

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU ALTINDA YAPI TASARIMI ETKİNLİKLERİ VE
MİMARIN ROLÜ

Gamze GÜNDOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Mimari Tasarım Programı

Danışman

Doç. Dr. İbrahim Başak DAĞGÜLÜ

Temmuz, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU ALTINDA YAPI TASARIMI ETKİNLİKLERİ VE MİMARIN ROLÜ

Gamze GÜNDOĞAN tarafından hazırlanan tez çalışması 01.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Mimari Tasarım Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. İbrahim Başak DAĞGÜLÜ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. İbrahim Başak DAĞGÜLÜ, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Tolga AKBULUT, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Uğur ÖZCAN, Üye

Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. İbrahim Başak DAĞGÜLÜ sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Su Altında Yapı Tasarımı Etkinlikleri ve Mimarın Rolü başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Gamze GÜNDOĞAN

İmza



*Aileme
ve
gelecek nesillere*

TEŐEKKÜR

Tez çalıőmamın konu seçiminden itibaren her aőamasında beni cesaretlendiren, bilgi ve tecrübeleriyle bana her zaman destek olan değerli tez danışmanım Doç. Dr. İbrahim Başak Dağgölü'ne, yüksek lisans eğitimim süresince göstermiő olduğu anlayıő ve hoőgörü için őefim Ayten Dikol'a, çalışma süreci içinde tıp alanındaki bölümlere sağladığı bilimsel destek ve katkılarından dolayı Doç. Dr. M. Emin Elbüken'e, tezi oluşturma sürecindeki gerekli kaynak arayıőımda duyarlı davranarak verdikleri bilgi ve gösterdikleri ilgi için Dr. Metin Akaka'ya ve Prof. Dr. Bekir Sıtkı Cebeci'ye, lisans döneminden itibaren her zaman yanımda olan, öneri ve yardımlarını esirgemeyen arkadaőım Kadir Ekinci'ye, hayatımdaki her dönemde kendimi őanslı hissetmemi sağlayan, her zaman bana güvenen ve her türlü desteği benden esirgemeyen sevgili annem Seher Gündoğan ve babam Yusuf Ziya Gündoğan'a teőekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	VIII
KISALTMA LİSTESİ	IX
ŞEKİL LİSTESİ.....	X
TABLO LİSTESİ.....	XVI
ÖZET	XVII
ABSTRACT.....	XIX
1 Giriş.....	21
1.1 Literatür Özeti	21
1.2 Tezin Amacı	21
1.3 Hipotez.....	22
2 Suyun İnsanlara Sağladığı Faydalar ve Barındırdığı Potansiyeller	23
2.1 Su Üzerinde İnşa edilmiş İlkel Yapılar ve Yerleşimler	29
2.2 İnsan Yaşamının Su Altında Sürdürülebilmesi Denemeleri ve Kullanılan İlkel Ekipmanlar.....	34
2.3 Bir Yaşam ve Üretim Alanı Olarak “Su Altı”	39
3 Tarihsel Süreçte Su Altı Yapılarının Gelişimi.....	42
3.1 Denizaltılar ve Su Altı Araştırma Laboratuvarları.....	43
3.2 İnsan Organizmasının Sınırları ve Hiperbarik Tıp.....	60
4 Su Altı Yapıları Tasarımında Kullanılan Mimari Tasarım Yaklaşımları ve Mimarın Rolü	71
4.1 Form ve Geometri	72
4.1.1 Basınç.....	74
4.1.2 Gelgit ve Akıntı	79
4.2 Malzeme.....	81

4.3 Deniz Zemini Özelliklerinin Tasarıma Etkisi.....	92
4.4 Su Altı Yapılarında Risk, Güvenilirlik Analizi Yöntemleri ve Temel Gereksinimler.....	94
5 Güncel Su Altı Yapıları Örnekleri ve Fütürist Yaklaşımlar	98
5.1 Güncel Örnekler	98
5.2 Deniz Tarımı ve Ekolojik Farkındalık.....	121
5.3 Su Altı Yaşam Birimlerine Karşı İlk Yaklaşım	126
5.4 Konsept Proje Örnekleri	130
6 Sonuçlar.....	173
Kaynaklar	178

SİMGE LİSTESİ

C° Santigrat derece



KISALTMA LİSTESİ

FIU	Florida Uluslararası Üniversitesi
LCD	Liquid Crystal Display
MMY	Millimeter Per Year
MOCA	The Museum of Contemporary Art, Los Angeles
M.Ö.	Milattan Önce
MPY	Mils Per Year
MRDF	Marine Resource Development Foundation
M.S.	Milattan Sonra
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OTEC	Ocean Thermal Energy Conversion
ppm	Parts Per Million
yy	Yüzyıl
3D	3 Boyutlu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	"The Blue Marble" Pasifik Okyanusu [2]	23
Şekil 2.2	Tufan öncesi ve sonrası Karadeniz'in sınırları [9].....	25
Şekil 2.3	Venedik hava fotoğrafı, (NASA, 2001).....	27
Şekil 2.4	Stockholm 1910-1999 yılları arası yerleşim yoğunluğu [15]	28
Şekil 2.5	Amsterdam yüzen tekne evler (G. Gündoğan, 2018).....	29
Şekil 2.6	Kamboçya, Tonle Sap Gölü yüzen evler [19]	30
Şekil 2.7	Peru, Uros adası [21].....	31
Şekil 2.8	Peru, Uros adası kesiti [22]	31
Şekil 2.9	Irak, Mezopotamya yüzen kamış evleri [23]	32
Şekil 2.10	Lagos, Makoko mahallesi hava fotoğrafı [25].....	33
Şekil 2.11	Lagos, Makoko mahallesi yüzen gecekondu (Reuters) [26].....	33
Şekil 2.12	Lagos, Makoko mahallesi [27]	34
Şekil 2.13	Su altı yüzücülerini tasvir eden fresk, M.Ö. 900 British Museum	35
Şekil 2.14	Leonardo da Vinci'nin dalış aparatı çizimi (British Library 1478-1518) [29], model çalışması [30] ve Cincinnati Sanat Müzesi'nde sergilenen kopyası	36
Şekil 2.15	Vegetius'un ortaçağ dalış kaskı [31]	37
Şekil 2.16	Edmond Halley dalış çanı, 1690 [33]	37
Şekil 2.17	İlk kapalı dalış kaskının modeli, Patents Museum [34]	38
Şekil 2.18	Okyanusun ana bölgeleri [5]	40
Şekil 3.1	Tahmin edilen Drebbel görseli [38]	43
Şekil 3.2	Tahtelbahir, ilk Osmanlı denizaltısı görseli [40].....	44
Şekil 3.3	Turtle denizaltı kesit, görünüşü [41] ve müzede sergilenen modeli .	44
Şekil 3.4	Nautilus denizaltı bölümleri [43].....	45
Şekil 3.5	Argonaut denizaltı kesitleri [44]	46
Şekil 3.6	Bathysphere'de William Beebe (Wildlife Conservation Society)	46
Şekil 3.7	Trieste kesit ve görünüş görseli, U.S. Navy [45]	47
Şekil 3.8	Trieste 1958 [46].....	48
Şekil 3.9	Conshelf II denize konuşlandırma çalışmaları [48]	49
Şekil 3.10	Conshelf II modeli [49]	49
Şekil 3.11	Conshelf III modeli ve 1965 yılı iç mekan görseli (Davis Meltzer).....	50
Şekil 3.12	Conshelf III denize konuşlandırma çalışmaları [48].....	50
Şekil 3.13	Conshelf III kesiti [50]	50

Şekil 3.14	Helgoland su altı laboratuvarı 1969 [52] ve 2008 yılı görselleri (Stralsund Müzesi, Almanya)	51
Şekil 3.15	Aegir genel görünüş [54]	52
Şekil 3.16	Aegir plan ve kesit çizimi [54]	52
Şekil 3.17	Tektike II su altı laboratuvarı plan şemaları [4]	53
Şekil 3.18	Tektike II su altı laboratuvarı görünüşü [4]	54
Şekil 3.19	Tecktite II modeli [53]	54
Şekil 3.20	La Chalupa su altı laboratuvarı [55]	55
Şekil 3.21	Jules's Undersea Lodge, su altı oteli modeli [56]	55
Şekil 3.22	Marine Lab, dış görünüşü ve iç mekan görseli [57]	56
Şekil 3.23	Marine Lab, akrilik küre [58]	57
Şekil 3.24	Aquarius su altı habitatı ve laboratuvarı (NOAA, Kuzey Carolina)	57
Şekil 3.25	Aquarius iç mekan görünüşü [60]	58
Şekil 3.26	Aquarius, plan şeması [60]	58
Şekil 3.27	Aquarius, A-A kesiti [60]	58
Şekil 3.28	Aquarius, B-B kesiti [60]	58
Şekil 3.29	Derinliğe bağlı basınç - gaz hacmi diyagramı [66]	61
Şekil 3.30	Dokulardaki kısmi azot basıncının zamanla ilişkisi [70]	64
Şekil 3.31	Normal bir dalışta gazların dokularda çözünmesi ve atılması [67]	65
Şekil 3.32	Satürasyon dalış kompleksi [53]	67
Şekil 3.33	Satürasyon kompleksleri [75]	68
Şekil 3.34	Oksipol modern basınç odası (G. Gündoğan, 2019)	68
Şekil 4.1	Denizyıldızı [80], denizkestenesi [81] ve deniz kabukları [82]	72
Şekil 4.2	Su altı habitatlarının çeşitli formları [37]	74
Şekil 4.3	Basınç ilkeleri [84]	75
Şekil 4.4	Yüzey gerilme ilkeleri	75
Şekil 4.5	Denizaltı batırma ilkeleri [84]	76
Şekil 4.6	Konsept denizaltı çizimi [86]	76
Şekil 4.7	Tipik basınç gövdesi yapısı ve burkulma modu [87]	77
Şekil 4.8	Basınç gövdesi modelleri [88]	78
Şekil 4.9	Su moleküllerinin çekimi [89]	78
Şekil 4.10	Civa- yüzey gerilimi	79
Şekil 4.11	Malzemelerin deniz suyu ile korozyon değerleri [94]	82
Şekil 4.12	Çeliğin deniz ortamında korozyon hızı [95]	83
Şekil 4.13	Düşük karbonlu çeliğin korozyonu [94]	84

Şekil 4.14	Malzeme seçiminin su altı kullanımı için niteliksel karşılaştırması ..	85
Şekil 4.15	Paslanmaz çelik ve boyalı hafif çelik maliyetlerinin karşılaştırması .	86
Şekil 4.16	Tipik metal yorulması analizinin akış şeması [94]	86
Şekil 4.17	Su altında tremi yöntemiyle beton dökümü [100]	89
Şekil 4.18	Akrilik tünel profilleri [6]	91
Şekil 4.19	Deniz tabanını karakterize eden farkörler [102]	93
Şekil 4.20	Deniz tabanı stabilitesi - aşınabilirlik [102]	93
Şekil 5.1	Jules' Undersea Lodge, plan şeması [56]	99
Şekil 5.2	Jules' Undersea Lodge, ortak alandan iç mekan görünüşleri [56].....	100
Şekil 5.3	Jules' Undersea Lodge, otel girişi [106]	100
Şekil 5.4	Red Sea Star Restoran, plan [108]	101
Şekil 5.5	Red Sea Star Restoran, sahilden restoranın görünüşü [108] ve eskiz çizimi [110]	101
Şekil 5.6	Red Sea Star Restoran, su altından restoranın görünüşü ve iç mekan tasarımı [108].....	102
Şekil 5.7	Utter Inn, yapının tamamı [112].....	103
Şekil 5.8	Utter Inn, İsveç ahşap kabini görünüşleri ve su altı odası ile arasındaki geçiş [113]	103
Şekil 5.9	Ithaa Su Altı Restoranı, iç mekan görünüşü [115]	104
Şekil 5.10	Ithaa Su Altı Restoranı, yapının su altına yerleştirilmesi ve girişi	104
Şekil 5.11	Ithaa Su Altı Restoranı, havadan görünüş [117].....	105
Şekil 5.12	Poseidon, su altından süit odaların görünüşü [118].....	105
Şekil 5.13	Poseidon, iç mekan görünüşleri [118]	106
Şekil 5.14	Poseidon, plan şeması [118].....	106
Şekil 5.15	Poseidon, otel kompleksinin genel görünümü [118].....	107
Şekil 5.16	Poseidon, modüler birimin taşınması [118]	108
Şekil 5.17	The Manta Resort, su altı ve su üstü bölümü görünüşü [122]	109
Şekil 5.18	The Manta Resort, havadan görünüş [122]	110
Şekil 5.19	The Manta Resort, su altı odası iç mekan görünüşü [122]	110
Şekil 5.20	Floating Seahorse Villa, kompleksin master planı (Kamran Jebreili, 2016), Yapının genel görünüşü [123]	111
Şekil 5.21	Floating Seahorse Villa, Su altı bölümü iç mekan görselleri	111
Şekil 5.22	Floating Seahorse Villa, su üstü bölümü görünüşü [124]	112
Şekil 5.23	Floating Seahorse Villa, arka cephe görünüşü [124]	112
Şekil 5.24	The Muraka, havadan görünüş [126].....	113
Şekil 5.25	The Muraka, yatak odası ve banyodan iç mekan görünüşleri	113

Şekil 5.26	The Muraka, su altı bölümü iç mekan görünüşü [125].....	114
Şekil 5.27	Under Restoran, havadan görünüş [129].....	114
Şekil 5.28	Under Restoran, giriş kat planı +3.00 kotu [130]	115
Şekil 5.29	Under Restoran, asma kat planı -1.00 kotu [130].....	115
Şekil 5.30	Under Restoran, yemek salonu kat planı -5.00 kotu [130]	115
Şekil 5.31	Under Restoran, su üstü bölümü görünüşü [129]	116
Şekil 5.32	Under Restoran, A-A Kesiti [130]	116
Şekil 5.33	Under Restoran, giriş cephesi [129].....	117
Şekil 5.34	Under Restoran, B-B Kesiti [130]	117
Şekil 5.35	Under Restoran, su altı bölümü görünüşleri [129]	118
Şekil 5.36	Under Restoran, iç mekan görünüşleri [129]	118
Şekil 5.37	Underwater Pavillion (Shawn Heinrichs, 2016)	119
Şekil 5.38	Underwater Pavillion (Shawn Heinrichs, 2016)	120
Şekil 5.39	Coralarium, gün batımı [135]	120
Şekil 5.40	Coralarium, sanat galerisinin dış ve iç görünüşü [135].....	121
Şekil 5.41	Nemo's Garden, su altı bahçeleri görünüşleri [136]	122
Şekil 5.42	Nemo's Garden, su altı bahçeleri içinden görseller [136].....	123
Şekil 5.43	Nemo's Garden, su altı bahçesi bitkileri [136]	124
Şekil 5.44	Su altı şehri, Mimar Warren Chalk (1964) [79]	126
Şekil 5.45	Su altı şehri modeli [4]	127
Şekil 5.46	Arcosanti by Paolo Soleri [138]	127
Şekil 5.47	Su altı şehirleri (Out of time: Designs for the 20. Century Future) ...	128
Şekil 5.48	Sular altında bir şehir (Klaus Bürgle, 1967)	128
Şekil 5.49	Man's Future Beneath The Sea (Jack Woodson, 1968)	129
Şekil 5.50	Underwater villages master plan ve kesit çalışması [140].....	131
Şekil 5.51	Underwater Villages, genel yerleşim görselleri [140].....	131
Şekil 5.52	Oil Rig Aquaculture Column, 3D görselleri [141].....	132
Şekil 5.53	Oil Rig Aquaculture Column, kesit ve su altı görünüşü [141].....	133
Şekil 5.54	Armor Ocean Community, 3D görseller ve kesit çalışması [141]	134
Şekil 5.55	Hava şartlarına göre konumu ve kullanılan enerji kaynakları [141]134	
Şekil 5.56	Armor Ocean Community, kesit çalışması ve su altı görünüşü	135
Şekil 5.57	Ocean Nomads, kesit çalışması [141]	135
Şekil 5.58	Ocean Nomads, kesit çalışması ve su altı görselleri [141].....	136
Şekil 5.59	Trabelsi, su altı bölümü görünüşü [141]	137
Şekil 5.60	Trabelsi, kesit, model ve görünüşü [141].....	138

Şekil 5.61	Trabelsi, kat planları [141]	139
Şekil 5.62	Lady Landfill Skyscraper, su altı bölümü görselleri [141].....	140
Şekil 5.63	Lady Landfill Skyscraper su üstü bölümü görselleri [141]	140
Şekil 5.64	Narwhall, kesit ve su altı görünüşü [141]	141
Şekil 5.65	Narwhall, kısmi kesit çalışması [141].....	142
Şekil 5.66	Narwhall, su üstü bölümü planı [141].....	142
Şekil 5.67	Narwhall su altı bölümü planı [141]	142
Şekil 5.68	Medee yapı modelleri [141]	143
Şekil 5.69	Medee su üstü ve su altı bölümü görselleri [141].....	143
Şekil 5.70	Sub-Biosphere-2, su üstü bölümü [141].....	144
Şekil 5.71	Sub-Biosphere-2, hareketli sistem görselleri [141].....	145
Şekil 5.72	Arados, su üstü bölümü görünüşü [141].....	146
Şekil 5.73	Arados, kat planı [141]	147
Şekil 5.74	Arados, kesit çalışması [141]	147
Şekil 5.75	Arados, cephe görseli [141].....	148
Şekil 5.76	Arados, cephe oluşum aşamaları modeli [141].....	148
Şekil 5.77	Adapting Infrastructure, kesit perspektif görseli [141]	149
Şekil 5.78	Adapting Infrastructure, vaziyet planı ve kesit çalışması [141].....	150
Şekil 5.79	Adapting Infrastructure, proje katmanları ve kısmi kesit [141]	150
Şekil 5.80	Sea Orbiter, kesit çalışması [143].....	151
Şekil 5.81	Sea Orbiter, yapı formunun esin kaynağı ve 3D model [143]	152
Şekil 5.82	Sea Orbiter, kesit ve 3D model [143]	152
Şekil 5.83	İskenderiye Su Altı Müzesi hava görseli üzerinde proje konumu	153
Şekil 5.84	İskenderiye Su Altı Müzesi, kesitler ve görünüşler [145].....	154
Şekil 5.85	İskenderiye Su Altı Müzesi, 3D görseller [144].....	155
Şekil 5.86	Lilypad, yapı formunun esin kaynağı [147].....	156
Şekil 5.87	Lilypad 3D görseller [147]	157
Şekil 5.88	Lilypad kesitler ve görünüşler [147]	158
Şekil 5.89	Lilypad kat planları [147].....	159
Şekil 5.90	H ₂ O Scraper, kentsel ölçekte yerleşim modeli [148]	161
Şekil 5.91	H ₂ O Scraper, ekolojik tasarım [148].....	161
Şekil 5.92	Bloom Aquatic, kesit [149].....	162
Şekil 5.93	Bloom Aquatic, kesit çalışması, plan şemaları ve 3D görseller	163
Şekil 5.94	Yüzen Adalar, vaziyet planı [150]	164
Şekil 5.95	Arctic Kültür Merkezi, vaziyet planı, kesitler ve kat planı [150].....	165

Şekil 5.96	H ₂ OME, iç mekan görselleri [151].....	166
Şekil 5.97	H ₂ OME, su üstü ve su altı bölümü görseli [151]	166
Şekil 5.98	H ₂ OME, su altı bölümü kat planları [151]	167
Şekil 5.99	WD, cephe ve iç mekan görselleri [154]	171
Şekil 5.100	WD, kesit çalışması [153]	171
Şekil 5.101	WD, 3D görseller [154]	172
Şekil 6.1	Su altı kullanımının gelişim süreci yaklaşımları - İç güdüsel yaklaşım (Kurgu: G. Gündoğan, 2019)	173
Şekil 6.2	Su altı kullanımının gelişim süreci yaklaşımları - Teknik yaklaşım (Kurgu: G. Gündoğan, 2019)	174
Şekil 6.3	Su altı kullanımının gelişim süreci yaklaşımları - Askeri ve bilimsel yaklaşımlar (Kurgu: G. Gündoğan, 2019)	174
Şekil 6.4	Su altı kullanımının gelişim süreci yaklaşımları - Turizmde rekabetçi yaklaşım (Kurgu: G. Gündoğan, 2019).....	175
Şekil 6.5	Su altı kullanımının gelişim süreci yaklaşımları - Yaşam biçimi yaklaşımı (Kurgu: G. Gündoğan, 2019).....	175

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Kısmi oksijen basıncının farklı seviyelerdeki fizyolojik etkileri	62
Tablo 3.2 Oksijen basıncına maruz kalma limitleri	63
Tablo 3.3 N ₂ O ₂ dalış için oksijen kısmi basınç limitleri	64
Tablo 3.4 Gaz karışımlarına göre dekompresyon karşılaştırması	66
Tablo 3.5 Su altında çeşitli gürültü seviyelerine güvenli maruz kalma süreleri ...	70



Su Altında Yapı Tasarımı Etkinlikleri ve Mimarın Rolü

Gamze GÜNDOĞAN

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. İbrahim Başak DAĞGÜLÜ

Gezegemizin sularla kaplı bölümleri insanoğlunun doğal yaşam ortamı değildir. Buna rağmen ilkel insan toplulukları bile organize olarak su üstünde yaşamayı başaramışlardır. İnsanın esnek ve ortama uyum sağlamada sınırlı bir başarıya sahip olan doğası, onların su üstünde yerleşmelerine, yaşamlarını suda yaşayan canlılar sayesinde devam ettirmelerine, hatta çok sınırlı da olsa su altına inmelerine olanak tanımıştır.

