, C., Linberg, C., Torsvik, V. L., & Hermansson, M.** (1997). Conjugative plasmids isolated from bacteriocin marine environments show various degrees of 121 homology to each other and are not closely related to well-characterized plasmids. *Applied and Environmental Microbiology*, 63, 4692-4697.
- Davey, M. E., & O'Toole, G. A.** (2000). Microbial biofilms: from ecology to molecular genetics. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 64, 847–867.
- Donlan, R. M.** (2002). Biofilms: Microbial life on surfaces. *Emerging Infectious Disease*, 8 (9), 881-890.
- Douglas, L. J.** (2003). *Candida* biofilms and their role in infection. *Trends in Microbiology*, 11, 30-36.
- Egan, B.** (1987). Marine microbial adhesion and its consequences.
- Evans, L.** (1981). Marine algae and fouling: A review, with particular reference to ship-fouling. *Bot. Mar.* 24, 167-171.
- Faltinsen, O.M.** (2005). *Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles*, Cambridge University Press.
- Fang, H. H. P., Xu, L., & Chan, K.** (2002). Effect of toxic metals and chemicals on biofilm and biocorrosion. *Water Research*, 36, 4709-4716.
- Fischer, E.C., Castelli, V.J., Rodgers, S.D. and Bleile, H.R.** (1984). Technology for control of marine biofouling: A review. In, Costlow, J.D. and R. C. Tipper, R.C. (eds.) *Marine Biodeterioration: An Interdisciplinary Approach*. *Naval Institute Press*: Annapolis, Md., 261-299.
- Foster, T. J., & Hook, M.** (1998). Surface protein adhesins of *Staphylococcus aureus*. *Trends in Microbiology*, 6, 484–488.
- Froude, W.** (1872). Experiments on the surface-friction experienced by a plane moving through water, *British Association for the Advancement of Science*, The Collected Papers from William Froude, Institution of Naval Architects, 1955, pp. 138-146.
- Froude, W.** (1874b). On the experiments with H.M.S. Greyhound, *Transactions of the Institution of Naval Architects*, Vol.15, pp.36-73.
- Geldiy, R. ve Kocataş, A.** (2002). *Deniz biyolojisine giriş*. Bornova: Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi Kitaplar Serisi.
- Granville, P.S.** (1958). The frictional resistance and turbulent boundary layer of rough surfaces. *Journal Ship Res.* 2: 52–74.
- Herring, F.S.** (1980). Effectiveness of Waterborne Cleaning of Aircraft Carriers, S.N.A.M.E. Shipboard Energy Conservation Symposium, Session III-C, pp. 243-249.

- Jefferson, K. K.** (2004). What drives bacteria to produce a biofilm? *FEMS Microbiology Letters*, 236, 163-173.
- Joint, I., Tait, K., Callow, M. E., Callow, J. A., Milton, D., Williams, P. et al.** (2002). Cell-to-cell communication across the prokaryote–eukaryote boundary. *Science*, 298, 1207.
- Izubuchi, T.** (1934). Increase in Hull Resistance Through Shipbottom Fouling. Zosen Kiokai, 55. In Japanese (Translation by Lt. C. M. Spinks, U.S.N.R., on file Research Branch, Bureau of Ships).
- IMO** (2009). International Shipping and World Trade Facts and Figures 2009, *Maritime Knowledge Centre*. London.
- ITTC** (1990). *Hull Roughness, Report of the ITTC Performance Committee*, 19th ITTC.
- Kan, S., Shiba, H., Tsuchida, K., Yokoo, K.** (1958). Effect of Fouling of a ship's hull and propeller upon propulsive performance, *I.S.P.*, Vol. 5, No. 41
- Kempf, G.** (1936). A study of ship performance in smooth and rough water. *Trans. Soc. Nav. Arch. and Mar. Eng.*, 44, 195-227.
- Kempf, G.** (1937). On the Effect of Roughness on the Resistance of Ships. *Trans. Institution of Naval Architects* 79, 109–119.
- Kondratyev, I., Fulkerson, J., Kamenkov, I., Paramygin, V., Samusenko P.**, (2006) US 20060118495 A1 numaralı, “Nozzle for generating high-energy cavitation” isimli patent.
- Lackenby, H.** (1962). Resistance of ships, with special reference to skin friction and hull surface condition. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 176, 981–1014.
- Laidlaw, F.B.** (1952). The history of the prevention of fouling. In, *Woods Holes Oceanographic Institution, Marine Fouling and its*
- Lazarova, V., & Manem, J.** (1995). Biofilm characterization and activity analysis in water and wastewater treatment. *Water research*, 29, 2227-2245.
- Lee, Y. K., Kwon, K. K., Cho, K. H., Kim, H. W., Park, J. H., & Lee, H. K.** (2003). Culture and identification of bacteria from marine biofilms. *The Journal of Microbiology*, 41, 183-188.
- Lewis, J.A.** (1998). Marine biofouling and its prevention on underwater surfaces. *Mater. Forum* 22, 41–61.
- Little, B.J. ve DePalma, J.R.** (1988). Marine biofouling. *Treat. Mater. Sci. Technol.* 28, 89-119.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., & Parker, J.** (2003). *Brock Biology of Microorganisms* (10th ed.). New Jersey: Pearson Education.
- Mayer, C., Moritz, R., Kirschner, C., Borchard, W., Maibaum, R., Wingender, J., et al.** (1999). The role of intermolecular interactions: studies on model systems for bacterial biofilms. *International Journal of Biological Macromolecules*, 26, 3–16.
- McEntee, W.** (1915). Variation of frictional resistance of ships with condition of wetted surface. *Trans. Soc. Nav. Arch. and Mar. Eng.*, 23, 37-42.