Denizler ve tatlı sular, kendine has fiziksel, kimyasal özellikleri ve barındırdığı yaşam sayesinde insan topluluklarının yaşamlarını sürdürmek için gerekli olan birçok kaynağı sunmaktadır. Tarih boyunca tüm insan yerleşmeleri deniz, göl, akarsu kıyılarında ya da yer altı suyuna kolay ulaşılabilecek yerlerde kuruldu. Özellikle denizler ve büyük göller yaşam kaynağı olabilecekleri kadar, büyük doğal felaketlerin potansiyellerini de barındırmaktaydılar. Buna rağmen insanlar denizlerden elde ettikleri yararın büyüklüğü nedeniyle afet riskini göze alarak deniz ve büyük göllerin kıyılarında yaşamaya devam ettiler. İnsanlar teknolojik yetersizliklerden dolayı başlangıçta dünyanın üçte ikisini kaplayan suların derinliklerine inemediler. Günümüzde hala dünya yüzeyinin sularla kaplı olan bölümünün en iyi ihtimalle yüzde beşi bilinmektedir. Ancak bilim ve teknolojideki

gelişmeler insanoğlunun ilgisini giderek daha fazla denizlere ve özellikle denizlerin derinliklerine yöneltmelerini olası kıldı.

Bu çalışmanın ilk bölümünde denizlerin ve tatlı suların barındırdığı potansiyeller ışığında suyun önemi vurgulanarak tarihsel süreçte su altı yapılarının gelişimi ele alınmıştır. İlerleyen bölümlerde gelişen teknoloji sayesinde su altında yaşamak için gerekli donanım ve bilgiye sahip hale gelen insanın, günümüzde gerçekleştirdiği su altında mimari mekan inşa etkinlikleri incelenmiş ve bu etkinliklerde mimarın rolünün ne olacağı sorgulanmıştır. Su altı çevre koşullarına uygun yapılar tasarlayabilmek için hangi mimari yaklaşımların geliştirilmesi gerektiği üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Hayata geçirilmiş modern su altı yapıları incelenmiş ve bu incelemelerde gerçekleştirilen örnekler arttıkça bu konuda mühendisler kadar mimarlara düşen rolün de arttığı ve artmasının gerektiği görülmüştür. Çalışmanın amacı, su altında inşa edilmiş yapıların mimari tipolojisinin mevcut durumunu analiz edip, ortamdaki kaynaklanan sıra dışı sorunlara birden fazla disiplinin katılacağı ancak mekan tasarım etkinliğinin mimar tarafından gerçekleştirileceği yaklaşımlar önererek mimari tasarım problemlerinin üstesinden gelmektir. Tez kapsamında su altı dünyasının insan doğasına aykırı özelliklerine rağmen, ne şekilde uygun yaşama alanları oluşturulabileceği ve bu etkinlikte mimarın rolünün ne kadar büyük olabileceği sorgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Su altı restoranları, Su altı otelleri, Su altı yaşam birimleri, İnsan organizmasının sınırları, Ekstrem tasarım alanları, Tasarımda fütürist yaklaşımlar

Underwater Structure Design and the Role of Architect

Gamze GÜNDOĞAN

Department of Architecture

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. İbrahim Başak DAĞGÜLÜ

The water covered parts of the planet Earth are not the natural habitat for the humankind. Nevertheless, starting from old ages, human communities successfully achieved of living on the water by planning and communicating. Humans' flexible nature and limited ability to adapt the environments allowed them to populate on the water and although very limitedly, even go underneath.

Thanks to the specific physical, chemical properties and of course the habitat they contain, offshores and fresh waters facilitate many marine resources to the human communities to thrive. Throughout history, humans tend to settle close to sea, lake, stream coast or where there is easy access to groundwater. Besides their vast potential to provide resources for many life forms, offshores and large lakes also carry potentials of grand natural disasters. Nevertheless, even by taking into account the risk of disasters; humans still have continued to live near seas and large lakes considering the great benefits and the countless upsides. While water consists two third of our great planet, in the beginning technical inabilities prevented humankind to go deep down under water. Even today, most probably only five percent of the area covered with water is known by humans. Fortunately, progress in science and technology allows humankind to explore and exploit more and more the waters, especially the unknown deep seas.

First part of this study addresses the progress of underwater structures in history, in the light of importance of seas and fresh waters due to their excessive potentials. Eventually, humankind has equipped themselves with knowledge and the ability to live and explore underwater thanks to advancements in technology. In later stages of this study, activities of underwater design structures due to the above mentioned advancements are analyzed as well as architect's role in them are examined. Necessary architectural approaches in order to design structures that are compatible with marine environments are studied. Existing modern underwater structures have been analyzed in detail. As a conclusion, as the number of examples increases, it becomes clearer that architect's parts in these subjects have been grown and continues to grow as needed alongside with engineers. Objective of this study is to analyze the existing conditions of the architectural typology of underwater structures. Furthermore, although several disciplines will be affected by the extraordinary challenges from the harsh ambient factors, architectural design issues shall be overcome with the suggestions by the architect. In this thesis, procedures and methods are studied on how to erect livable habitats and the role of architect in the great underwater world regardless of its many contradictory features to human nature.

Keywords: Underwater restaurants, Underwater hotels, Underwater life units, Limits of human organism, Extreme design areas, Futurist approaches in design

1.1 Literatür Özeti

İlk su altı yapıları mühendislik ürünleri olmasına rağmen, günümüzde özellikle bölümsel olarak su altında olan binalar mimarlar tarafından tasarlanmaktadır. Bu gelişim sürecinde mühendislerin ve mimarların rolü üzerine araştırmalar yapılarak bu ortak çabanın mimarlar açısından nereye kadar evrilebileceği sorgulanacaktır. Su altı yaşam alanları tasarlayabilmek için mimarların bilmediği ama bilmeleri gerektiği düşünülen “insan metabolizmasının sınırları” konusu medikal kaynaklardan araştırmalar yapılarak tasarım kılavuzu niteliğinde tez kapsamında ele alınacaktır. Ayrıca tez içeriğinde su altı yapılaşmasının klasik mimari tasarım yaklaşımlarına etkisi üzerinde araştırmalar yaparak su altında yapı yapmanın taşıyıcı sisteme, malzeme seçimine, bina işlev ve biçimine etkisi üzerinde çalışmalar yapılacaktır. Dünyada uygulanan ilk su altı mimari yapı örneğinden başlanarak günümüze kadar yapılan, yapımı devam eden ve henüz yapımına başlanmamış konsept mimari proje örnekleriyle tez çalışması desteklenecektir.

1.2 Tezin Amacı

Mimari tasarım etkinliğinde binanın içinde yer alacağı bağlamın çok iyi tanınması ve mimari tasarım ölçütlerinden hangilerinin ön plana çıkması gerektiğinin analiz edilmesi gelir. Bu sebeple su altında yapı tasarımı ilkelerini belirleyecek olan doğal zorunlulukları tanımlayarak, buna yanıt olarak klasik mimari tasarımcı bilgi birikimine ve reflekslerine neler katılması gerektiğinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

Su altı dünyasının insan doğasına aykırı fiziksel şartlara sahip bir evren olmasına rağmen, gizemli olanın her zaman ilgi çekici olduğu insan doğasında daha ağır basmaktadır. İlgi çekenin daha fazla keşfedebilmek için de zamana ihtiyacımız

vardır. Tezin amacı günümüzde giderek artan bir ivmeyle tüm dünya denizlerinde görülmeye başlanan bölümsel ya da bütüncül su altı yapılarına dikkati çekmek ve bu konuda mimari tasarım etkinliğinde bulunabilmek için bir mimarın sahip olması gereken temel bilgi birikimi ve tasarım yaklaşımları hakkında onları düşünmeye teşvik etmektir.

1.3 Hipotez

Günümüzde restoran ve otel örnekleriyle su altı yapılaşması hayal olmaktan çıkıp çarpıcı bir gerçeğe dönüşmüştür. Bu tez gelecek nesillerde su altı yapılaşmasının bina ölçeğinden çıkıp su altı şehirlerine ve yaşam merkezlerine kadar gelişmesinin mümkün olabileceği düşüncesini desteklemektedir. Mimarın bu etkinlikte önemli bir yeri olacaktır. Ancak ne mimarlar ne de mimarlık okulları bu sıra dışı göreve hazırdır. Bu nedenle mimarların bu etkinliklerin içinde olabilmeleri için disiplinler arası ilişkiler artmalı ve bu alanda çalışacak mimarların sahip olmaları gereken bilgi birikimi ve kullanacakları tasarım yaklaşımları belirlenmelidir. Ayrıca bu birikim mimarlık okulları müfredatına en azından seçme derslerle girmek zorundadır. Aksi takdirde su altında bina tasarımı bir mühendislik etkinliği olarak kalacak ve mimarlar yetersiz bilgileri nedeniyle bu etkinliğe dahil olamayacak ya da bu katılım çok sınırlı olacaktır.

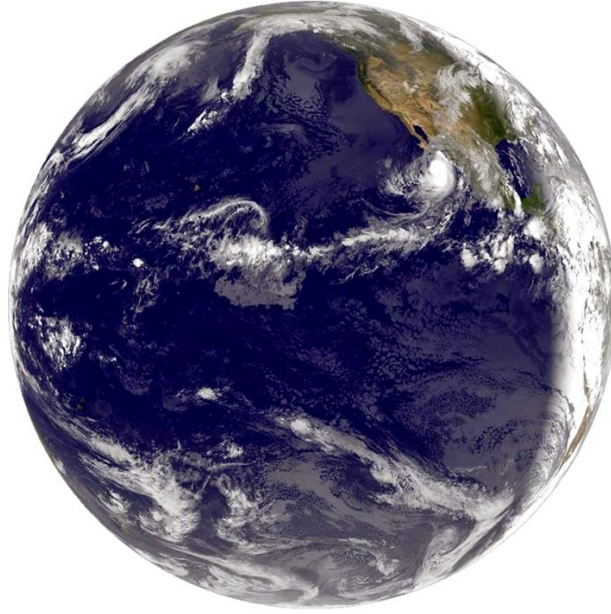
2

Suyun İnsanlara Sağladığı Faydalar ve Barındırdığı Potansiyeller

“Çok açık bir şekilde okyanus olarak görünmesine rağmen, ana gezegenimize yeryüzü dememiz ne kadar garip.”

Arthur C. Clark

NASA bilim adamlarının ilk olarak 1972 yılında aydan çektikleri dünya fotoğrafına [1] “The Blue Marble” adını vermeleri Clark’ın söylemini destekler niteliktedir.



Şekil 2.1 "The Blue Marble" Pasifik Okyanusu [2]

Theodor Schwenk suyun tanımını yaparak hayati öneminden şu şekilde bahsetmiştir [3]: “Su, sonsuza dek bütün varyasyonlarında hayata eşlik eden temel melodidir. Hiç tükenmeden, katı toprağı güçlendirmeyi, öğretmeyi, tahrip etmeyi ve aynı zamanda başka bir yerde yeniden inşa etmeyi, yeniden yaratmayı, yaşam için hazırlanmayı sağlar. Bu nedenle su, her türlü metabolizmadaki maddelerin büyük değiştiricisi ve dönüştürücüsüdür.”

Yaşam, evrim ölçeğinin tüm spektrumundan organizmalarla birbirine bağımlı ekolojik döngü olarak var olur. Bizim beslenmemiz ve bunun sürekliliği, denizin planktonuna kadar bağlıdır. Deniz bir yaşam besini gibidir ve tüm yaşam ondan beslenmektedir. Su, denizin temel kurucusudur, bir sonraki ise binde otuz iki ile otuz beşlik kısımla tuzdur. Su ve tuz dışında kalan tüm elementler küçük miktarlarda bulunurlar. 1950'lerde, hayatın yapı taşları, deoksiribonükleik asit (DNA) ve ribonükleik asit (RNA), elektrikle yüklü simüle edilmiş bir primal deniz suyu atmosferinde yeniden yaratılmıştır. Bu moleküllerin iki aksenel formu, tekrarlayan sıvı hareketi modelini yaşamın kuşakları olarak özetlemektedir [4].

Su, maddenin katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç fazında doğal olarak bulunan tek elementtir. Dünya alanının 365.656.200 km²'sini su, 141.180.000 km²'sini kara parçaları kapsamaktadır [5]. Bu sayısal veriler oranlandığında suyun dünyanın yüzde yetmişinden fazlasını kapsadığı görülmektedir. Su kütlesinin çoğunluğunu okyanuslar oluşturur ve bu okyanuslar birleşik bir su kütlesidir. Bu nedenle su ile kurulan etkileşim bölgesel bir olgu değil, küresel çapta ele alınması gereken bir yaklaşımdır. Bu küresellik yeryüzündeki canlıların yaşam döngüsü üzerinde bütünlük kavramını ideal kılmaktadır.

Su hayattır ve her canlı doğrudan ya da dolaylı bir şekilde okyanuslara, denizlere, nehirlere ve göllere bağlıdır. Bu bağlılık sadece su için değil, yiyecek, ulaşım, güç, sağlık ve rekreasyon için de gereklidir. İnsanlar olarak, bizi çevreleyen su ile ilişkimiz karmaşıktır. Su ortamlarında ve çevresinde yaşayan canlılarda güzellik ve mucize bulduğumuz gibi, çoğu zaman sadece su yüzeyine bakmamız dahi yeterli olabilmektedir. Aynı zamanda su kaynaklarını kontrol etmeye ve onlardan yararlanmaya çalıştığımız gerçeği, su dünyasıyla olan bağlantımızın günümüzde ve gelecekte inkar edilemez kritik bir öneme sahip olduğunu göstermektedir [5].

Okyanuslarda sınırsız enerji rezervleri ve gıda maddelerinin sonsuz kaynağı bulunmaktadır. Şehir planlamacıları, mimarlar, bilim adamları, mucitler ve bireyler yaşamak için bir yer olarak suyun ütöpik alemlerini keşfetmeye başlamışlardır. Günümüze kadar bütün medeniyetlerin gelişmesi ya da basit bir yaşam sürmesi öncelikle suya bağlıydı. İlk olarak, nehirler gezilebilir uzunlukları boyunca yerleşimler tarafından işgal edilmiştir. Daha sonra iç denizler, ticari taşıma ve

kolonizasyon için güvenli bölgeler olarak kullanılmaya başlanmıştır. Son olarak okyanuslar, keşiflerle popülasyonların genişlemesi ve kıtalar arası ticaret için kullanılmıştır. Suyun hayati önemi tarihin erken döneminde önemli mühendislik örnekleriyle başlamıştır. Diğer yandan su, sembolik anlamlarıyla mitoloji, din ve kültürlerin ritüellerinde önemli bir rol oynamıştır [6].

Moore and J. Lidz'in dediği gibi [7]; "tüm yaşam suya bağlıdır; hiçbir şey onun etkisinden kaçamaz ve onsuz yaşayamaz." Su, ekolojik felakete rağmen hayatın kaynağını temsil eder. Bu ekolojik felaketler başlığı altında birdenbire yükselen su seviyesiyle kıyı alanlarından dünyanın dört bir yanına dağılmak zorunda kalan insanların hikayesi olan, Karadeniz Tufanı teorisi ele alınabilir.

1998'de, Columbia Üniversitesi'nden jeologlar olan Dr. William B. F. Ryan ve Dr. Walter C. Pitman, M.Ö. 5600'de Buzul Çağı'nın bitimiyle eriyen buzulların Akdeniz su seviyesini yükselterek Boğaziçi'nden büyük bir selin gelmesine neden olduğuna dair kanıtlar yayımlamışlardır. Yapılan derinlik ölçümleriyle Akdeniz'den Karadeniz'e su geçişinin hızlı bir şekilde gerçekleşerek bir yıldan daha kısa bir sürede 60.000 km²'lik kara parçasının su altında kaldığı sonucuna varılmıştır. Bu hızlı geçiş daha sonra Pitman tarafından Niagara Şelalesi'nin dört yüz katı bir kuvvetle su geçişi olduğu şeklinde tanımlanmıştır. Tufandan sonra Karadeniz kıyı şeridi kuzeye ve batıya doğru büyüyerek (Şekil 2.2), kapladığı alanda %30'luk bir genişleme meydana gelmiştir [8].



Şekil 2.2 Tufan öncesi ve sonrası Karadeniz'in sınırları [9]

Ryan ve Pitman, topraklarından taşkınlarla sürüklenen insanların tarımın Avrupa'ya yayılmasından, Anadolu ve Mezopotamya'da ilerlemesinden sorumlu olduğunu iddia etmektedirler. Teorilerini savunurken Karadeniz'in sel öncesi tarihine işaret ederek, denizin ani yükselişi ile Avrupa'daki ve başka yerlerdeki

kültürel değişimler arasında bir bağlantı olduğunu sağlam bir zeminle öne sürmektedirler. Bu kültürel değişimler, Karadeniz sularının yükselişiyile aynı zamanda meydana gelmiştir [8].

Yazar Ö. Öztürk makalesinde tufan olayının sonuçlarını şu şekilde özetlemiştir [10]: “Ryan ve Pitman’in hesaplarına göre su seviyesi günde on beş santimetre yükselirken, Karadeniz’in kuzeyindeki düzlük alanlarda yaşayanların hayatta kalabilmesi için günde en az bir kilometre geri çekilmesi gerekmektedir. Kuzey Anadolu’da yaşayanlar ise arazinin eğimi ve yüksekliği sebebiyle nispeten daha şanslıydı. Selin hızı, evlerin boşaltılması ve insanların bölgeyi terk etmesi için çok az zaman bırakılmaktaydı.”

Su altı araştırmacısı Bob Ballard ekibiyle birlikte 2000 yılında Sinop açıklarındaki antik kıyı şeridinde yaptığı çalışmalarda, deniz yüzeyinin yaklaşık yüz metre altında binlerce yıl öncesinde yaşayan insanlara ait eşyaların tufandan sonra denizin altında zarar görmeden kalmış olduğunu tespit ettiklerini National Geographic dergisinde yayımlamıştır.

Bu durum Karadeniz tufanı öncesinde var olan sahillerde insanların yaşadığının kanıtı olarak gösterilmektedir. İnsanlık var olduğundan beri suya yakın olma isteğinden tufanlar, seller, baskınlar olsa dahi vazgeçmemektedir. Suyun yıkıcı etkilerine rağmen üretken etkilerini arttırmak ve bu etkilerden faydalanmak için suya yakın konumda yaşanarak ortaya çıkan felaket ve mücadele örneklerine tarihte sıkça karşılaşılmaktadır. Bu mücadele dünya çapında başka bir doğal afet örneği olan tsunami için de verilmiştir.

1896 yılında Japonya’da gerçekleşen “Büyük Meiji Tsunamisi” afetinin yaklaşık yirmi iki bin kişinin ölümüne neden olmasıyla, Japonların yaptıkları yardım çağrısında geçen “tsunami” kelimesi, o tarihten sonra birçok dilde aynı isim ile kullanılmaya başlanmıştır [11].

Tsunamiler depremlerle tetiklenebilen zemin hareketleri, heyelanlar, kayma, göçme, çökme gibi olaylar ile oluşabilmektedir. Bu dalgalar kıyı batimetrisindeki değişimle birlikte iç kısımlara doğru ilerleyerek büyük hasarlara neden olurlar. Tsunamiler özellikle kıyı çizgisindeki tırmanma bölgesinde daha etkili olduğundan

kıyılarda şiddetli akıntılar ve su seviyesi değişimleri gerçekleşir. Bu nedenle tırmanma yüksekliğinin önceden tahmin edilebilmesi kıyı yapılarının boyutlandırılması açısından önemli rol oynamaktadır [12].

Moore ve Lidz' in dediği gibi: “Çeşmeler, nehirler, havuzlar ve okyanuslar mimarlık ve suyun ilişki kurduğu yollardır.” İnsanlar tarih öncesi çağlardan beri su ile bağlantılı şekilde yaşayıp çalışmaktadırlar. Bütün tarih boyunca kasaba ve şehirlerde önemli kentsel alanlar çeşmeler ile tanımlanmıştır. Bunun yanında nehirler ve insan yapımı kanallar iletişim, bağlantılı şehirler ve imparatorluklar için kullanılmıştır. Ayrıca su, bir tasarım ögesi olarak doğal su birikintilerinin yokluğunda yapay havuzlar inşa edilerek, mimarlar ve şehir planlamacıları tarafından kullanılan bir öge olmuştur [7].

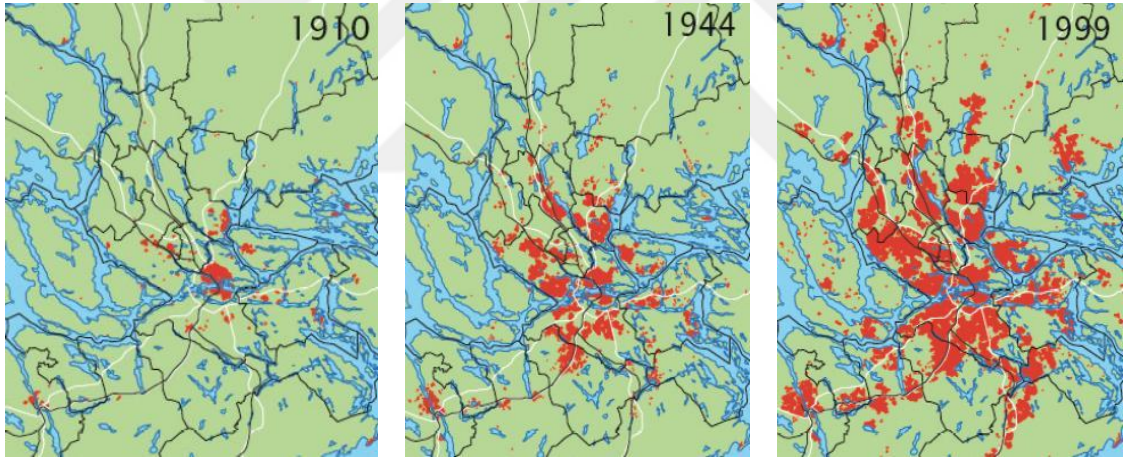
Birleşmiş Milletler Nüfus Fonu 2010 verilerine göre dünyadaki yirmi beş büyük nüfus yoğunluklu şehirden yirmi biri okyanus, deniz veya nehir kıyısında kurulmuştur. Yani, insanoğlu su ve kara arasındaki sınırlarda yaşamayı tercih etmiştir. Çeşitli nüfus yoğunluğu haritalarında görüldüğü gibi su ve kara arasındaki sınırların yaklaşık olarak %84 oranla tercih edilen yaşam alanı olduğu kabul edilmektedir [13].



Şekil 2.3 Venedik hava fotoğrafı, (NASA, 2001)

Su, dünyanın belli başlı şehirlerinin çoğunu tanımlar. Örneğin; Hong Kong, limanı olmasaydı asla kolonileştirilemezdi. Londra, Thames Nehri ile suyun sağladığı avantajlara sahip olurken, Venedik ise yaratıcılığını kullanarak su üstünde yaptığı yerleşimlerle (Şekil 2.3), bir zamanlar büyük bir ticaret ağını sürdürdüğü için başarılı olmuş dünyaca ünlü şehirlerdendir [14].

Bir başka başarılı su kenti örneği ise, mevcut takımadaları üzerinde yerleşim yerleri inşa ederek gelişmiş olan Stockholm'dur. Stockholm'ün yeryüzü alanının yaklaşık üçte biri kentsel alan, üçte biri su ve kalan üçte biri yeşil alandır. Stockholm, şehri birbirine bağlayan elli yedi köprüyle on dört adaya yayılmıştır [15]. Stockholm takımadaları 13. yüzyıldan beri coğrafi konumunun verdiği avantajlarla hızla gelişerek ekonominin merkezi haline gelmiştir. Adalara ve kanallara yayılmış olmasıyla Kuzeyin Venediği olarak da bilinen kentin, 1910-1999 yılları arasındaki yerleşim yoğunluğu gelişimini gösteren planlar Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2.4 Stockholm 1910-1999 yılları arası yerleşim yoğunluğu [15]

Batı Avrupa ve Hollanda'da 17. yüzyıldan itibaren insanlar, ahşap tekne ve gemilerde yaşamaya başlamışlardır. Çelik gemiler 19. yüzyılın sonunda kargo gemisi olarak kullanıma girdikten sonra ahşap gemiler, çelik gemilerle rekabet edememiş ve çelik gemiler ahşap gemilerin yerini almıştır. Bu yüzden birçok ahşap gemi işe yaramaz hale gelmiş ve bu gemilere yüzen tekne evler olarak yeniden hayat verilmiştir [16].



Şekil 2.5 Amsterdam yüzen tekne evler (G. Gündoğan, 2018)

Su, kenti tanımlayan önemli bir unsurdur. Dünya üzerinde önemli yerleşim alanlarına baktığımız zaman mutlaka kentin su ile ilişkisi olduğunu görmekteyiz. Su ile kurulan fiziksel ya da görsel temas esaslı bu ilişki, doğal veya yapay su birikintileriyle sağlanabilmektedir. Su, tarihsel süreci içinde yol olarak kullanılarak keşiflerin sağlanması, farklı metabolizmalar için yaşam alanı oluşturması ve enerji üretmesinin yanında günümüzde insanların yaşama alanı olma potansiyelini taşımaktadır. Okyanuslarda su altı çalışmaları keşfedilmemiş canlılarla ilgili araştırmalar yapmak için faydalı olduğu gibi askeri amaçlar ve madencilik sektörü için de fayda sağlamıştır.

Şimdiye kadar su, tasarlanan yapıların farklı şekillerde parçası olmuştur. Burchard ve Flesche'ye göre su kullanımının sınıflandırılmasına karşı olası yaklaşımlar [17]; “suyun içinde kazıklar üzerinde inşa edilen sabit yapılar, yüzer yapılar, su altı yapıları ve buzdan yapılan yapılar” olarak sınıflandırılmıştır. Günümüze kadar su altı yapıları dışında diğer yaklaşımlar mimarlar tarafından yaygın bir biçimde incelenmiştir.

2.1 Su Üzerinde İnşa edilmiş İlkel Yapılar ve Yerleşimler

Çağımızda, yaşamın kökeni olan su, doğa ile simbiyotik bir ilişki içinde yaşama hayalini, karada mümkün olandan çok daha yakın olarak sembolize etmektedir. Okyanuslar ihtiyacımız olan gıda maddelerini bize sağlayabilecek geniş bir kaynağa sahiptir. Mallar, inşa edilmemesi veya bakımı yapılmaması gereken bir su yolu ağı boyunca taşınabilmektedir. Yüz binlerce insanın yaşadığı meskenler, yerleşimler ve şehirler zaten tahtadan inşa edilmiştir [17].

Antik Tarihte Güneydoğu Asya'nın birçok ülkesinde insanlar su üzerinde binlerce yıldan fazla yaşadılar. Yaşam şekilleri köy gibi küçük topluluklar halinde gerçekleştirildiği gibi, büyük yüzen topluluklardan da örnekler görmek mümkündür. Bu örneklerden bazıları Kamboçya, Vietnam, Tayland, Endonezya ve Çin'de bulunmaktadır. Kamboçya'da bulunan yüzen evlerin kazıklar üzerinde inşa edilen sabit yapılar olarak görünmesinin yanında (Şekil 2.6), Çin'de bulunan yüzen köyler çoğunlukla küçük teknelerden oluşmaktadır [16].

Make Davis "Gecekondu Gezegeni" adlı kitabında Hong Kong bölgesi için şöyle demiştir [18]: "Yüzen gecekondu Güneydoğu Asya'da hala yaygın olsa da Hong Kong'da hızla yok oluyor; genelde Han'ın çoğunluğu tarafından hakir görülen Tanka ve Hakka halklarının ikamet ettiği tekne evler eskiden Taç Kolonisi'ndeki konutların yüzde onunu oluşturmaktaydı."



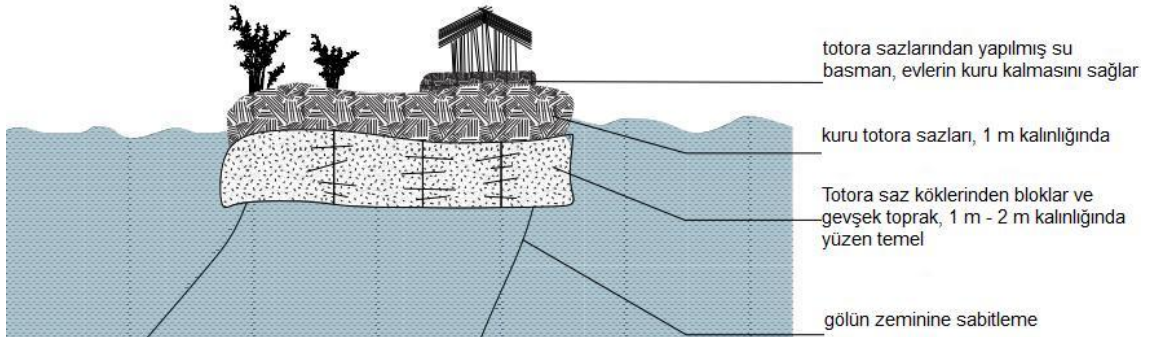
Şekil 2.6 Kamboçya, Tonle Sap Gölü yüzen evler [19]

Peru ve Bolivya sınırında bulunan yüksek rakımlı Titicaca Gölü üzerinde yaşayan Uros yerlileri yüzyıllar önce inşa ettikleri ilkel yerleşim yapıları geleneklerini halen devam ettirmektedirler. Uros yerlileri totora adı verilen sazlıklardan yaptıkları adacıklar üzerinde, yine totora sazlıklarıyla yaptıkları ilkel yapılar içinde yaşamaktadırlar. İnka kabilesinin saldırılarına karşı kendilerini savunabilmek amacıyla gölün üzerinde yaşamaya başlayan Uros yerlileri, günümüzde geleneksel tutumunu sürdürerek karada yaşamak istemeyip, kendi yüzer adalarında yerleşim birimleri oluşturmaya devam etmektedirler [20].



Şekil 2.7 Peru, Uros adası [21]

Titicaca gölü üzerinde bulunan her ada genellikle yaklaşık beş aileye ev sahipliği yaparken, otuz metre genişliğe sahip küçük adalar ise iki-üç aileye ev sahipliği yapmaktadır. Uros halkı adalarını inşa etmek için totora sazlarının toprak kök tabanını toplamaktadır. Bu şekilde köklerle özensiz şekilde duran toprak arasında sıkışan hava sayesinde yüzer adalar inşa edilmektedir. Bu kök-toprak bloklar dikdörtgen şeklinde parçalanır ve yüzer adanın tabanını oluşturmak için büyük kazıklarla birbirine kenetlenirler. Adanın bu ilk katmanı yaklaşık bir-iki metre kalınlığındadır ve yüzer temel olarak işlev görmektedir. İlk katman ya gölün dibine ya da başka bir komşu adaya bağlanarak sabitlenmektedir. İkinci katman, kesilmiş totora sazlıklarından yapılmıştır ve yaklaşık bir metre kalınlığındadır. Bu katman, gölün su seviyesini aşan, yüksek derecede esnek süngerimsi yapıdadır ve çoğunlukla kuru bir yüzey sağlamaktadır [22].



Şekil 2.8 Peru, Uros adası kesiti [22]

Zamanla sazların su ile temasta olan bölümlerinde çürümeler oluşurken, su ile temas etmeyen bölümleri ise güneşe maruz kaldıklarından dolayı kuruyarak bozulmaktadırlar. Uros halkı, adanın yüzdürülebilirliğini sağlamak için düzenli olarak yeni sazlar (mevsime bağlı olarak her bir-iki ayda bir) ekleyerek çürüyen kısımları değiştirmek zorundadırlar. İyi korunmuş bir yüzer ada 15-20 sene boyunca kullanılabilir [22].

Yüzen toplulukların medeniyetin kendisine kadar eski zamanlara dayandığı görünmektedir. Sümer imparatorluğunun zamanında yaklaşık 5000 yıl öncesine dayanan çanak çömlek gravürleri, Mezopotamya'nın en eski yerleşim yerlerinden bazılarının, nehirler arasındaki topraklar olarak tanımlanan, Dicle ve Fırat nehirlerinin ağzındaki sulak alanlarda yüzer sazlık adalara inşa edildiğini göstermektedir. Günümüzde bu toplulukların bazılarının son derece iyi yalıtılmış sulak alanlarda, günümüzün Irak ve İran'ını sınırlayan bir bölgede, geleneksel yüzer evlerinde yaşadıklarından bahsedilmektedir [23].



Şekil 2.9 Irak, Mezopotamya yüzen kamış evleri [23]

Bataklık Arapları olarak bilinen topluluk, Irak'ın güneyinde bulunan ve yüzen evleriyle meşhur "Cennet Bahçesi" adı verilen sulak bir alanda yaşamaktadırlar. Üzerine inşa edilen platform da dahil olmak üzere üç günden kısa sürede çivisiz, tahtasız ve camsız olarak sadece çamurdan ve kamıştan inşa edilen bu evlere "mudhif" adı verilmektedir (Şekil 2.9). Günümüzde yarım milyon Bataklık

Arabından sadece bin altı yüzünün hala geleneksel evlerinde yaşamaya devam ettikleri tahmin edilmektedir [24].

Batı Afrika'da bulunan Nijerya'nın Logos şehri ülkenin ekonomi ve ticaret merkezi olmasıyla birlikte aynı zamanda Afrika kıtasının en büyük ikinci şehri olarak da bilinmektedir.

Afrika kentlerinde, otoyollara ve lüks sitelere yer açmak için insanların göçe zorlanmış olduğu durumlarla karşılaşmıştır. Bunların içinde en büyük olanı 1990'da Lagos'ta gerçekleştirilen yıkım çalışmalarıdır. Bu yıkım sonucunda evsiz kalan yaklaşık üç yüz bin kişiye alternatif yaşam alanı önerilmediği için Makoko mahallesi sakinleri su üzerinde kaçak evler inşa ederek yaşamlarını sürdürmeye devam etmektedirler. Makoko mahallesi (Şekil 2.10) dünyanın en büyük yüzen gecekondular mahallesi olarak bilinmektedir [18].



Şekil 2.10 Lagos, Makoko mahallesi hava fotoğrafı [25]



Şekil 2.11 Lagos, Makoko mahallesi yüzen gecekondular (Reuters) [26]



Şekil 2.12 Lagos, Makoko mahallesi [27]

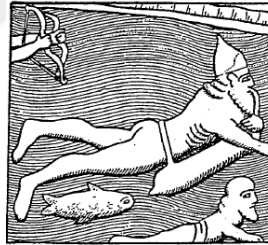
2.2 İnsan Yaşamının Su Altında Sürdürülebilmesi Denemeleri ve Kullanılan İkel Ekipmanlar

İnsanlar çok eski zamanlardan beri su altı ortamında çalışmakla ilgili sorunların üstesinden gelmeye çalışmışlardır. En erken zamanlarda bile, bu alandaki insanların çabalarının çoğu, okyanuslarda ve deniz yatağında bulunan kaynakları (inciler ve süngerler gibi) kullanma ihtiyacı ile ilgiliydi [28].

İnsanlığın yaratıcılığı, su altındayken nefes alamamadaki biyolojik yetersizliğin üstesinden gelmektedir. Tarih öncesi dönemde su, aynı zamanda erkeklerin koruyucusuydu ve onu en büyük avcısından yani diğer erkeklerin düşmanlığından koruyordu. Orta Doğu tarihinde, basit bir kamış ya da içi boş bir tüp içinden nefes alarak su altında gizlenmiş bir şekilde konumlanıp, ölümden kaçmanın yolunu bulmuş birçok örnekle karşılaşmaktadır. İşte bu şnorkelin kökeni olarak bilinmektedir. Maske ve şnorkel eski zamanlardan beri dalgıçların vazgeçilmez ekipmanı olmaya devam etmiştir. Yüzyıllar boyunca, dalgıç ekipmanlarının kurucu malzemesi olarak kullanılan tahta, teknoloji ile gelişerek, kauçuk ve metal ile yer değiştirmiştir [4].

İnsan yapısının %98'i sudan oluştuğu için, vücudumuz yaklaşık olarak deniz suyu kadar yoğundur. Akciğerler hava dolu olduğunda deniz suyundan daha hafif olmamıza neden olurlar ve bu durum su yüzeyi üzerinde kalabilmemizi sağlar. Doğal olarak gerçekleşen su üzerinde kalma durumuna karşı su altına inebilmek için önemli miktarda enerji harcanması gerekmektedir [4].

Dalgıçların en eski kayıtlarından bazıları Mezopotamya'da M.Ö. 4500'den başlamaktadır. Dalış için bu erken kanıtların çoğu, Mısır'daki Thebes'de (M.Ö. 3200) ve Çin'de (M.Ö. 2250) olduğu gibi incilerin elde edilmesiyle ilgilidir. Antik Çağ'da yaşamış İyonyalı ozan Homer, M.Ö. 1000 gibi erken bir tarihte en iyi ürünleri elde edebilmek için 22 metreden (70 fit) daha derinlere inen sünger dalgıçlarının faaliyetlerinden bahsetmiştir. Londra'daki British Museum'un Asurluların su altı yüzücüleri olduğunu gösterdiği iddia edilen M.Ö. 900 yıllarından kalma bir fresk bulunmaktadır (Şekil 2.13). Keçi derilerini daha çok yüzdürme yardımcıları olarak kullanarak su yüzeyinde yüzmelerine rağmen, aynı zamanda keçi derilerinden (belki de ilk dalış cihazı) hava soluyor gibi görünmektedirler [28].



Şekil 2.13 Su altı yüzücülerini tasvir eden fresk, M.Ö. 900 British Museum [28]

M.Ö. 332'de Aristoteles'in bir yazısına göre, denizlerde keşif için dalış çanı kullanılarak batık gemilerde hazine aranırdı. Aynı zamanda yazılarında Tyre savaşında Büyük İskender tarafından bir dalış çanı kullanıldığından da bahsetmiştir. Büyük İskender, bir fıçı içinde su altına inmiş olması nedeniyle genellikle erken dönem dalış çanının öncüsü olarak kabul edilmektedir [4]. Dalış çanı, suya daldırıldığında içindeki havayı muhafaza etmeye yarayan ağız geniş ters çevrilmiş bir fıçı şeklindeki ilkel bir ekipmandır.

İnci ve sünger dalgıçları, dalışların verimliliğini arttırmak için, bir taş yardımıyla dalış yaparak su tabanına iniş zamanını ve harcamaları gereken enerjiyi en aza

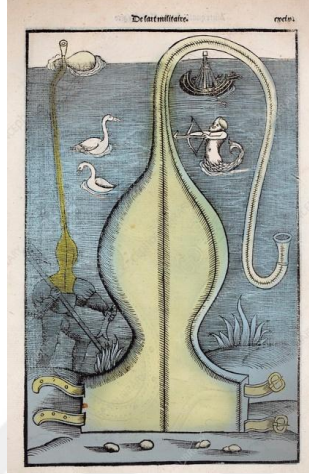
indirmeyi keşfetmişlerdir. Bu yöntemle kendi ağırlıklarını dengeleyen bir kaynak bulmuş olup, su altında geçirdikleri süreyi daha verimli bir şekilde kullanabilmişlerdir. Genel olarak, dalgıç ve aletlerinin sudan daha hafif olması, balans ağırlıkları ile yüzeye zahmetsizce çıkabilmelerini sağlamıştır. Bu, dalgıcın herhangi bir su derinliğinde nötr sapmayı koruyabildiği modern sapma kompansatörünün öncüsüdür. İlerleyen dönemlerde su altında hava rezervini muhafaza edebilmek için membranlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu sayede nefes alarak su altında daha uzun süre kalabilmeyi başarmışlardır. Dalış teknolojisi bu noktaya ulaştıktan sonra, keşfedilen ekipmanlar batıklardan değerli eşyaları kurtarmak ya da savaşta askeri ataklar yapmak için kullanılmaya başlanmıştır [4].

Leonardo da Vinci, uzun deri tüplerden hava ile gelen dalış kasklarını gösteren, dalış teknolojisinin öncüleri arasındadır [28]. Leonardo'nun su altı solunum cihazı tasarımı, deri ile birleştirilmiş kamış tüplerden ve su basıncı ile ezilmelerini önleyen çelik halkalardan oluşmaktadır. Tüplerin bir ucu yüz maskesine, diğer ucu tüplerin açıklıklarını suyun üzerinde tutmak için çan şeklindeki bir şamandıraya bağlıdır. Dalgıç kıyafeti temel olarak domuz derisi, bambu tüpler ve mantar şamandırası kullanılarak tasarlanmıştır ve dalgıç Jacquie Cozens tarafından test edilen sistem sığ sularda başarılı şekilde çalışmıştır. Dalış kıyafetleri için yapılan diğer çizimler, havanın depolanmasını sağlayan, deriden yapılmış şarap tulumu içerirdi ve böylece dalgıcın daha uzun süre su altında kalmasını sağlardı [29].



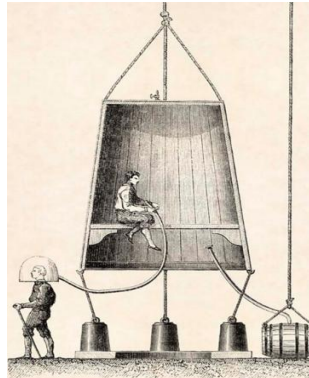
Şekil 2.14 Leonardo da Vinci'nin dalış aparatı çizimi (British Library 1478-1518) [29], model çalışması [30] ve Cincinnati Sanat Müzesi'nde sergilenen kopyası

Vegetious'un, 1532'de tasarladığı dalış kaskı Şekil 2.15'te gösterilmiştir. Çiziminde, kafasından yüzeye bir tüp çıkan, muhtemelen dikişli deri kask içinde olan bir dalgıç bulunmaktadır [28]. Bu dalış kaskı çizimi, su altını temsil etmek için kullanılmış çok nadir bir ortaçağ gravür örneğidir [31].



Şekil 2.15 Vegetius'un ortaçağ dalış kaskı [31]

1650'lerde, Peder Schott, dalış çanı konseptinden uyarlanmış bir erken dalış kıyafeti olan bir düzenek tasarlamıştır. Demir desteklerle tutturulmuş ve dalgıcın omuzlarına bağlanmış bir ters deri kovası, göz hizasında ayarlanmış küçük dairesel cam pencerelere sahiptir. Ancak bu sistem dalgıcın hantal olmasına neden olduğu için manevralarda zorluk çıkarmıştır [32]. 1690 yılında İngiliz mucit Edmond Halley hantal olan sistemi geliştirerek daha kullanışlı bir dalış çanı tasarlamıştır. Dalış çanını ağırlıklar yardımıyla batık durumda tutarak, dalgıçlara verilen havanın tazelenmesini sağlayan, su altında hareket kabiliyetini arttıran bir sistem olarak Şekil 2.16'da görünmektedir [33].



Şekil 2.16 Edmond Halley dalış çanı, 1690 [33]

1819'da İngiltere'ye göç eden Alman enstrüman yapımcısı ve silah ustası Augustus Siebe, metal bir kask, dalgıcın belinin altına uzanan kanvas elbise, ağırlıklı kemer ve ayakkabılardan oluşan açık dalış elbisesini geliştirmiştir. Bu sistemde dalgıca pompa vasıtasıyla basınçlı hava sağlanmaktadır. 1837'ye gelindiğinde Siebe, dalgıcı tamamen kapatan dalış kıyafetini mükemmelleştirdi ve deniz yatağında büyük bir hareketlilik özgürlüğü sundu. Bu icatlar 1782'de Portsmouth Limanı'nda batmış olan Royal George gemisinin enkazından silahların kurtarılmasında kullanılmıştır [4].