- Milne, A.** (1990). Roughness and drag from the marine paint chemist's viewpoint. *Marine Roughness and Drag Workshop*. London.
- Mosaad, M.A.,** (1986). Marine propeller roughness penalties, PhD thesis, Department of Marine Technology, University of Newcastle Upon Tyne.
- Munk, T., Kane, D., Yebra, D.M.** (2009). The effects of corrosion and fouling on the performance of ocean-going vessels: a naval architectural perspective, *Woodhead Publishing in Materials*, Part 7, pp. 148-175.
- NSTM** (2006). Naval ships' technical manual. Chapter 081 Waterbourne underwater hull cleaning of Navy ships. Publication # S9086-CQ-STM-010/CH-081R4. Naval Sea Systems Command.
- O'Toole, G. A., & Kolter, R.** (1998). Flagellar and twitching motility are necessary for *Pseudomonas aeruginosa* biofilm development. *Molecular Microbiology*, 30, 295–304.
- Pasmore, M., Todd, P., Smith, S., Baker, D., Silverstein, J., Coons, D., et. al.** (2001). Effect of ultrafiltration membrane surface properties on *Pseudomonas aeruginosa* biofilm initiation for the purpose of reducing biofouling. *Journal of Membrane Science*, 194, 15–32.
- Pasmore, M., & Costerton, J. W.** (2003). Biofilms, bacterial signaling, and their ties to marine biology. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 30, 407–413.
- Patel, P., Callow, M. E., Joint, I., & Callow, J. A.** (2003). Specificity in the settlement–modifying response of bacterial biofilms towards zoospores of the marine alga *Enteromorpha*. *Environmental Microbiology*, 5 (5), 338–349.
- Railkin, A. I.** (2004). Marine biofouling colonization processes and defenses. New York: CRC Pres Inc.
- Schoenherr, K.E.** (1932). Resistances of flat surfaces moving through a fluid. *Trans SNAME* 40: 279–313.
- Schultz, M. P., Flack, K.A., Shade, J.E.** (2004). The effect of surface roughness on hydrodynamic drag and turbulence. *USNA Trident Scholar project report no 327*.
- Schultz, M. P.,** (2002). The relationship between frictional resistance and roughness for surfaces smoothed by sanding, *American Society Of Mechanical Engineers*, Vol.124, pp. 492-499.
- Schultz, M.P.** (2007). Effects of coating roughness and biofouling on ship resistance and powering. *Biofouling*, 23 (5): 331–341.
- Schultz, M.P. ve Swain, G.W.** (2000). The influence of biofilms on skin friction drag. *Biofouling* 15: 129–139.
- Schultz, M.P., Benedict, J.A., Holm, E.R., Hertel, W.M.** (2010). Economic impact of biofouling on a naval surface ship, *Biofouling*, Vol. 27, No. 1, pp. 87-98.
- Shankar, S., Ye, R. W., Schlichtman, D., & Chakrabarty, A. M.** (1995). Exopolysaccharide alginate synthesis in *Pseudomonas aeruginosa*:

Enzymology and regulation of gene expression. *Advances Enzymology and Related Molecular Biology*, 70, 221-255.