Şekil 2.17 İlk kapalı dalış kaskının modeli, Patents Museum [34]

Modern dalgıç kıyafeti ve su geçirmez kıyafet (wet suit & dry suit) erken dönemlerde evrimleşmiştir. Günümüzde kıyafetler içinde sürüklenmiş hava kabarcıkları bulunan ve dalgıcı soğuk sudan izole eden neopren kauçuktan üretilmektedir. Wet suit, dalgıç derisiyle bilek, boyun, bel ve ayak bileklerindeki açıklıklardan az miktarda su almasına izin verir. Bu su, dalgıcın metabolizması tarafından ısıtılır, bu nedenle onu dalış kıyafeti cildinin dışındaki daha soğuk sudan izole eder. Dry suit su geçirmezdir ancak benzer konseptte cilt ile elbise arasındaki havanın yalıtım işlevi görmesine izin vermektedir [4].

Maden mühendisi Benoit Rouquayrol ve deniz subayı August Denayrouze, dalgıca hava sağlayan arkaya sarılı bir tank icat etmişlerdir. Bu tank içindeki hava supabı (regülatör) ile hava basıncını dalgıcın çevresiyle eşit tutmayı sağlamaktadır. Tank, dalgıç su altında kalırken, basınçlı havayı pompa ile yüzeyden ileten bir hava hortumu tarafından sıklıkla doldurularak çalışmaktadır [4].

1943 yılında sudaki hareketliliğin artmasıyla birlikte Komutan Jacques-Yves Cousteau ve Emile Gagnan aqualung'ı (dalış tüpü) icat etmişlerdir. İkinci Dünya Savaşı'na kadar istihdam edilen prensipler, aqualung'un gelişmesini sağlamıştır.

Basıncılı havanın bir regülatör tarafından sağlandığı metal bir tank olan aqualung, sığ suda iki saate kadar veya çok daha az zamanda 200 fit derinliğe kadar ticari ve askeri inişlere izin vermiştir. O dönemde ABD'de, spor amaçlı yapılan dalışlar güvenlik önlemleri nedeniyle 100 fit ile sınırlandırılmıştır [4]. Aqualung, bir çeşit dalış tüpünün icadı olarak kabul edilmektedir. Bu sistemle dalışlar su yüzeyinden tamamen bağımsız bir şekilde yapılmaya başlanarak özgür şartlarda su altı keşfi yapabilmeyi kapıları aralanmıştır.

2.3 Bir Yaşam ve Üretim Alanı Olarak “Su Altı”

Üretim alanı olarak su altından sağlanabilecek kaynaklar şu şekildedir [35]:

- Petrol ve gaz
- Kömür ve gaz hidratları içeren diğer hidrokarbonlar
- Kum ve çakıl
- Plaser mineralleri
- Fosforitler
- Polimetalik nodüller
- Polimetalik kabuklar
- Polimetalik sülfidler
- Çözünmüş katı maddeler
- Tuzdan arındırılmış deniz suyu
- Yenilenebilir enerji (OTEC, dalga ve gelgit gücü)
- Farmasötik maddeler
- Kaynak olarak deniz alanı (eğlence ve rekreasyon)

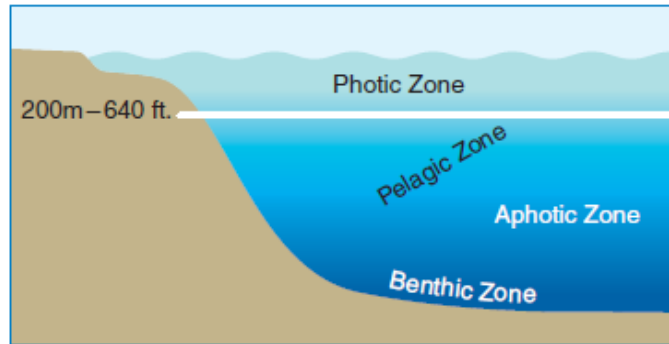
OTEC (Okyanus Termal Enerji Dönüşümü) ılık yüzey suyu ve soğuk derin deniz suyu arasında doğal olarak oluşan sıcaklık farklarını kullanan bir enerji dönüşümü yöntemidir. İlk olarak 1881 yılında tanıtılan bu yöntem ilerleyen yıllarda geliştirilerek elektrik üretimi ve temiz su üretiminde kullanılmıştır. Ayrıca klima ve soğutma alanında kullanımı, kültür balıkçılığına izin vermesi vb. özellikleri bu yöntemin diğer avantajları arasındadır. OTEC sistemler, açık, kapalı ve hibrid sistemler olarak günümüzde kullanılmaktadır. Diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi yaygınlaşmamasının sebebi sadece oğlak ve yengeç dönenceleri arasında

(Ekvator'un 23° kuzeyi ve güneyi) kalan bölgelerin bu tip enerji üretimi için uygun olması ve yöntemin maliyetinin diğer yenilenebilir enerji yöntemlerine göre daha yüksek olmasıdır [36].

Tarih öncesi dönemden günümüze su altı dünyasını keşfetme nedenleri:

- İnci ve sünger arayışı
- Batık gemilerde hazine arayışı
- Askeri amaçlar
- Yiyecek arayışı
- Petrol ve doğalgaz gibi maden ve enerji kaynakları arayışı
- Bilimsel çalışmalar
- Ekolojik yaklaşımlar (Deniz tarımı)
- Merak duygusunun tetiklemesi
- Eğlence, spor ve turizm
- Konaklama ve statü belirleme

Okyanus, fotik bölge (photic zone) ve apotik bölge (aphotic zone) olmak üzere iki ana bölüme ayrılmaktadır (Şekil 2.18). Fotik bölge, yüzey ışık yoğunluğunun yüzde birinin mevcut olduğu derinlik olarak tanımlanır ve bu nedenle aydınlık bölge olarak bilinmektedir. Apotik bölge, okyanus yüzeyinin 200 metre altından itibaren başlar ve ışığın erişemeyeceği alanın oldukça altında olduğu için sürekli karanlık bölge olarak tanımlanmaktadır. Apotik bölge derin okyanusun %90'ından fazlasını oluştururken, fotik bölge dünyadaki yaşam için çok büyük bir öneme sahip olsa da, okyanusun nispeten küçük bir bölümünü temsil etmektedir [5].



Şekil 2.18 Okyanusun ana bölgeleri [5]

Yeryüzündeki suların büyük bölümünü okyanuslardaki derin sular oluşturur. Ancak binlerce metre derinlikteki okyanus sularındaki çalışma alanımız fotik bölge sınırları içindedir. Derin sularda yaşayan çok çeşitli canlı türleri olmasına rağmen, ışık yoğunluğunun ve makul basınç değerlerinin dikkate alınmasıyla yaşam birimleri için çalışma alanı olarak fotik bölgenin uygun olabileceği düşünülmektedir.



Koblick [37]: “Denizin içinde yaşamak ve bir parçası olmak, uzun zamandan beri insanların hayali olmuştur, belki de sadece uçma arzusundan sonra ikinci oldu.”

Teknolojinin gelişmesi alternatif yaşam mahalleri arayışını tetikliyor ve gelişen teknolojiyle artık günümüzde yer üstünde, yer altında, su üstünde olduğu kadar su altında da mimari mekanlar tasarlamak mümkündür. Su altı yerleşim yapıları, son yıllarda gelişip, mimari mekan anlayışına farklı bir boyut kazandırdığı için alternatif yaşam mahalleri arasında dikkat çekici bir noktadadır. Su altı yapılaşmaları denizlere ve okyanuslara kıyısı olan popüler yerleşim alanlarında uygulanabilir olmasıyla beraber, gözlerden uzak bir gölde ya da yapay su birikintileri içinde de özel mekanlar yaratılabilecek sıra dışı bir uygulamadır.

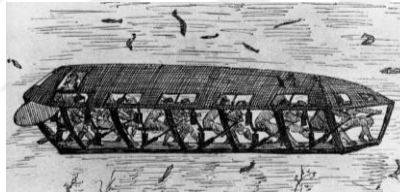
Su altı habitatları sanıldığı gibi modern zamanlarda ortaya çıkan bir konu değildir. Tarih öncesi zamana dayanan araştırmaya değer köklü bir geçmişi vardır. Eski zamanlardan beri, insanları harekete geçiren ve onları bir araya çeken görünmez dünyanın ilham verici etkisi su altı dünyasını gizemli kılmıştır. Su altında tasarlanan yaşam birimleriyle ilgili eski yıllardan örnekler görmemiz mümkündür fakat mimarların bu yerleşim alanına katkısı son yıllarda ortaya çıkmıştır.

Denizde yaşam alanı oluşturma yaklaşımına çözüm önerileri, antik çağlardan beri birçok kişinin zekasından ve endüstriyel gelişmelerden kaynaklanan bir dizi teknik yenilikle geliştirilmiştir. Gülü (dürtü), denizde yaşayan bir kültürü öne çıkaran yapısal form ve araçların çeşitliliği ile tezahür eden teknolojik olarak gelişen nesnelere tarihsel seyrinin anlaşılmasıyla kazanılabilmektedir. Böyle bir bakış açısı doğrulanamayan uzak efsaneler ve antik çağın tarihi ilanlarıyla başlamaktadır [4].

3.1 Denizaltılar ve Su Altı Araştırma Laboratuvarları

Dalış çanlarının icadından sonra su altı habitatları, kürekle çalışan bir prototipten, donanmalarda kullanılan denizaltı askeri araçlarına ve daha sonra su altı araştırma laboratuvarına kadar geliştirilmiştir. Bu bölümde gelişim sürecine yön veren örnekler kronolojik olarak ele alınmıştır.

İngiliz matematikçi William Bourne, 1570'li yıllarda bir denizaltı için bilinen en eski planlardan bazılarını hazırlamıştır. Ancak dünyanın ilk gerçekleştirilen prototipi, 17. yüzyılda, Hollandalı mucit olan Cornelius Drebbel tarafından hayata geçirilmiştir. Yağlanmış deri ile kaplanmış ve 12 kişilik kürekçi takımı tarafından idare edilmiş modifiye bir kayığa benzetilmektedir. 1620 yılında, Kral James ve binlerce şaşkın Londralı'nın şahitlik ettiği gösteri sırasında Thames Nehri'nin altına 15 metre dalmak için kullanılan Drebbel'in ne yazık ki hiçbir planı veya mühendislik çizimleri günümüze ulaşmamıştır. Bu nedenle "dalış teknesinin" gerçekte nasıl çalıştığı konusunda bazı tahminlerden başka bir kaynak bulunmamaktadır [38].



Şekil 3.1 Tahmin edilen Drebbel görseli [38]

1700'lerde, bir İngiliz gemi yazarı olan Day, 30 fit suya tahta bir tekne ile dalış denemesi yapmıştır. Yükseldiği zaman serbest bırakılmak üzere ağırlıklar kullanarak aşağıya indirilen tahta denizaltı ilk denemesinde başarılı olmuştur. O dönemlerde su basıncının derinlikle olan ilişkisi tam olarak keşfedilmediği için ikinci denemesini 132 fit derinliğinde yaparken denizaltı gövdesi çökmüş ve başarısız olmuştur [4].

1720 - Dünya denizcilik tarihinde önemli yere sahip olan Türk denizaltıcılığının ilk örneği 18. yüzyılın başlarına rastlamaktadır. İlk kez Raşit Metel'in dikkat çektiği Seyid Vehbi Hüseyin'in Surnamesi'ne verilen bilgiye göre; 1720 senesinde Osmanlı İmparatorluğu'nda Sultan III. Ahmed'in düzenlediği sünnet şenliklerinde tersane mimarbaşı İbrahim Efendi tarafından inşa edilen timsah şeklinde bir deniz aracı

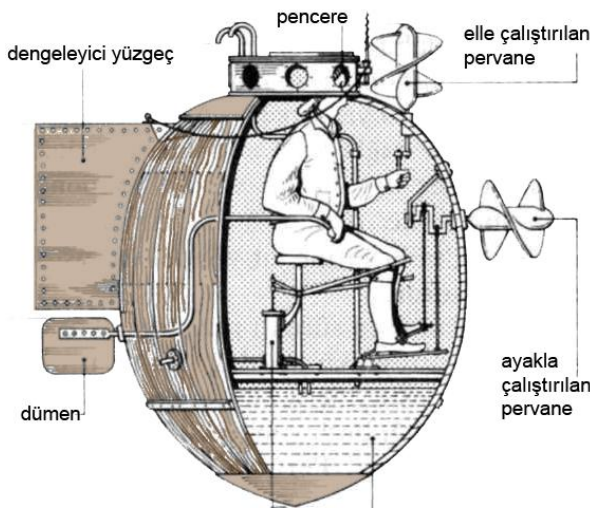
ortaya çıkmıştır [39]. “Tahtelbahir” isimli bu deniz aracı Lale Devri içinde eğlence ve gösteri için tasarlanmıştır. Denizaltı 4-5 kişilik olup denizde yüzebilen, ağzını açıp kapatarak su altına dalıp çıkan ve su altında saatlerce kalabilen bir araçtır [40].



Şekil 3.2 Tahtelbahir, ilk Osmanlı denizaltısı görseli [40]

Osmanlı İmparatorluğu 19. yüzyılda denizaltılarla tekrar ilgilenmeye başlamıştır. 1886’da Osmanlı Bahriyesi, silah olarak denizaltı gemisine ilk defa Sultan II. Abdülhamid döneminde sahip olmuştur. Başta İngiltere olmak üzere, dönemin denizlerdeki büyük güçlerinin denizaltılara gösterdiği sınırlı ilgiye rağmen, Osmanlı Bahriyesi çağın en yüksek teknolojisine sahip iki denizaltıyı Nordenfelt şirketinden ısmarlamıştır. Bu şekilde denizaltı dünya tarihinin ilk savaşçı denizaltısına Osmanlı Bahriyesi II. Abdülhamid döneminde sahip olmuştur [39].

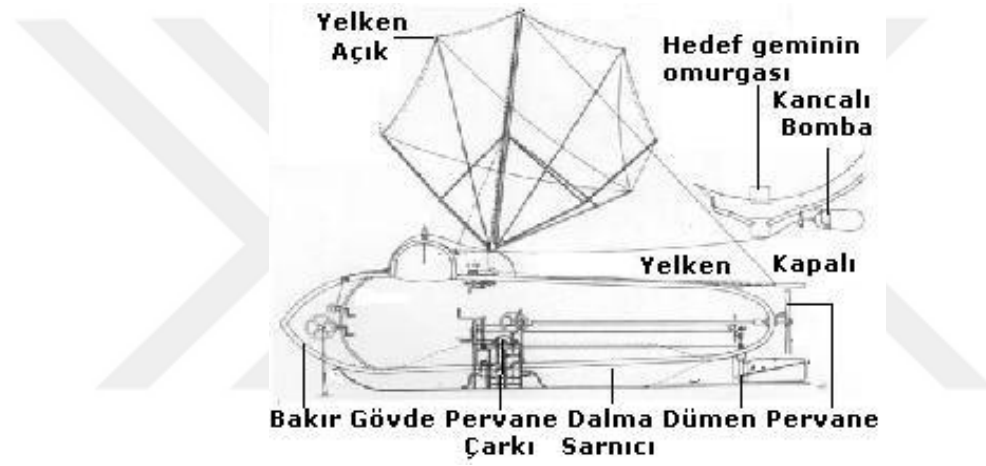
1775 - Amerikan Devrimi sırasında, Yale mezunu olan mucit David Bushnell, tarafından “Turtle” adı verilen ilk gerçek operasyonel tek kişilik denizaltı tasarlanmıştır. Bu tek kişilik ahşap denizaltı, insan gücüyle çalıştırılan iki adet pervaneye sahiptir. Pedalla çalışan su haznesi, suya batıp çıkmasını sağlamaktadır. Doğru şekilde çalıştırıldığında tespit edilmeden bir düşman gemisine yaklaşarak saldırıda bulunabilecek kapasite tasarlanmıştır [38].



Şekil 3.3 Turtle denizaltı kesit, görünüşü [41] ve müzede sergilenen modeli [42]

1776 tarihinde kıta ordusu askeri Ezra Lee, New York Limanı'ndaki İngiliz savaş gemisi HMS Eagle'ın altında Turtle'a pilotluk yaptığında tarihin ilk denizaltı saldırısını başlatmıştır [38].

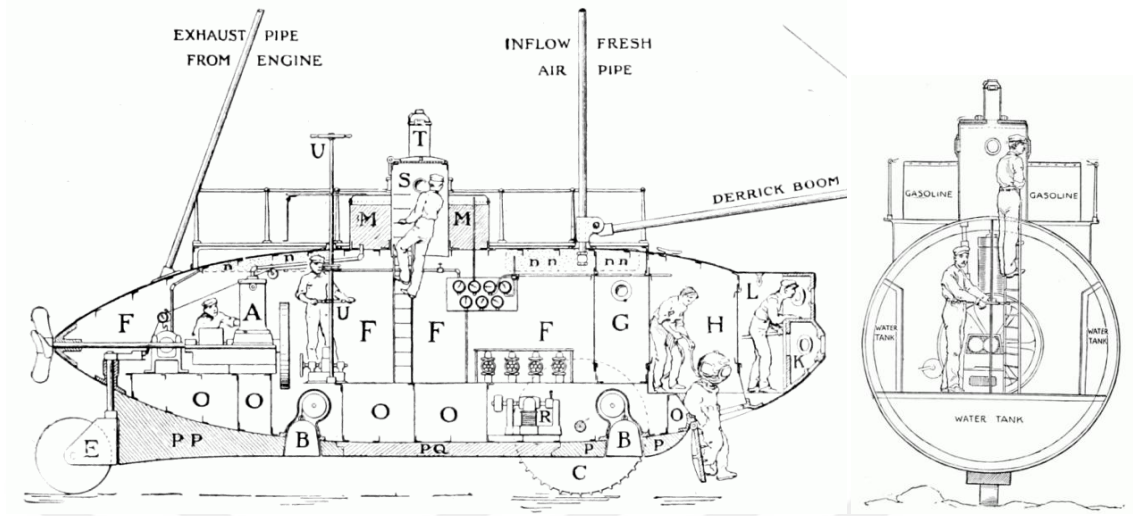
1800 – Amerikalı mucit Robert Fulton, çoğu zaman ilk modern denizaltı olarak adlandırılan, metal bir tekne görünümündeki Nautilus'u tasarlamıştır. 21 metrelik gemi, puro şeklindeki bir gövde ve bakır bir toplanma kulesi dahil olmak üzere birçok devrim niteliğinde yenilik içermekteydi. Su altında hareket etmek için elle çalışan, dört kanatlı bir pervane ve aynı zamanda su üstü hareketleri için katlanabilir bir direk ve yelken kullanılmıştır. Fulton ayrıca mürettebata oksijen sağlanması için bakır şişelerde basınçlı hava depolamayı denemiştir [38].



Şekil 3.4 Nautilus denizaltı bölümleri [43]

1897- Denizaltı teknolojisi, 19. yüzyılın sonlarına doğru hızla gelişmiştir. Ancak çoğu denizaltı teknesi hala kıyıya yakın kısa mesafeleri tamamlayabilmekteydi. Bu durum, Amerikan mühendis Simon Lake'in benzinli motorla çalışan 36 metrelik bir denizaltı olan Argonaut'u inşa etmesiyle 1897'de değişmiştir. Denizaltının en sıra dışı özelliği, deniz dibinde "sürülmesine" izin veren bir tekerlek düzeneğine sahip olmasıydı. Ayrıca bir periskop, dalış odası, 5 kişilik mürettebata ve makinelere hava sağlamak için yüzer borular bulundurmaktaydı. Lake, Argonaut'u başlangıçta sadece batık gemi enkazlarını kurtarmak için kullanmıştır. Ancak daha sonra 1898'de, bir denizaltı tarafından ilk açık deniz yolculuğunu gerçekleştirmiş olmasıyla da tarihe geçmiştir. Bu yolculukla Lake geniş çapta beğeni toplayarak "Denizler Altında Yirmi Bin Fersah" kitabının yazarı Jules Verne'den tebrik

mektubu almıştır. Daha sonra Lake ABD Donanması için düzinelerce su altı aracı geliştirerek 200'den fazla patent üretmiştir [38].