- Singh, R., Paul, D., & Jain, R. K.** (2006). Biofilms: Implications in bioremediation. *Trends in Microbiology*, 14 (9), 389-397.
- Sutherland, I. W.** (1990). Biotechnology of microbial exopolysaccharides. Cambridge, Cambridge University Press.
- Sutherland, I. W.** (2001a). The biofilm matrix-an immobilized but dynamic microbial environment. *Trends in Microbiology*, 9 (5), 222-227.
- Sutherland, I. W.** (2001b). Biofilm exopolysaccharides: A strong and sticky framework, *Microbiology*, 147, 3-9.
- Tang, R. J., & Cooney, J. J.** (1998). Effects of marine paints on microbial biofilm development on three materials. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 20, 275-280.
- Taylan, M.** (2010). An overview: effect of roughness and coatings on ship resistance. *International Conference on Ship Drag Reduction SMOOTH-SHIPS*. Istanbul, Turkey.
- Taylor, D.W.** (1943). *The Speed and Power of Ships*. Third edition. Washington: US Govt. Printing Office.
- Thomas, T. R.** (1999). Rough Surfaces, Second Edition, Imperial College Press.
- Tolker-Nielsen, T., Brinch, U. C., Ragas, P. C., Andersen, J. B., Jacobsen, C. S., & Molin, S.** (2000). Development and dynamics of *Pseudomonas* sp. biofilms. *Journal of Bacteriology*, 182, 6482–6489.
- Townsin, R.L., ve Dey, S.K.** (1990). The correlation of roughness drag with surface characteristics. *Marine Roughness and Drag Workshop*, London.
- Townsin, R.L., Byrne, D., Svensen, T.E., Milne, A.** (1986). Fuel economy due to improvements in ship hull roughness 1976-1986. *International Shipbuilding Progress*, Vol. 33, 127-130.
- Townsin, R.L., Medhurst, J.S., Hamlin, N.A., Sedat, B.S.** (1984). Progress in calculating the resistance of ships with homogenous or distributed roughness. *N.E.C.I.E.S. Century Conference on Marine Propulsion*.
- Townsin, R.L.,** (2003). The Ship Hull Fouling Penalty, *Biofouling*, Vol. 19, pp. 9-15.
- USTA, O.** (2012). Tekne yüzey pürüzlülüğünün sınır tabaka ve gemi direncine etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı Fakültesi, Yüksek Lisans tezi.
- Ünsalan, D.** (1992). The effects of hull and propeler roughness and fouling on ship performance. Istanbul Technical University Institute of Science and Technology Ph.D Thesis.
- Watnick, P., & Kolter, R.** (2000). Biofilm city of microbes. *Journal of Bacteriology*, 182, 2675-2679.
- Webster, N. S., Smith, L. D., Heyward, A. J., Watts, J. E. M., Webb, R. I., Blackall, L. L., et. al.,** (2004). Metamorphosis of a scleractinian coral in response to microbial biofilms. *Applied and Environmental Microbiology*, 70 (2), 1213–1221.

- Whiteley, M., Banger, M. G., Bumgarner, R. E, Parsek, M. R., Teitzel, G. M., Lory, S., et. al.** (2001). Gene expression in *Pseudomonas aeruginosa* biofilms. *Nature*, 413, 860–864.
- Yebra, D. M., Kill, S., & Dam-Johansen, K.** (2004). Review. Antifouling technology—past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings. *Progress in Organic Coatings*, 50, 75–104.
- Zhang, X., Bishop, P. L., & Kinkle, B. K.** (1999). Comparison of Extraction Methods for Quantifying Extracellular Polymers in Biofilms. *Water Science Technology*, 39, 211-218.
- Url-1** <<http://www.msu.edu>>, alındığı tarih: 13.10.2014.
- Url-2** <higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/SNAME/.../kaneFINAL.ppt>, alındığı tarih: 03.09.2014.
- Url-3** <<http://www.smp-ltd.com>>, alındığı tarih: 02.10.2014.
- Url-4** <http://www.china-ogpe.com/showroom/2636/product_list_s/75_1.html>, alındığı tarih: 27.10.2014.
- Url-5** <<http://www.cavidyne.com/products.shtml>>, alındığı tarih: 19.10.2014.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Onur KOCATEPE
Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul - 22.07.1989
Adres: Türk-iş Blokları 7302 Parsel B Blok 1.Giriş Daire 12
E-Posta: onur_kocatepe@hotmail.com
Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi - Gemi İnş. ve Gemi Mak. Müh.(10.2007-2.2011)