Şekil 3.5 Argonaut denizaltı kesitleri [44]

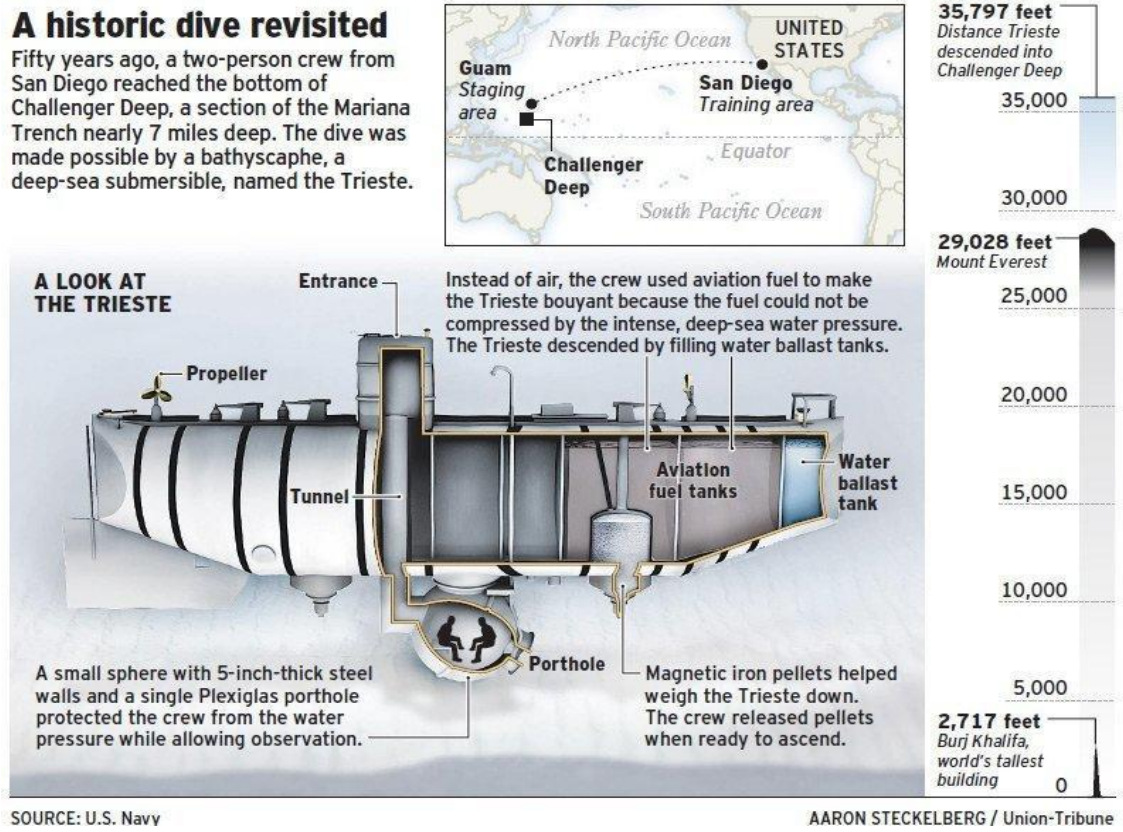
1930- New York Zooloji Derneği'nden iki araştırmacı olan William Beebe ve Otis Barton tarafından geliştirilen Bathysphere (Şekil 3.6), dalış küresi olarak da bilinmektedir. Bathysphere, denizaltı gözlemlerinde kullanılmak üzere, gemilerden çıkan bir kabloya asılan çelikten yapılmış, 5 fit çapında 4.500 kiloluk içi boş bir küre olarak tasarlanmıştır. 1930'da 400 metre derinliğe inerek başlayan denemeler, 1934'de 900 metre derinliklerine kadar ulaşmıştır [32].



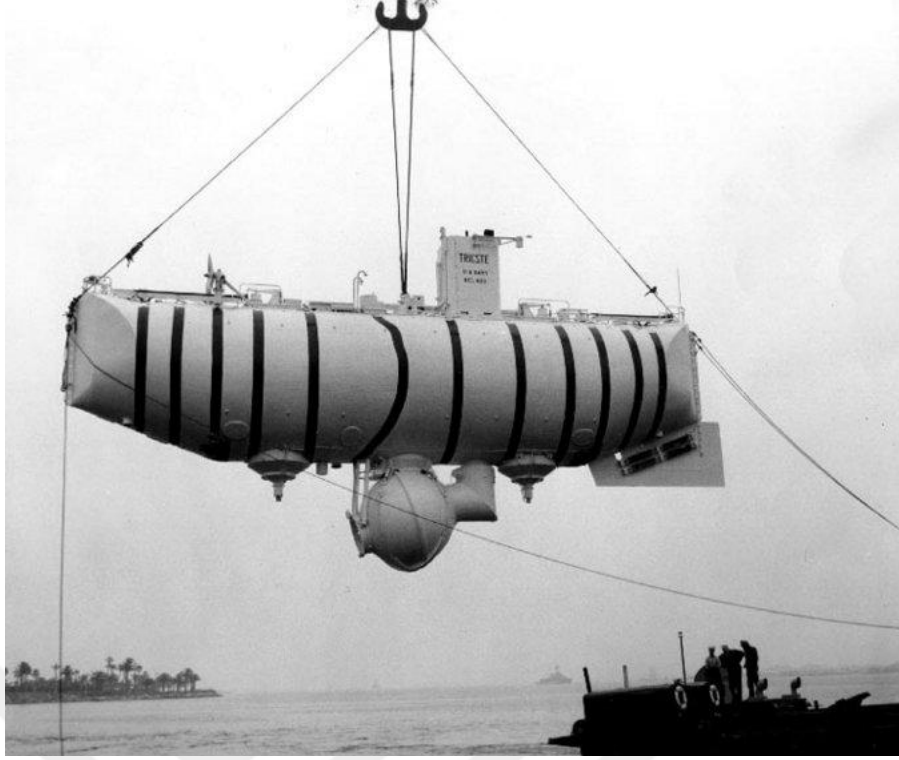
Şekil 3.6 Bathysphere'de William Beebe (Wildlife Conservation Society arşivi)

Su altı teknolojisi yapısal özelliklerinin tarihi gelişimi, İkinci Dünya Savaşı (1939 - 1945) sonrasında artan askeri faydaların belirginleşmesiyle ciddi bir şekilde genişlemiştir.

1953 - Belçikalı bilim adamı Auguste Piccard ve oğlu Jacques bazı denemelerden sonra "Trieste" adında bir bathyscaphe tasarlamıştır. Trieste, Akdeniz'de 10.330 fit derinliğe indikten sonra Piccar tarafından 1958'de ABD Deniz Kuvvetleri'ne satılmıştır. Trieste'nin ABD Donanması tarafından satın alınmasından sonra sudan çıkarılma anı Şekil 3.8'de görünmektedir. Trieste 1960'ta, Guam'daki Mariana Çukuru'nun altına dokunduğunda 35.800 fit'lik yeni bir dünya rekoru kırılmıştır [32].



Şekil 3.7 Trieste kesit ve görünüş görseli, U.S. Navy [45]



Şekil 3.8 Trieste 1958 [46]

Continental Shelf Station'ın kısa adı olan Conshelf, 1960'larda Jacques Yves Cousteau ekibi tarafından yürütülen bir dizi denizaltı yaşam ve araştırma istasyonudur. Tasarımın konseptinde, bu istasyonlardan beşinin, 10 yıl boyunca maksimum 300 metre (1.000 fit) derinliğe batırılması planlanmıştı, fakat gerçekte, maksimum 100 metre (330 fit) derinliğe inen sadece 3 habitat tamamlanabilmiştir [47].

1962 - Conshelf I, Marsilya'da 5 metre uzunluğunda ve 2,5 metre çapında çelik bir silindir olarak tasarlanmıştır. Basit bir forma sahip olan su altı habitatı 10 metre (35 fit) derinlikte, bir hafta boyunca iki kişiye ev ve laboratuvar olarak hizmet vermiştir [4].

1963 - Conshelf II, Kızıl Deniz'deki Sha'ab Rumi Resifi'nde çok yapılı bir yerleşim yeri olarak tasarlanmıştır. Silindirik odaların bir araya gelmesiyle oluşan habitatta 5 kişilik bir ekip 30 gün boyunca 10 metre (33 fit) derinlikte yaşamıştır [4]. Ayrıca ilk defa Conshelf II' de araştırmacılar solunumda normal azot/oksijen karışımı yerine helyum/oksijen karışımı olan gaz kullanarak, yüksek basınç altında tehdit oluşturan dekompresyon hastalığına karşı önlem almışlardır [47].

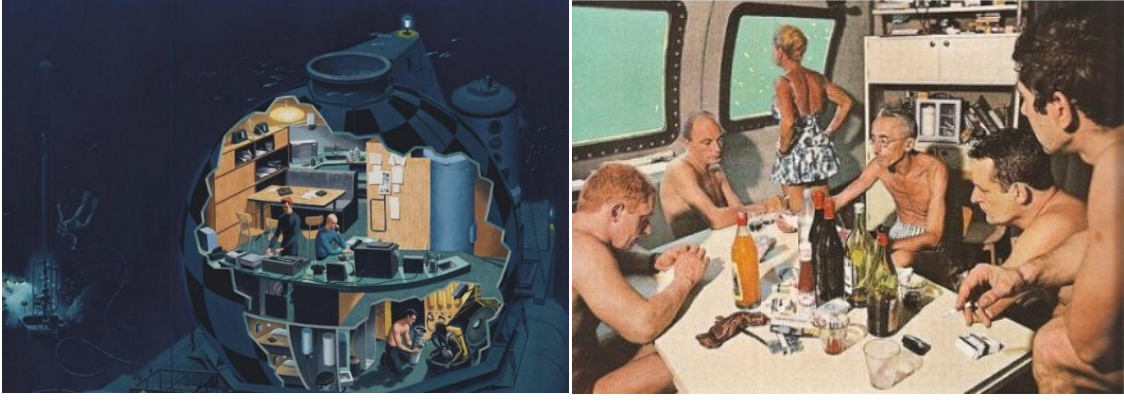


Şekil 3.9 Conshelf II denize konuşlandırma çalışmaları [48]

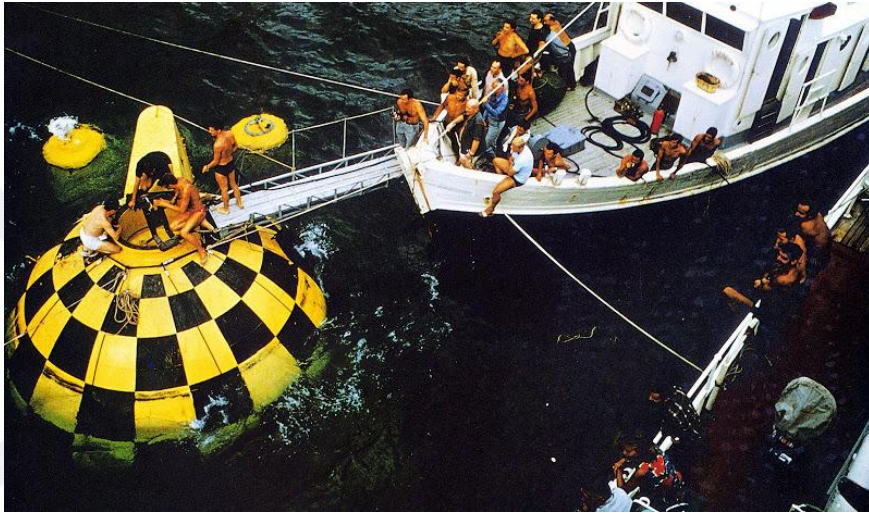


Şekil 3.10 Conshelf II modeli [49]

1965 - Conshelf III, tüm girişimlerin en iddiası olarak Nice ve Monako arasında konuşlandırılmıştır. 6 dalgıç, 100 metre (336 fit) derinliğinde, 22 gün boyunca yüze sadece bir elektrik iletişim kablosu ile bağlı olan küresel bir konutta yaşamışlardır [4]. Conshelf III, insanların uzun süre deniz altında yaşayabilmek için fiziksel ve psikolojik özelliklere sahip olmanın yanında insanların güneş ışığına da ihtiyaçları olduğunu kanıtlamıştır. Bununla birlikte, bu deneyler astronotların eğitiminde de kullanılmaya başlanmıştır ve Cousteau bu şekilde uzay çalışmalarının da öncüsü olmuştur [48].



Şekil 3.11 Conshelf III modeli [48] ve 1965 yılı iç mekan görseli (Davis Meltzer)



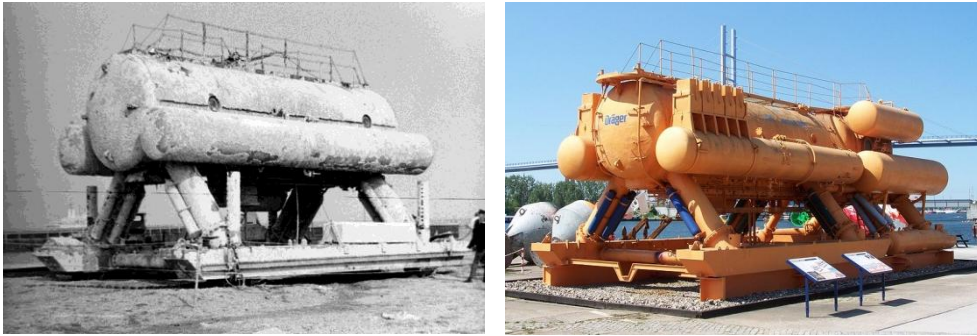
Şekil 3.12 Conshelf III denize konuşlandırma çalışmaları [48]



Şekil 3.13 Conshelf III kesiti [50]

Helgoland, su altı laboratuvarı ve aynı zamanda su altı yaşam alanı olarak tasarlanmıştır. 1968'de Almanya'nın Lübeck şehrinde inşa edilen laboratuvar, soğuk sularda kullanılmak üzere hayata geçirilen ilk su altı habitataı örneğidir. Habitataın ana gövdesi iki odaya bölünmüş 9 x 6 metre (29.5 x 19.7 fit) ölçülerinde bir silindirden meydana gelmektedir. Helgoland aynı zamanda 2,5 x 2,5 metre (8,2 x 8,2 fit) ölçülerinde, 100 metre (328 fit) derinlikteki dış basınca dayanabilen bir dekompresyon odası bulundurmaktadır [6].

Laboratuvar deniz tabanında birkaç hafta kalmak için gerekli tüm olanakları sağlamıştır. Habitataın iç basıncı, dış basınç ile aynı tutulduğundan doygunluk dalış teknikleri kullanılarak su altında birkaç hafta geçirilmesi mümkün bir yaşama alanı oluşturulmuştur. Bilim adamları laboratuvarda yaşayarak, gerçekleştirdikleri her dalış seansından sonra habitataa geri dönmekteydiler. Su yüzeyine çıkma zamanı geldiğinde habitataın içinde barındırdığı dekompresyon odası kullanılarak basınç dengesi kontrol altına alındıktan sonra, herhangi bir sağlık problemiyle karşılaşmadan yeniden yüzeye çıkabilmeleri sağlanmaktaydı. Habitat, soğuk sularda kullanılmak üzere tasarlandığından, yaşam alanı klimaların yanında iyi bir ısı yalıtımıyla da korunmaktaydı. Ana silindirin kenarlarında bulunan balast tanklarına deniz suyu doldurularak batırılan ve basınçlı havayla suyun dışarı atılması sağlanarak su yüzeyine yükselen bir sistem üzerine tasarlanmıştır [51].



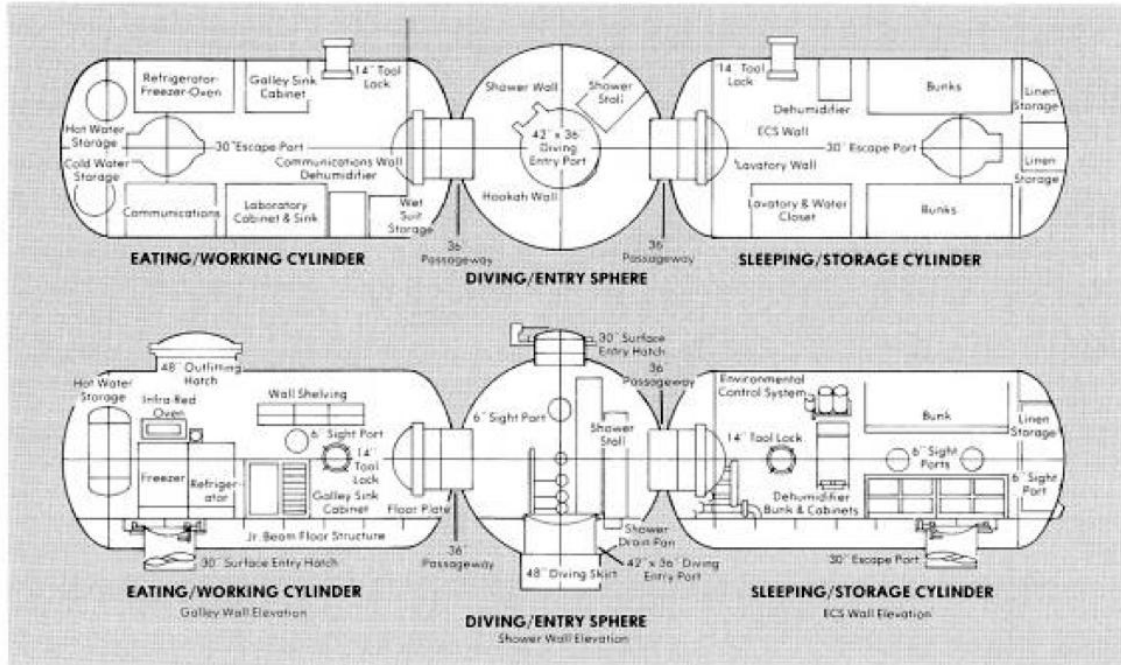
Şekil 3.14 Helgoland su altı laboratuvarı 1969 [52] ve 2008 yılı görselleri
(Stralsund Müzesi, Almanya)

1970'lerin sonunda laboratuvar hizmetten çıkarılmış ve 1998 yazında Alman Okyanus Bilimi Müzesi'ne bağışlanmıştır. Günümüzde Stralsund Müzesi'nde (Almanya) ziyaret edilebilmektedir (Şekil 3.14) [51].

Aegir, 1969-71 yıllarında Hawaii'de su altı araştırmaları için kullanılan, 14 güne kadar 176,8 metre (580 fit) derinliğinde 6 dalgıcın yaşaması için uygun ortamı sağlayabilmiş bir habitattır. Su altı laboratuvarı; yaşama alanı, laboratuvar ve giriş bölümü olmak üzere üç bölümden meydana gelmiştir. Yaşam ve laboratuvar bölümleri, boyut ve şekil bakımından aynı silindirik yapıya sahiptirler. Her biri 2,7 x 4,6 metre (9 x 15 fit) ölçülerinde olan iki silindir iç çapı 3 metre (10 fit) olan küresel şekilde tasarlanmış giriş bölümüyle birbirine bağlıdır. Aegir'in su içindeki inişi ve yükselişi Helgoland'a benzer şekilde balast tanklarına su alıp boşaltmasıyla sağlanmaktadır [53].

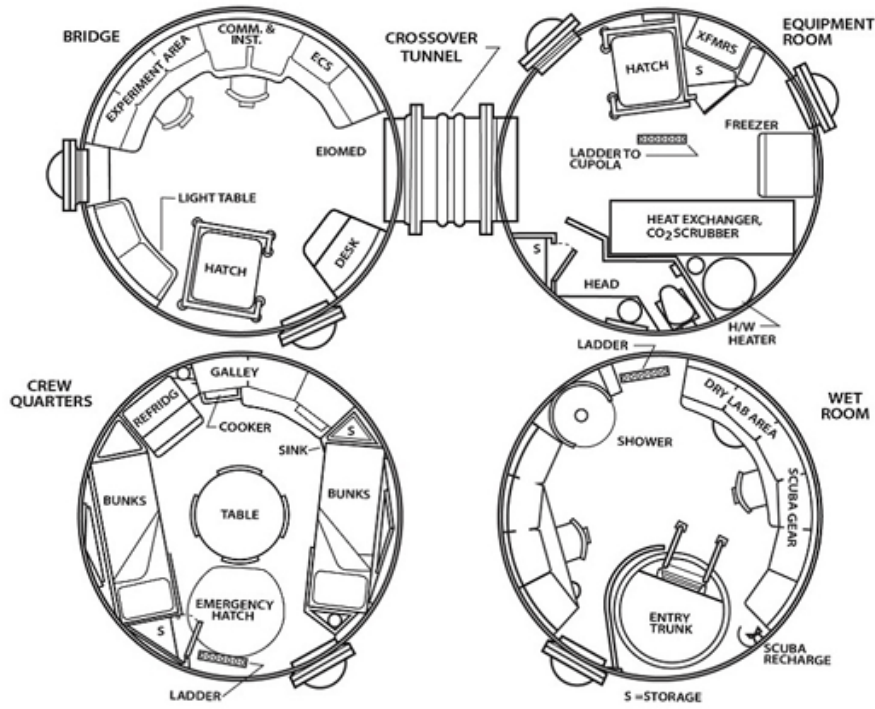


Şekil 3.15 Aegir genel görünüş [54]



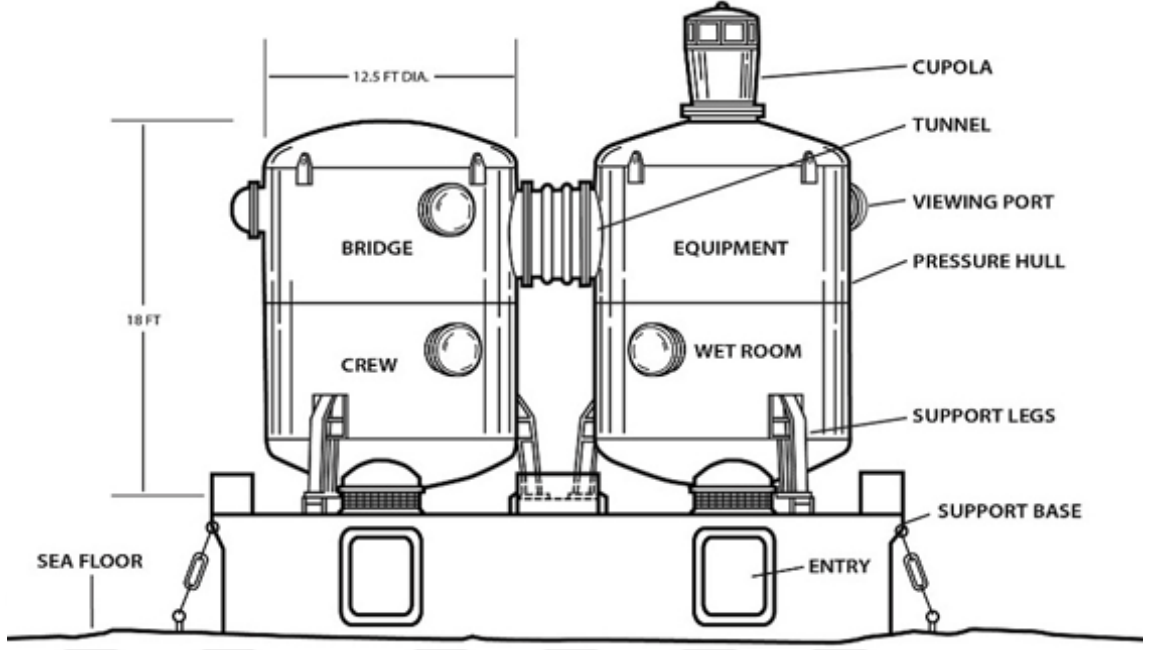
Şekil 3.16 Aegir plan ve kesit çizimi [54]

Tecktite II, 1969–70 yılları arasında kullanılan Tecktike, habitatın aynı zamanda giriş bölümü de olan bir tabanla birbirine bağlanmış iki ana silindir olarak tasarlanmıştır. İki silindirin her biri kendi içinde iki bölmeye ayrılmış olan habitat, kontrol merkezi, yaşam alanları, ekipman odası ve ıslak oda bölümlerinden oluşmuştur. Silindirlerin üst bölümünden bir geçit tüneli ile birbirine bağlanan Tecktite II, dört kişilik bir yaşam alanı sağlayabilmiştir. Yaşam alanı; dört ranza, küçük bir mutfak ve depolama alanından oluşurken, ekipman odası; kontrol sistemi, dondurulmuş gıda ve tuvalet olanaklarını içermekteydi. Kontrol merkezi ayrıca bilim adamları için kuru bir laboratuvar olarak hizmet vermiştir [53].

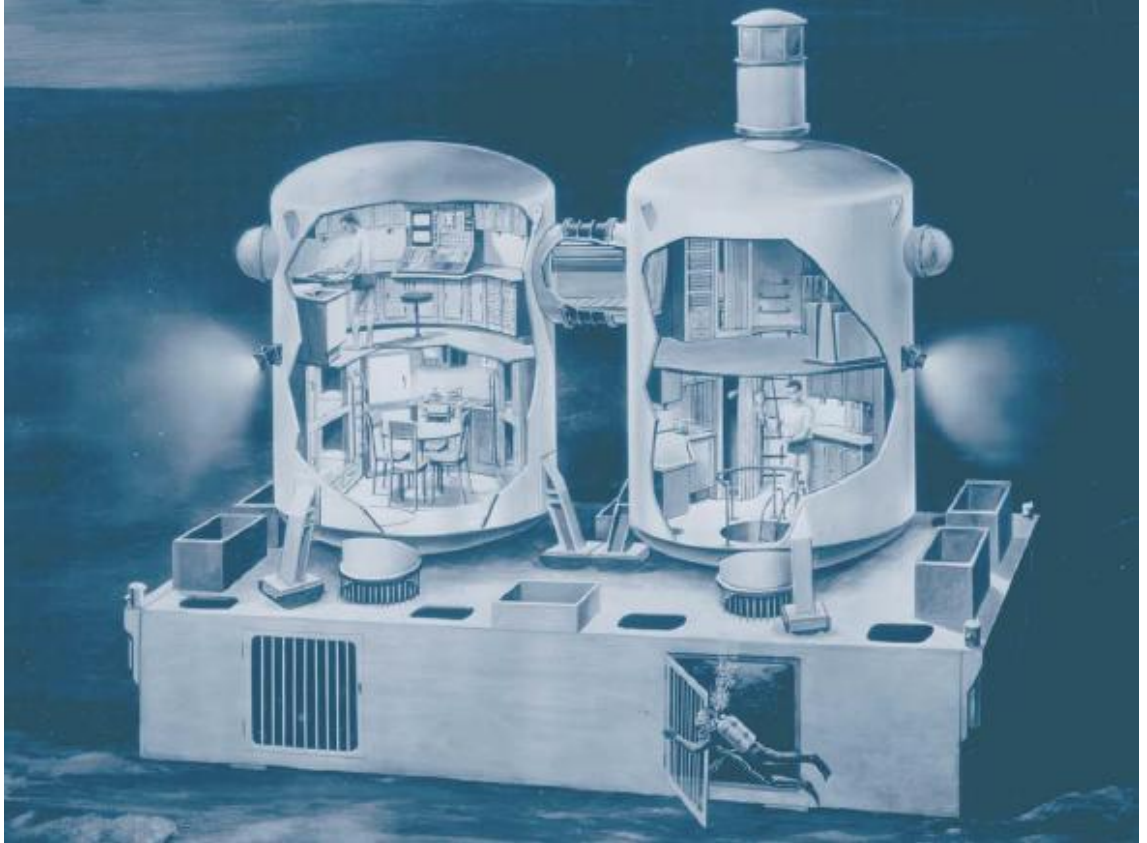


Şekil 3.17 Tecktite II su altı laboratuvarı plan şemaları [4]

Her bölmedeki bir veya daha fazla sayıda bulunan yarım küre camı, su altı ile görsel ilişkiyi sağlamıştır. Dekompresyon odası habitat bünyesinde bulunmayıp, basınç dengelenmesi su altı araştırmacılarının tabanda bir personel transfer kapsülüne girerek yüze çıkarılması ve su yüzeyi üzerinde dekompresyon odasına girmeleriyle gerçekleştirilmiştir [53].



Şekil 3.18 Teckite II su altı laboratuvarı görünüşü [4]



Şekil 3.19 Teckite II modeli [53]

La Chalupa, 1970-74 yılları arasında su altı laboratuvarı olarak kullanılan dört kişilik bir yaşam alanıdır. Laboratuvar girişi tipik bir giriş tüpü yerine 5x10 fit (1,5 x 3,0 metre) ölçülerinde zeminde bulunan kapıyla sağlanmaktadır. Doğrudan ıslak oda zeminine açılan kapı ile dalgıçların laboratuvara kolayca giriş/çıkış yapabilmeleri amaçlanmıştır. La Chalupa araştırma laboratuvarı olarak kullanılırken numuneleri ayırmak için ıslak odada büyük paslanmaz çelik masalar bulunmaktaydı. Laboratuvarın ıslak odasında bulunan özel bir su geçirmez konnektör, habitat dışındaki enstrümanların akım, tuzluluk ve su sıcaklığı gibi oşinografik koşullarını habitat içinden izlenmesini sağlamıştır. La Chalupa yaşam alanı yapısı, bir mavna içindeki iki adet 8 x 20 fit (2,4 x 6,1 m) ölçülerinde bölmeden ve odaların arasındaki 10 x 20 fit (3,0 x 6,1 metre) ölçülerinde giriş bölümünü de içinde barındıran ıslak odadan oluşmaktadır [53].



Şekil 3.20 La Chalupa su altı laboratuvarı [55]



Şekil 3.21 Jules's Undersea Lodge, su altı oteli modeli [56]

İlk “su altı oteli” fikri araştırma laboratuvarı olan La Chalupa'nun, Jules's Undersea Lodge olarak dönüştürülerek turizmde kullanılması ile başlamıştır. 1986'da, denizaltı laboratuvarı La Chalupa, “dünyanın ilk deniz tabanlı turizm tesisi” olarak

bilinen bir su altı oteline dönüştürülmüştür. Halen otel olarak kullanılmakta olan su altı habitatu 5.1 Güncel Örnekler bölümünde detaylı olarak ele alınmıştır.

Marine Lab, 1974'te ABD Deniz Harp Okulu'nda bir mühendislik projesi olarak tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Operasyonel olarak kullanılmamış olan 8 x 16 fit (2,4 x 4,9 metre) ölçülerindeki habitat, 1984 yılında MRDF (Marine Resource Development Foundation) tarafından eğitim amaçlı kullanılmıştır. Öğrencilere ve öğretmenlere, denizaltı yaşam alanında 1-3 gün arasında yaşama deneyimi sunarak çalışma imkanı sağlamıştır. Marine Lab, 3-4 kişilik iç hacmiyle ilk 18 ayda 200'ün üzerinde kişiye ev sahipliği yapmıştır. Sığ sularda kullanılması nedeniyle, kullanıcılar habitatta kaldıkları sürenin bitiminden su yüzüne çıkana kadar dekompresyon hastalığı riskiyle karşılaşmamaktadırlar [53].

Çelik bir su deposundan tasarlanmış olan silindir yapının bir ucunda 3 fit çapında bir gözlem noktası ve silindirin altına monte edilmiş 66 inç çapında akrilik gözlem küresi (Şekil 3.22) bulunmaktadır. Bu akrilik küre, Deniz İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı tarafından geliştirilen ve 100 metre derinliğe kadar suya batırılmış işlemler için tasarlanmış ABD Donanmasının test gövdesidir. Küreye erişim laboratuvarın içinden olduğundan kuru bir gözlem alanı sağlamaktadır. Laboratuvarın tabanı betondan yapılmış bir kızak üzerinde çelik taşıyıcı sistem ve balast tanklarından oluşmaktadır [57].



Şekil 3.22 Marine Lab, dış görünüşü ve iç mekan görseli [57]

Laboratuvarın yaşama alanında, biri çalışma tezgahına dönüştürülebilen üç ranza bulunmaktadır. Duş ve portatif tuvalet gibi alanlar ise laboratuvarın ana giriş kapısının bulunduğu ıslak oda içinde tasarlanmıştır. Acil çıkış için laboratuvarın

diğer ucuna ikinci bir kapak yerleştirilmiştir. Ana yaşam ve laboratuvar alanı nemi kontrol altında tutmak için ıslak odadan ayrılmıştır. Tüm çerçeveleme, bölmeler ve raflar metalden imal edilmiştir ve bir epoksi boya sistemi ile kaplanmıştır. Laboratuvarın duvarları, donanma denizaltılarında kullanılan tipte kapalı hücreli, bükülebilir bir köpük yalıtımı ile yalıtılmıştır [57].

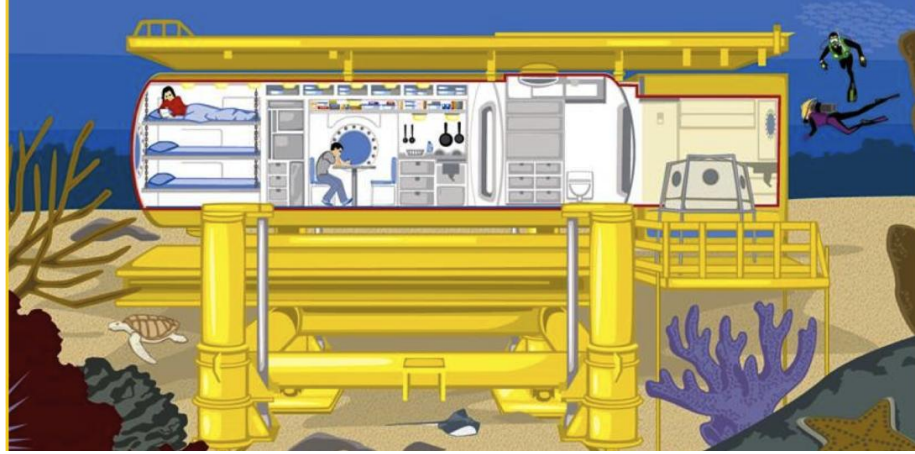


Şekil 3.23 Marine Lab, akrilik küre [58]

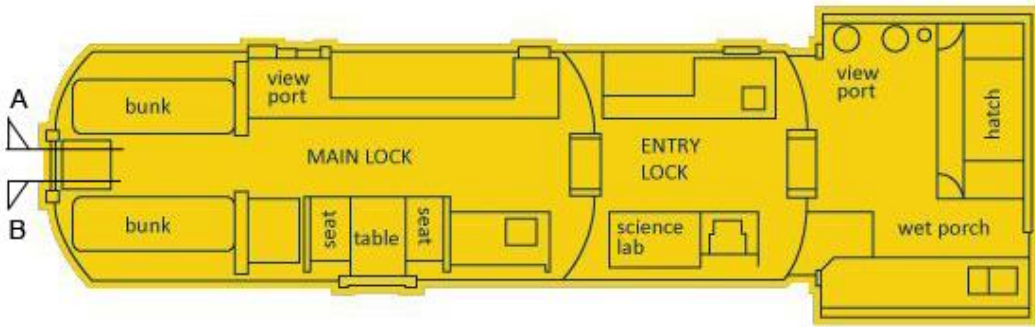
Aquarius habitatu 1984 yılında Perry Oceanographic Inc. tarafından tasarlanmış ve Teksas'taki Victoria Machine Works tarafından inşa edilmiştir. Modern bir bilim laboratuvarında bulunan birçok özelliği bir arada bulundurduğu için habitatların “gelecek nesli” olarak kabul edilmektedir. Aquarius habitatu, ıslak sundurma, giriş bölümü ve ana bölüm olmak üzere üç bölümden oluşan yapısıyla, 43 x 12 x 16,5 fit (13,1 x 3,2 x 5 m) boyutunda ve 81 ton ağırlığındadır. Tesis 6 kişiliktir ve 120 fit (36,6 m) derinliğe kadar uygun çalışma ortamı sağlayabilmektedir [53].



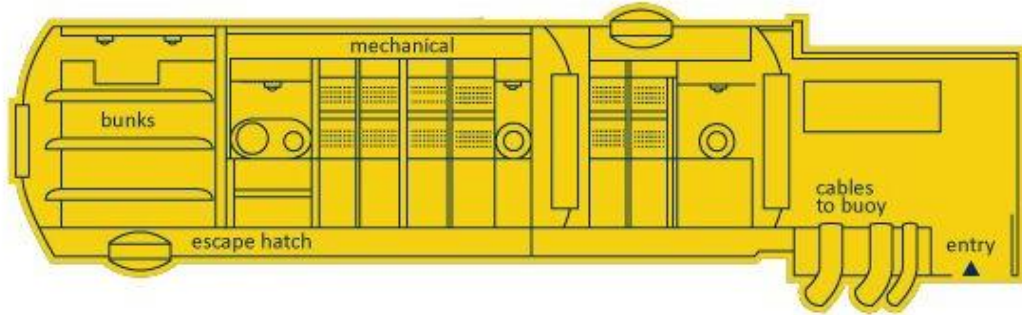
Şekil 3.24 Aquarius su altı habitatu ve laboratuvarı (NOAA, Kuzey Carolina) [59]



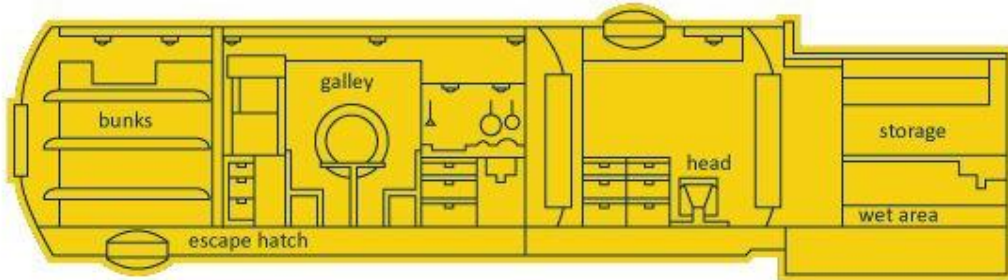
Şekil 3.25 Aquarius iç mekan görünüşü [60]



Şekil 3.26 Aquarius, plan şeması [60]



Şekil 3.27 Aquarius, A-A kesiti [60]



Şekil 3.28 Aquarius, B-B kesiti [60]

Aquarius, bilimsel ihtiyaçlara cevap olarak seçilen araştırma alanlarına gerektiğinde taşınabilecek bir sistem olarak tasarlanmıştır. Wilmington'daki North Carolina Üniversitesi'ndeki Ulusal Sualtı Araştırma Merkezi (UNCW) tarafından işletildiği dönemde, bilim adamlarının uzun süre deniz altında kalmalarını sağlayan uzun vadeli bir araştırma platformu ve deniz altı yaşam alanı birimi olarak kullanılmaktaydı [61]. Florida Uluslararası Üniversitesi (FIU) 2014'te Aquarius'un mülkiyetini alarak, üniversitenin Denizcilik Eğitim ve Araştırma Girişimi'nin bir programı olan Medina Aquarius Programı ile mesleki eğitim alanlarını geliştirmeye, dünyadaki deniz ekosistemlerinin incelenmesi ve korunması adına çalışmalar yapmaya devam etmektedir [62].

Divescope, Fransız mühendis Vincent Lovichi tarafından tasarlanan su altı habitatu 2001 tarihinde hizmete girmiştir. 2,7 metre çapındaki mevcut prototip 5 metre derinlikte konumlandırılmış yapısıyla 7 saate kadar 7 kişiyi barındırabilen açık basınçlı su altı gözlemevi olarak kullanılmaktadır [63]. Divescope, 10-30 fit arasında konumlandırılabilen çoğunlukla küçük bir eğitim merkezi veya dinlenme yeri olarak kullanılan bir su altı istasyonudur. Yeni Kaledonya'daki su altı habitatu kullanılan cam tipiyle avantajlı bir özelliğe sahiptir. Prototip için kullanılan pleksi cam, özel bir polimeratasyon işleminden geçirildiği için deniz suyu ile aynı kırılma seviyesini sağlar. Çeşitli alanlarda (uzay, savunma, araştırma) kullanılan bu yeni özellik görüntüyü bozmadan olduğu gibi gösterme avantajına sahiptir [32].

Denizaltıların, deniz savaşlarında kullanılmaya başlanması uzun yıllar öncesine dayanmaktadır. Geçen zaman içerisinde denizaltı tarihini basitçe; “dalış derinliğinin birkaç metreden okyanus derinliklerine ulaştığı, güç kaynağının kas gücünden nükleer yakıtı dönüştüğü, dipte kalma süresinin dakikalardan aylara kadar ilerlediği” bir tablo görülmektedir. Askeri alandaki teknolojik ilerlemelerle birlikte denizaltı araçlarının etkinliği de giderek artmıştır. Özellikle son 40 yılda artan bilimsel faaliyetlerin hayata geçirilmesiyle birlikte denizaltılar daha güvenilir ve konforlu ortamlar haline getirilmiştir. Bununla birlikte denizaltıların satha çıkma kabiliyetlerini yitirmeleri durumuna karşı kullanılması gereken kurtarma ve tahliye sistemleri; kurtarma çanı ve tekrar soluma gibi aparatlarından, basınç

altında transfer yapabilen denizaltı kurtarma araçlarına ve derin sulardan tahliye imkan tanıyan serbest çıkış kıyafetlerine dönüştürülmüştür [64].

3.2 İnsan Organizmasının Sınırları ve Hiperbarik Tıp

Su altı dünyasını keşfetme arzusuyla tasarımlar yapılırken dikkate alınması gereken hayati bir konu da insan organizmasının sınırlarıdır. Su altındaki kişinin sağlıklı bir şekilde su üstüne çıkabilmesi için dikkat edilmesi gereken hususlar bulunmaktadır. Doğal koşullarda insan bedeninin su altında yaşamaya elverişli olmaması nedeniyle öncelikle bedenimizin bu yeni ortama karşı ne kadar dirençli olduğunu keşfetmek gerekmektedir. Bu bölümde bedenimizin sınırlarını keşfedip, bu sınırların aşılması durumunda meydana gelecek hastalıklara dikkat çekerek, alınması gereken önlemler ve uygulanması gereken tedavi yöntemleri hakkında bilgilendirmelerde bulunmaktadır. İnsan fizyolojisinin sınırları hakkındaki bilgiler “Su Altı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp” uzmanlığı bilim dalının çalışmaları ışığında aktarılmaktadır.

Dalış planlamasında dikkate alınması gereken çevresel değişkenlerden en önemlisi basınçtır.

Basınç ölçüm birimleri [65]:

atm - Atmosfer

psi - Inc. kareye düşen basınç

kg/cm² - Santimetre kareye düşen kilogram

mmHg - Milimetre civa

cmH₂O - Santimetre su

fsw – fit, denizsuyu derinliği

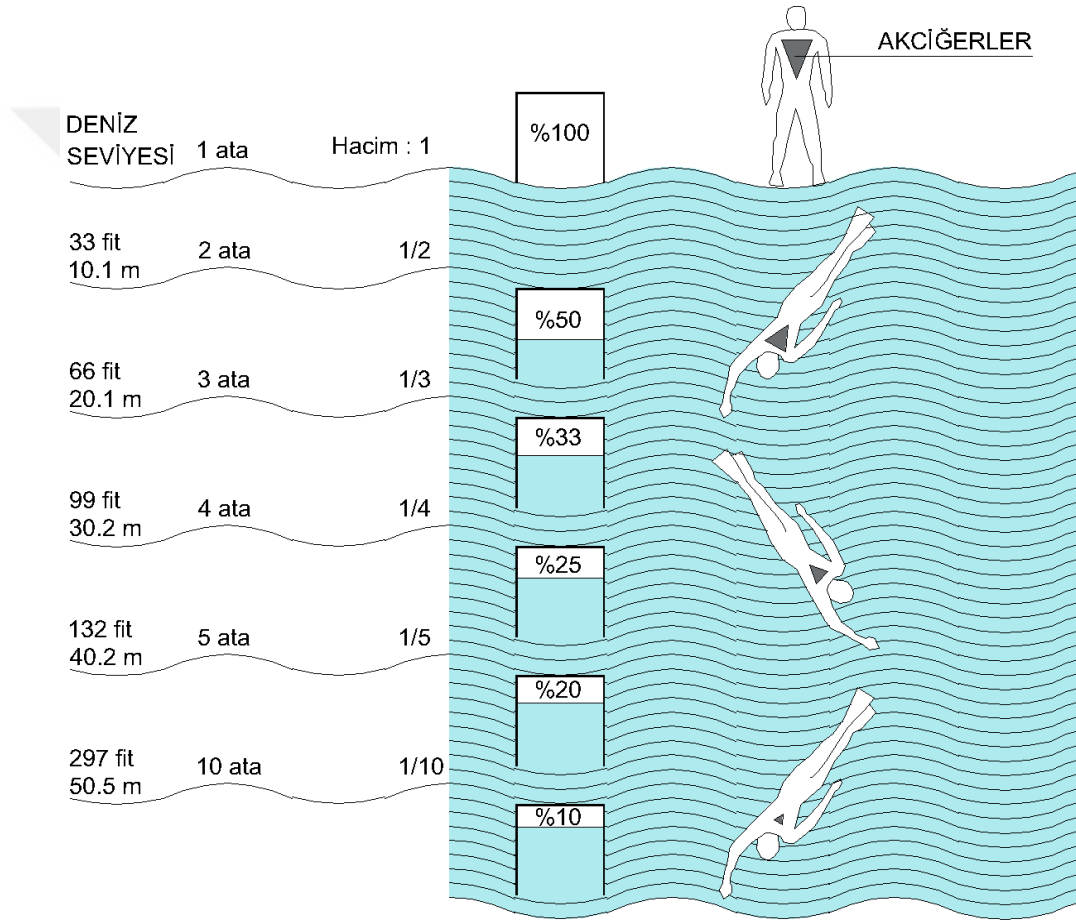
msw – metre, denizsuyu derinliği

b – bar

Atmosferik basınç, atmosferin ağırlığından kaynaklanmaktadır ve deniz seviyesinden olan yüksekliğe göre değişkenlik göstermektedir.

Standart koşullar altında, bir atmosfer basınç biriminin dönüşüm değerleri [65] :

$$\begin{aligned}
1 \text{ atm} &= 14,692 \text{ psi} \\
&= 1,0332 \text{ kg/cm}^2 \\
&= 760 \text{ mmHg (yoğunluk } 13,6 \text{ g/cm}^3\text{)} \\
&= 1033 \text{ cm H}_2\text{O (yoğunluk } 1 \text{ g/cm}^3\text{)} \\
&= 33,07 \text{ fsw (yoğunluk } 1,025 \text{ g/cm}^3\text{)} \\
&= 10,08 \text{ msw (yoğunluk } 1,025 \text{ g/cm}^3\text{)} \\
&= 1,013 \text{ bar}
\end{aligned}$$



ata - mutlak atmosfer basıncı

Şekil 3.29 Derinliğe bağlı basınç - gaz hacmi diyagramı [66]

Deniz yüzeyinde basınç 1 atmosferdir (ata). Her 33 fit deniz suyunda basınç 1 atmosfer artar ve kabaca 10 metre derinlikte basınç iki katına çıkar. Boyle Kanunu'na göre 1 litrelik bir hacim 10 metre yani 2 ata'da 1/2 litre, 20 metre yani 3 ata'da 1/3 litre olmaktadır [67].

Su basıncının hissedildiği dalışlarda fizyolojik olarak bedenimize ağır sorumluluklar yüklemektedir. Örneğin; 330 metre deniz dibinden deniz yüzeyine dönmenin, aydan dünyaya dönüş kadar uzun bir sürede yapılması gerekmektedir. Mesafe olarak yeryüzüne daha yakın olmalarına rağmen, dönüş süresi daha çok vakit aldığından, dünyadan yalıtılmışlığın getirdiği psikolojik gerilim de çoğu kez dalgıçlar üzerinde handikap yaratmaktadır [68].

Tablo 3.1 Kısmi oksijen basıncının farklı seviyelerdeki fizyolojik etkileri [69]

PO ₂ (atm)	Uygulama ve Etkisi
<0.08	Ölüme sonuçlanabilecek koma
<0.08-0.10	Çoğu kişide bilinç kaybı
0.09-0.10	Ciddi oksijen yetmezliği belirtileri
0.14-0.16	Başlangıç seviyesi oksijen yetmezliği belirtileri
0.21	Normal çevrede oksijen (deniz seviyesi havası)
0.35-0.40	Normal saturasyon dalışı PO ₂ seviyesi
0.50	Tüm vücut etkileri için eşik; maksimum saturasyon dalışına maruz kalma
1.6	NOAA'nın çalışan bir dalgıç için belirlediği maksimum maruz kalma sınırı
2.2	Ticari/askeri "Sur-D" basınç odası yüzey dekompresyonu, 40 fsw basınçta %100 O ₂
2.4	6 ata'da (165 fsw) %60 N ₂ / %40 O ₂ nitroks rekompresyon tedavisi
2.8	2.8 ata'da (60 fsw) %100 O ₂ rekompresyon tedavisi
3.0	6 ata'daki odada kullanılmak üzere 50/50 nitroks rekompresyon tedavi gazı

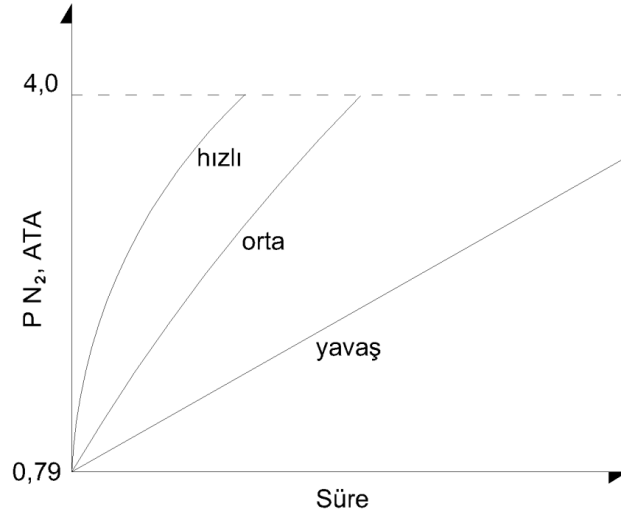
Kısmi oksijen basıncının vücudumuzdaki etkileri ölüme sonuçlanabilecek komaya kadar gidebilmektedir (Tablo 3.1). Bu nedenle maruz kaldığımız ortamdaki oksijen basıncı değerlerine dikkat edilmesi gerekmektedir. PO₂'de maruz kalınması gereken maksimum basınç değeri 1.6 ata'dır [69].

Oksijen kısmi basıncının Tablo 3.2’de verilen limitleri aşmamasını sağlamak için dalışta inilecek olan derinliğe uygun bir gaz karışımı seçilmelidir. Bu sınırlar merkezi sinir sistemi toksisitesini önlemek için belirlenmiştir [65].

Tablo 3.2 Oksijen basıncına maruz kalma limitleri [69].

PO ₂ (atm)	Tek Sefer Maruz Kalma max. (dakika)	24 Saatte Maruz Kalma max. (dakika)
1.60	45	150
1.55	83	165
1.50	120	180
1.45	135	180
1.40	150	180
1.35	165	195
1.30	180	210
1.25	195	225
1.20	210	240
1.10	240	270
1.00	300	300
0.90	360	360
0.80	450	450
0.70	570	570
0.60	720	720

Hiperoksi ve O₂ zehirlenmesi: Su altında sadece oksijen soluyarak belirli bir derinliğin (9 metre) altına inmek mümkün değildir. Çünkü 1 atmosferden daha fazla bir basınçla saf oksijen solumak zehirlenmeye neden olmaktadır. Bunu önlemek için derinlere inildikçe tüpteki oksijen konsantrasyonu giderek azaltılır. Su altında orta derecede hidostatik basınç artması (10 metre deniz suyu), insan vücudu üzerinde belirgin bir etki yaratmamaktadır. Yüksek hidrostatik basınçta (20-60 metre) ve özellikle hızlı iniş/çıkış gerçekleştirildikten sonra fizyolojik olarak ileri derecede bozukluklar ortaya çıkmaktadır [68].



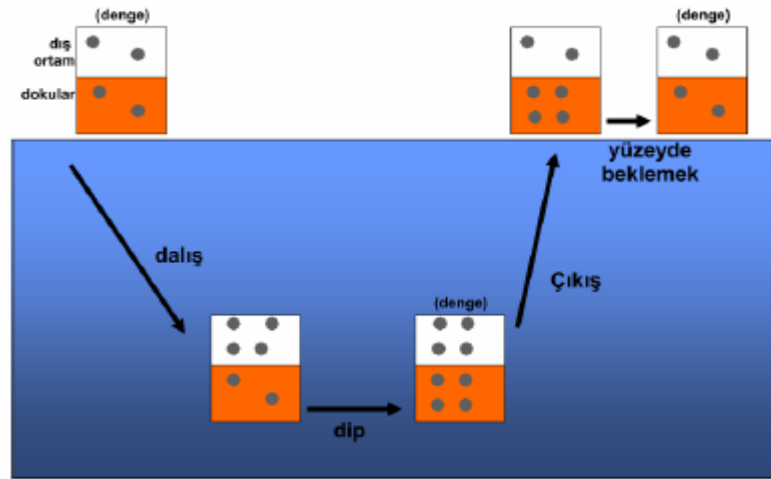
Şekil 3.30 Dokulardaki kısmi azot basıncının zamanla ilişkisi [70]

Tablo 3.3 N₂O₂ dalış için oksijen kısmi basınç limitleri [71]

Normal Şartlarda Maruz Kalma		İstisnai Durumlarda Maruz Kalma	
PO ₂ - ata	Zaman (dakika)	PO ₂ - ata	Zaman (dakika)
1.6	30	2.0	30
1.5	40	1.9	40
1.4	50	1.8	60
1.3	60	1.7	80
1.2	80	1.6	100
1.1	120	1.5	120
1.0	240	1.4	180
		1.3	240

2018 yılında gerçekleştirilen 11. Ulusal Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Toplantısı'nda E. Ercan basınç değişimlerini şu şekilde tanımlamıştır [72]: Hava basıncı değişimleri insan fizyolojisi üzerinde birçok olumsuz etki oluşturmaktadır. Bunlardan başlıcaları hipoksi, barotravmalar ve dekompresyon hastalıklarıdır. Kelime anlamı olarak “kompresyon” basıncın artırılması, “dekompresyon” ise basıncın azalması anlamına gelmektedir. Normal şartlarda atmosfer havası ile vücut boşlukları arasında bir basınç dengesi bulunmaktadır. Kısa sürede fazla miktarda irtifa değişikliği söz konusu olursa vücuttaki dengede bozukluklar meydana gelir. Aniden yüksek basınçlı bir ortamdan düşük basınçlı bir ortama geçmek vücut için ciddi problemler doğurabilmektedir.

Dekompresyon Hastalığı (Vurgun) [67]: “Dekompresyon hastalığı, halk arasındaki kullanımı ile vurgun, basınçlı hava ile yapılan dalışlardan sonra gözlenen sistemik bir hastalıktır. Dekompresyon hastalığının fiziksel temelini Henry Kanunu oluşturur. Bu gaz kanunu uyarınca sabit sıcaklık altında, gazların parsiyel (kısmi) basınçları ile çözünürlükleri arasında doğru orantı bulunmaktadır. Dalış sırasında olduğu gibi solunan gazın parsiyel basıncı arttığında dokularda çözünmesi de artar. Bilindiği gibi deniz suyunda yaklaşık her 10 metre derinlikte ortam basıncı 1 atmosfer artmaktadır. Böylece hangi derinliğe dalınıyorsa, o derinliğe eşit basınçta hava solunması gereklidir. Solunan havanın basıncının artışı doğal olarak bu havanın bileşenlerinden nitrojenin parsiyel basıncını da arttıracaktır. Ayrıca dokuların yüksek basınçta solunan nitrojenle saturasyonu zamana bağlı bir süreçtir. Böylece dekompresyon hastalığı gelişimi için yalnızca dalınan derinlik değil, o derinlikte ne kadar kalındığı da önem kazanmaktadır. Normal bir dalış sırasında gazların Şekil 3.31’de şematize edildiği gibi akciğerlerden alınıp dolaşım ile dokulara ulaşması ve burada çözünmesi, çıkışta da tersine bir yolla atılması hastalığa yol açmaz. Hastalığa dalış sırasında vücutta çözünen inert gazın uygun olmayan bir çıkış nedeniyle atılamaması ve dokularda serbest kabarcık oluşturması neden olur.”



Şekil 3.31 Normal bir dalışta gazların dokularda çözünmesi ve atılması [67]

Satürasyon dalışları ve derin su dalış sistemleri Dr. Turgay Osman tarafından şu şekilde açıklanmıştır [68]: “Artan basınçlarda inert gaz moleküllerinin hücredeki tüm fonksiyonları etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle basınçlı hava soluyan

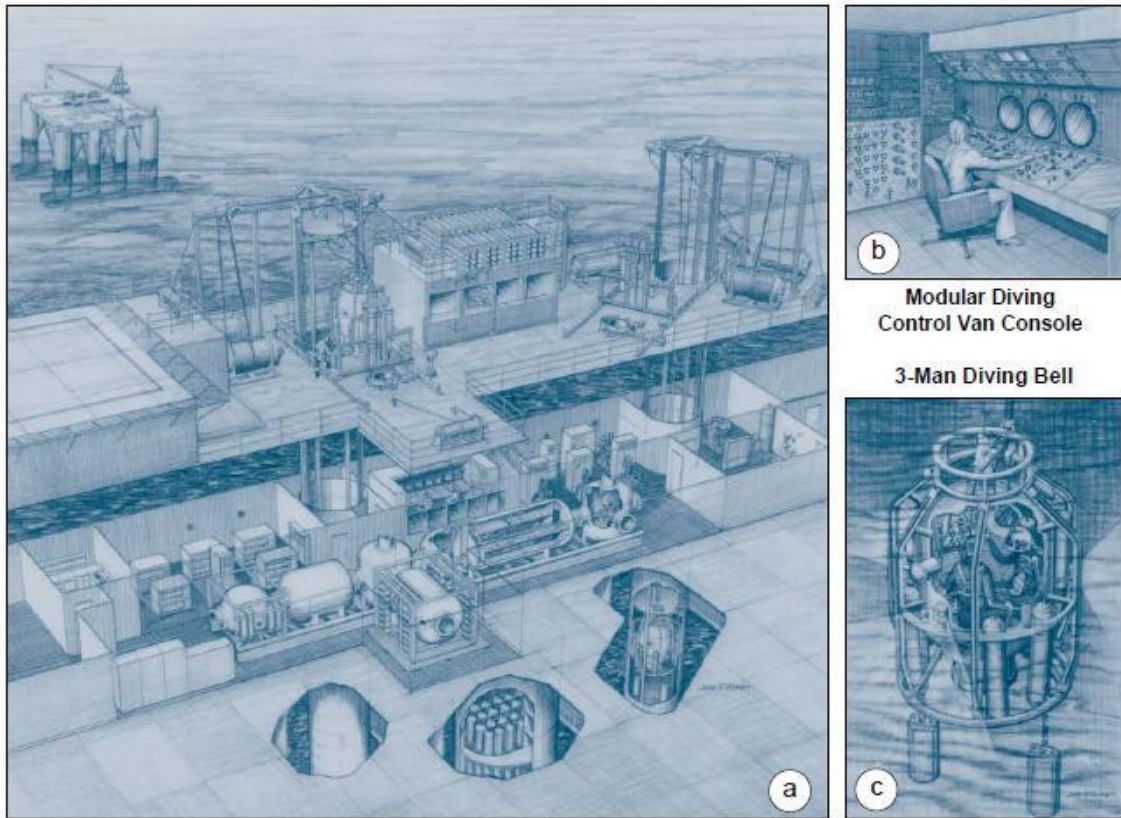
dalgıçların çoğunda derinlik sarhoşluğu diye bilinen azot narkozu daha 30 metrede başlar. Azot gazının narkotik etkisinden dolayı, dalışlarda azot yerine anestezi etkisi olmayan alternatif inert bir gaz aranmış ve helyum gazı kullanılmaya başlanmıştır. Derin dalışlarda Trimix (hidrojen + helyum + oksijen) gibi karışımlarla bugün dalma derinliği 610 metreye kadar ulaşmıştır. Ama bu durum su yüzeyine çıkma süresinin hızlı olmaması gerçeğini değiştirmemektedir.”

Tablo 3.4 Gaz karışımlarına göre dekompresyon karşılaştırması [73]

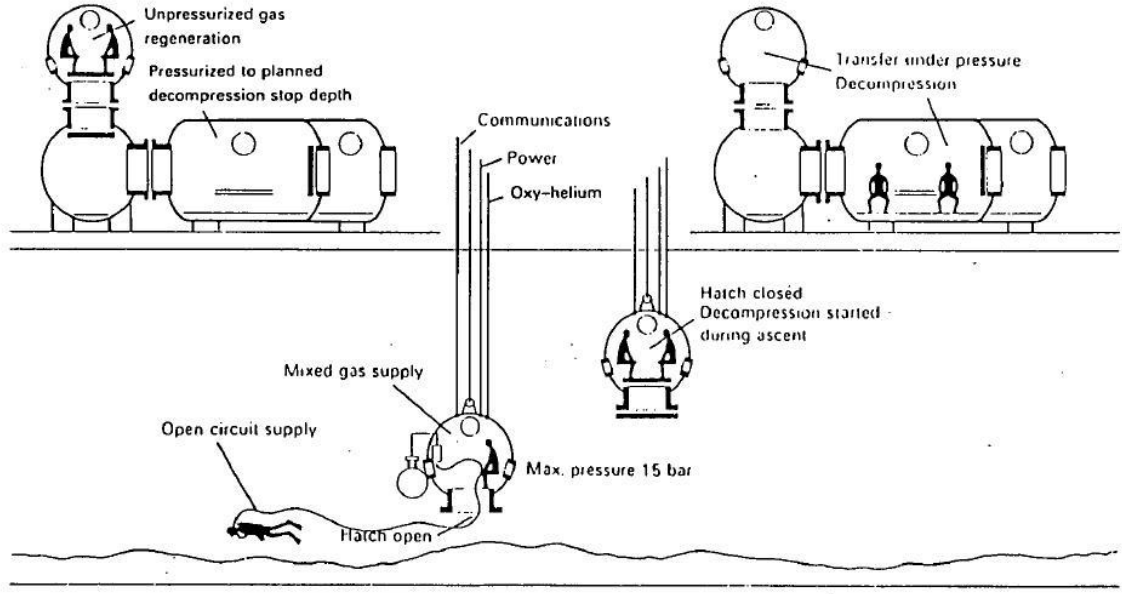
HELIOX		TRIMIX	
%21 O ₂ , %79 HE		%21 O ₂ , %50 HE, %29 N ₂	
Derinlik fsw	Dakika	Derinlik fsw	Dakika
200	30	200	30
Dekompresyon Durakları		Dekompresyon Durakları	
80	3		
70	5	70	2
60	6	60	3
50	10	50	6
40	17	40	10
30	30	30	16
20	61	20	30
10	139	10	68
Toplam Süre	305		169
Dekompresyon Zamanı	271		135

Su altı dalışlarında dalgıçların ve iç basıncın dış basınca eşit olduğu su altı habitatlarındaki kullanıcıların, basınç değişikliğine bağlı dekompresyon hastalığından korunmaları için çeşitli derinliklerdeki kalış sürelerine uymaları gerekmektedir. Dalışlar için hazırlanmış dalış cetvellerinde derinliklere bağlı optimal kalış süreleri, çıkış aşamaları, durak sayısı gibi bir çok bilgiye ulaşmak mümkündür. Sağlıklı su altı keşifleri için bu dalış cetvellerindeki kuralların dikkate alınması gerektiği tıp dünyasınca onaylanmıştır.

U. Uzunoğlu satürasyon dalışını ve fizyolojik etkilerini şu şekilde anlatmaktadır [74]: “Satürasyon dalışı, uzun zaman periyotlarında derin dalış yapmak için kullanılan bir dalış tekniğidir. Bu dalışın öncesinde genellikle teknenin basıncı ayarlanabilen özel odalarında dalıcının dokuları vücutta çözünen nitrojenin sonucu olarak ortaya çıkan dekompresyon hastalığının (DKH) önüne geçebilmek için nitrojene satüre hale getirilir. Dalıcının dokuları satüre hale getirildikten sonra, dalışta geçireceği süre güvenli dekompresyon süresini değiştirmez. Bunun sonucunda dalıcılar bu teknikle 50 metrenin altındaki derinliklerde günlerce hatta haftalarca çalışabilir. Dalıcılar basıncı ayarlanabilen satürasyon odalarında çalışacakları derinlikteki basınç ile yaşarlar. Dalış yapacakları derinliğe bir adet, diving bell denilen basıncı ayarlanabilen odacık ile ulaşır dalışlarına başlarlar ve dalış tamamlandığında yüzeye geri dönerler.”



Şekil 3.32 Satürasyon dalış kompleksi [53]



Şekil 3.33 Satürasyon kompleksleri [75]



Şekil 3.34 Oksipol modern basınç odası (G. Gündoğan, 2019)

Su altında ve basınçlı ortamlarda değişik amaçlarla sürdürülen çalışmalarda basınca bağlı olarak ortaya çıkan hastalıkların tedavi edilebilmeleri maksadıyla basınç odalarının kullanılması fikri 1600'lü yıllarda ortaya çıkmıştır. Günümüzde çok kişilik basınç odası ile (Şekil 3.34), hem rutin hem de acil hiperbarik oksijen tedavilerinin uygulanabildiği modern bir sisteme sahip basınç odaları kullanılmaktadır [76].

Sualtı ve Hiperbarik Tıp Uzmanı Doç. Dr. M. Emin Elbüken su altı çalışmalarından şu şekilde bahsetmektedir [76]: "Günümüzde su altı çalışmaları öylesine

gelişmiştir ki, çeşitli gazlar kullanılarak simülatör basınç odalarında 3000 fit ve daha derinlere inmek, satürasyon dalışları yapmak mümkün olmaktadır. İnsanın su altındaki etkinliği ve becerisi yalnızca kullandığı destekleyici malzemenin yeterliliği ile paraleldir”.

Yapılan dalışlar sırasında toplanan verilerin göz önünde bulundurulmasıyla insan vücudunun limitlerini şu şekilde tanımlanmıştır [77]

- Doygunlukta depolama gazı olarak hava kullanıldığında sınırlayıcı faktör oksijen kısmi basıncıdır.
- Depolama gazı olarak bir azot-oksijen karışımı kullanıldığında sınırlayıcı faktör azot narkozudur.
- 50 fsw'de (15 msw; 0.5 ata PO₂) havaya uzun süre maruz kalma (14 gün boyunca) insanlar üzerinde geri dönüşü olmayan veya zararlı bir etki yaratmamıştır (Adams ve ark. 1978).
- 60 fsw'de (18 msw; 0.589 ata PO₂) havaya uzun süre maruz kalma durumunda (27 gün), alyuvar hücresi kütlelerinde ve bazı kişilerde akciğer vital kapasitesinde önemli bir düşüşe neden olmuştur. Bu durum akciğer hastalıklarına yol açan oksijen toksisitesini göstermektedir (Miller 1976).
- Azot narkozunun insanları etkileme derecesi bireyler arasında değişkenlik göstermektedir.
- 120 fsw (37 msw)'ye kadar olan derinliklerde normoksik¹ azotuna uzun süre maruz kalması, dalgıç performansında belirgin bir düşüş sağlamamıştır.
- İnsan organizması için kabul edilen ideal deniz suyu sıcaklığı 20-25 C°'dir [68].

Su altında gürültü: Akustik travma olmadan 90 dB gürültüye 8 saatlik bir maruz kalma tolere edilebilecek maksimum seviyedir. Ancak mevcut kullanımdaki çok az kask bu gereksinimi karşılayabilmektedir. Beş farklı ticari kaskın testinde Summitt ve Reimers (1971) su altında maruz kalınabilecek gürültü seviyeleri için

¹ Normoksit: atmosferde bulunan normal oksijen konsantrasyonuna sahip gaz.

tespitlerde bulunmuşlardır. Tablo 3.5'te, çeşitli gürültü seviyeleri için güvenli maruz kalma sürelerini göstermektedir [78].

Tablo 3.5 Su altında çeşitli gürültü seviyelerine güvenli maruz kalma süreleri [78]

Ses Seviyesi dB	Maruz Kalma Süresi max.
90	8 saat
92	6 saat
95	4 saat
97	3 saat
100	2 saat
105	1 saat
110	30 dakika
115	15 dakika

Su Altı Yapıları Tasarımında Kullanılan Mimari Tasarım Yaklaşımları ve Mimarın Rolü

“Mimarlar popüler bilimden beslenirlerdi ve diğer disiplinlerdeki araştırmacılarla iletişim kurarlardı. Ancak teknolojilerin mimarlık alanına girmesi, mevcut teknolojilerin adapte edilmesini ve yenilerinin geliştirilmesini gerektiriyordu. Deniz koşullarının neden olduğu ayrışma seviyesi, mimarların patentlerinde ve tasarımlarının çalışma çizimlerinde belirgindir“ [79]

O’Grady ve Raisbeck

Su altı yapıları temel mühendislik birimlerinin ışığında var oldu ve gelişti. Bu alanda ortaya çıkan ilk mühendislik örnekleri yüzyıllar öncesine dayanıyor olsa da dünyanın ilgisini çekmeye son yıllarda başlamıştır. Su altı yapılarının ilgi çekici olmaya başlamasıyla mı mimarlar bu alana yöneldi, yoksa mimarların su altı yapıları tasarımlarında söz sahibi olmaya başlamasıyla mı su altı ilgi çekici hale geldi? Bu sorunun net bir cevabı olduğu söylenememektedir. Su altı dünyası kendine özgü özellikleri ve sıra dışı deneyimler sağlamasıyla daima insanlar için ilgi çekici olmuştur. İnsanlık için sıra dışı ve konforlu mekanlar, ilgi çekici olma durumunun mimari kaygılarla yoğunlaşmasıyla sağlıklı şekilde tasarlanabilmektedir. Bir bakıma karşılıklı etkileşimle gelişen süreçte su altı habitatlarının sayısı artmış, bu artışla birlikte mimarların rolü de artarak sınırları zorlayan yenilikçi tasarımlar ortaya çıkmıştır.

Mimari tasarım yaklaşımları her çevrenin kendi özelliklerine ve limitlerine göre ele alınmalıdır. Farklı ortamlarda tasarım yapmak, farklı parametreleri dikkate almamız gerektiğini göstermektedir. Örneğin; yeryüzünde yapılan tasarımlarda dış çevreyle kurulması gereken sirkülasyon ağı ilişkisi ve dışarıdan görüldüğü için dikkate alınması gereken estetik kaygılar vardır. Yeraltı mekanlarında, yapının formu ve yerleşimi yapının zeminle olan ilişkisine göre aydınlatma, havalandırma ve mekan organizasyonu başlıkları altında düşünülerek tasarlanmaktadır. Uzay boşluğunda

tasarlanan yaşam alanı için ise, yerçekimi ve yaşanabilir bir atmosfer sağlamak birincil yaklaşım olacaktır. Bu bağlamda su altı yapıları ele alındığında tasarımda form ve geometriyi etkileyen en önemli faktör hidrostatik basınçtır.

4.1 Form ve Geometri

“Resmettiğimiz her şeyi doğadan seçmeliyiz ve doğadan en güzel şeyleri almalıyız.”

Leonardo da Vinci



Şekil 4.1 Denizyıldızı [80], denizkestanesi [81] ve deniz kabukları [82]

Su altında konumlanan yapının dayanması gereken temel kuvvet, deniz veya okyanusun derinliğine bağlı olarak meydana gelen hidrostatik basınçtır. Su altı yapıları, formları ve geometrileri sayesinde basınca dayanmaktadırlar. Bu nedenle, form ve geometri hakkındaki bilgiler su altı tasarımı için temeldir ve diğer tasarım konularını yönettiği için ayrı olarak incelenmelidir. Doğaya bakarak, sezgisel olarak eğrisel formların hidrostatik basınca dayanan en uygun formlar olduğu söylenebilmektedir. İnsanlar tarafından yapılan su altı yapılarının şekli, su altı canlılarının doğal yapılarının şekli ve geometrisi ile örtüşmektedir. Denizkestanesi içinde onu koruyan ve muhafaza eden bir eğrisel kabukla, okyanusların derinliklerinde bulunan en bilinen örneklerden biridir [6].

Su altı habitatları hacim içinde kullanılan basınç değerlerine göre üç türde incelenebilmektedir [47].

Birinci tür; açık basınç habitatlarıdır. Bu habitatlarda hava basıncı dış su basıncına eşittir ve belirli bir derinliğin altındaki tesisler için özel gaz karışımları gerekebilmektedir. Bu kurulumun en büyük avantajı, dekompresyon prosedürleri olmadan dalgıçların su altı dalışlarından habitatlara rahat şekilde erişiminin sağlanmasıdır. Bununla birlikte, yüzeye erişim, dekompresyon gerektirmektedir.

ABD'nin eski Sealab tesisi bunlardan bir tanesidir. Çoğu açık basınçlı habitatlar basınç değişiminin genellikle büyük bir sorun olmadığı, yüzeye yakın yerlerde konumlandırılmaktadır. Bununla birlikte, bazıları zaman zaman daha derinlere yerleştirilebilmektedir [83]. Bu durumda derinliğe bağlı olarak dekompresyon hastalığına karşı yüzeyde ya da su altı habitatı bünyesinde bulunan basınç odalarını kullanmak gerekmektedir. Açık basınçlı tabanlar genellikle kapalı basınçlı olanlara göre daha ekonomik olmasının yanında yapım ve bakım yönünden de pratik olduğu için daha avantajlıdır.

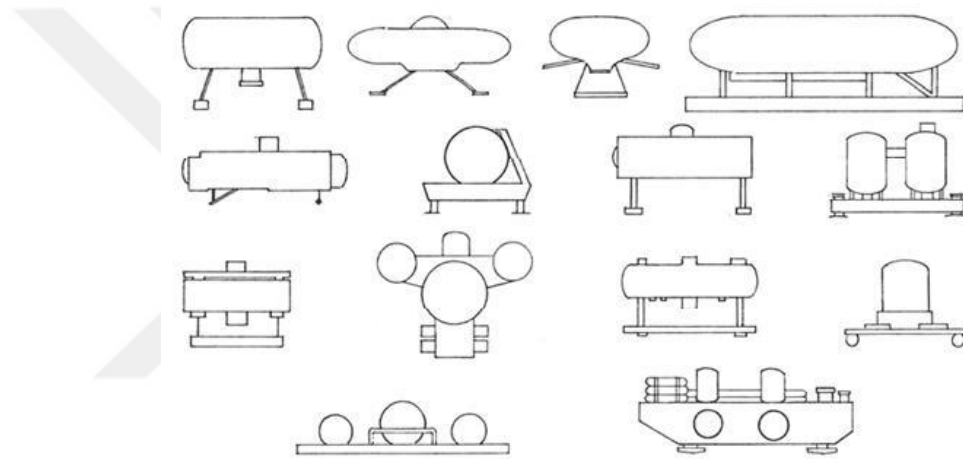
İkinci tür; kapalı basınç habitatları yüzey basıncına benzer iç hava basıncını korur ve tesise giriş ve çıkış hava kilitleri aracılığıyla kontrol edilmektedir. Bu düzeneğin temel avantajı, basınçlı su altı kabloları ve yüzey arasında basınçta bir bozulma yaşamadan kolay erişim sağlamasıdır. Bu kurulumun en büyük dezavantajı, yaşam destek sistemlerinin çok daha kapsamlı ve sağlam baskı gövdeleri gerektirmesidir. Ayrıca gerçekleştirilen herhangi bir dalışın dekompresyona sebep olmaması gerekmektedir. Fiji ve Dubai için önerilen ve turizm amaçlı tesisler olarak hayata geçirilen su altı otelleri kapalı basınçlı yaşam alanları olarak tasarlanmıştır [83].

Üçüncü tür ise; hem kapalı hem de açık basınç şemalarını içeren karma yapı türleridir. Tesisin bir kısmı, genellikle etrafı dalış işlemleri ile ilgili olanlar, açık basınç şemasında tasarlanırken, geri kalanı kapalı basınç tasarımındadır. Bitişik dekompresyon haznelere sahip hava kilitleri iki bölümü birbirinden ayırmaktadır. Bu tür bir tesis, iki tür yaşam destek sistemi içermesi gerektiğinden dolayı diğer türlerden daha maliyetli olmaktadır. Ancak tek bir tesiste her iki tür yaşam alanını bulundurmasıyla da avantajlar sağlamaktadır. Örneğin, kapalı basınç bölümü, yüzeyden alınan ekipman alış veriş ve personel ulaşımını büyük ölçüde kolaylaştırırken, açık basınçlı çalışma alanları ise habitat dışında yapılan dalış çalışmalarında dalgıçların ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir. Bilim kurgularda betimlenen su altı yaşam kompleksleri, üçüncü tür olan birleşik sistem su altı yaşam alanlarıdır [83].

Denizaltı geometrisi, su altı tesisleri tasarımının öncüsüdür. Geometri, sıkıştırmadaki kuvvetleri transfer ederek bir arkin temel prensibini izlemektedir. Bu durum, su altı araştırma tesislerinin silindirik ve küresel şekiller kullanılarak

tasarlanmasını mümkün kılan bir etkidir. Silindirik boru, iki nedenden dolayı denizaltıların ana elementidir; iç ekipmanı düzenlemek daha kolaydır ve bir küre dışında, dış basınca dayanacak en hafif, aynı zamanda en güçlü yapıdır [84].

Kubbe; çift eğriliği nedeniyle denizin dış çevresel kuvvetlerini ve hidrostatik basıncı kolayca dağıttığı için direnen föniküler yapıdır. Circloidal veya ovaloidal formlar, denizden dikey olarak gelen dereceli basınçlara cevap vermektedir ve yapının artan derinliğe göre geometrik şekli eğriliğine yansımaktadır. Bu tür formlar ayrıca iç okyanus dalgaları ve akıntılara karşı direnci en aza indirmektedirler. Su altı habitatlarına yapılan dikey ekler, su yüzeyi ve denizaltı ortamları arasında mümkün kılınan geçişi ifade etmektedir [4].



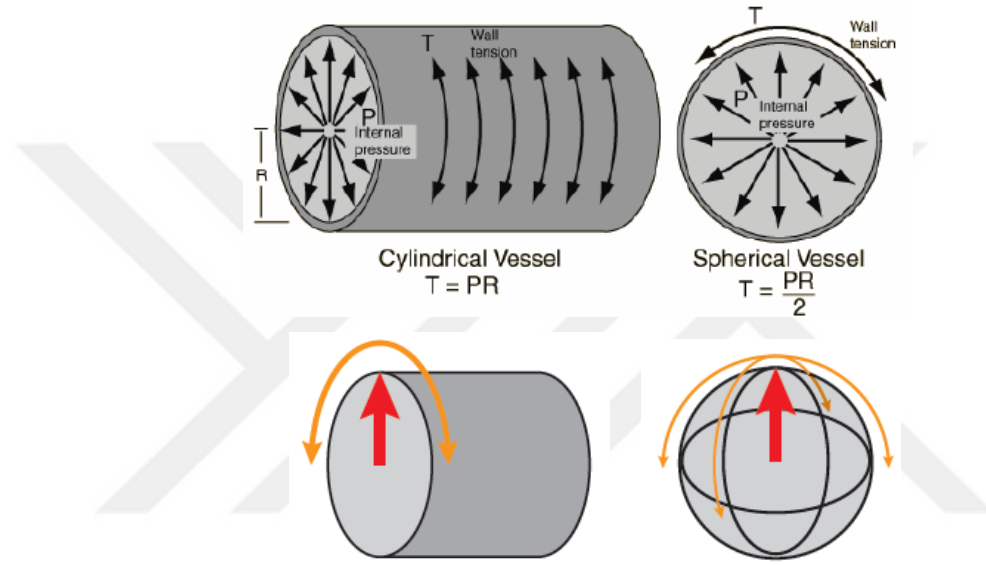
Şekil 4.2 Su altı habitatlarının çeşitli formları [37]

4.1.1 Basınç

Su altı yapısının form ve geometrisini etkileyen en önemli faktör su basıncıdır. Sabit su basıncına dayanabilecek yapıların tasarımı için seçilen malzemelerin su altı kullanımına uygun olması yeterli değildir. Doğru malzemenin doğru formda kullanılması gerekmektedir. Bu bölümde hangi formların hangi nedenlerle su altı yapılarına daha uygun olduğu, fizik kurallarına bağlı olarak açıklanacaktır.

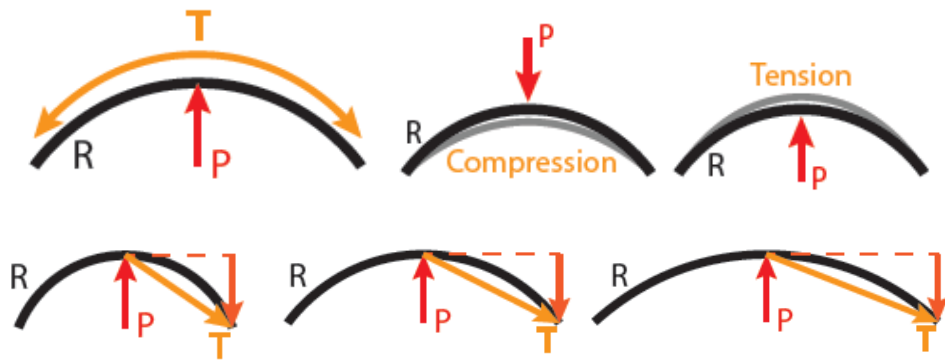
Basınç, kuvvetin etki ettiği alana bölünmesiyle ortaya çıkan bir kuvvettir. Bu basıncın kuvveti, nesne üzerindeki yüzeye dik olarak uygulanmaktadır. Şekil 4.3'te görünen nesnelere kütle içinde bulunan bir gaz basıncına dayanmaktadırlar, ancak prensipler dışarıdan gelen su basıncı ile aynı şekilde çalışmaktadır. Gaz basıncıyla

çalışmak daha kolaydır, çünkü gazın içinde bulunduğu kütle her tarafa eşit basınç uyguladığını bilinmektedir. Su basıncı ise yüksekliğe bağlı olarak nesnenin tabanında üst kısımlara göre daha fazla basınç uygulamaktadır. Bir nesneye uygulanan basınç, kabuk malzemesinde, malzemeye etkiyen kuvvetleri engellemek için gerginliğe neden olmaktadır. Belirli bir kütle için yarıçapı ve iç basınç dengesi için; küresel bir kap, silindirik bir kabın duvar geriliminin yarısına sahip olmaktadır. Bu nedenle, her taraftan eşit basınca dayanabilecek en verimli şekil küre olarak kabul edilmektedir [84].



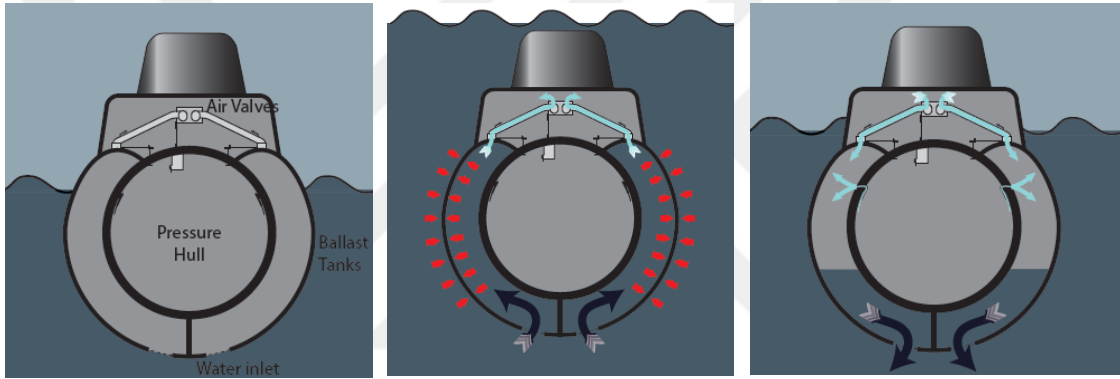
Şekil 4.3 Basınç ilkeleri [84]

Yüzey gerilimi, basınca ve kürenin yarıçapına bağlıdır. Eşit bir basınçla, yarıçap arttırıldığında yüzey gerilimi de artmaktadır. Bu ilke bağlamında P basınç kuvvetinin eşit kaldığı, fakat bu kuvvete karşı koymak için T geriliminin artan yarıçap ile artması gerektiği, Şekil 4.4'te gösterilmiştir [84].

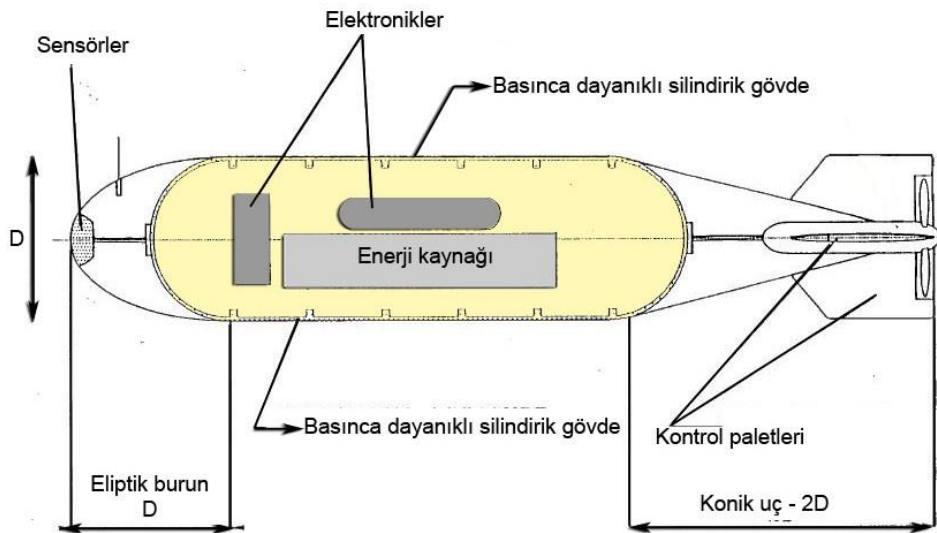


Şekil 4.4 Yüzey gerilme ilkeleri

Denizaltıların çalışma sistemi: Denizaltılarının suya indirilmesi için sahra tankları deniz suyu ile doldurulmaktadır. Tanklar boşken içlerinde sadece hava bulunmaktadır. Tanklara doldurulan deniz suyu havadan daha ağır olduğu için denizaltı suyun altına doğru inebilmektedir. İstenilen derinliğe inince, su tanklarındaki suyun bir kısmı basınçlı hava ya da elektrikli pompalarla dışarı atılmaktadır. Atılan suyun miktarının, kaldırma kuvveti sıfır olacak şekilde ayarlanması durumunda denizaltı su içinde asılı şekilde dengede durabilmektedir. Yakıt veya kullanılan diğer maddelerin miktarında azalma olduğu zaman denizaltı ağırlığını dengelemek için dengeleme tankları denilen küçük depolara deniz suyu doldurulmaktadır. Sahra tanklarına basınçlı hava gönderilerek tank içindeki suyun boşaltılmasıyla hafifleyen denizaltı tekrar yüzeye çıkabilmektedir (Şekil 4.5) [85] .

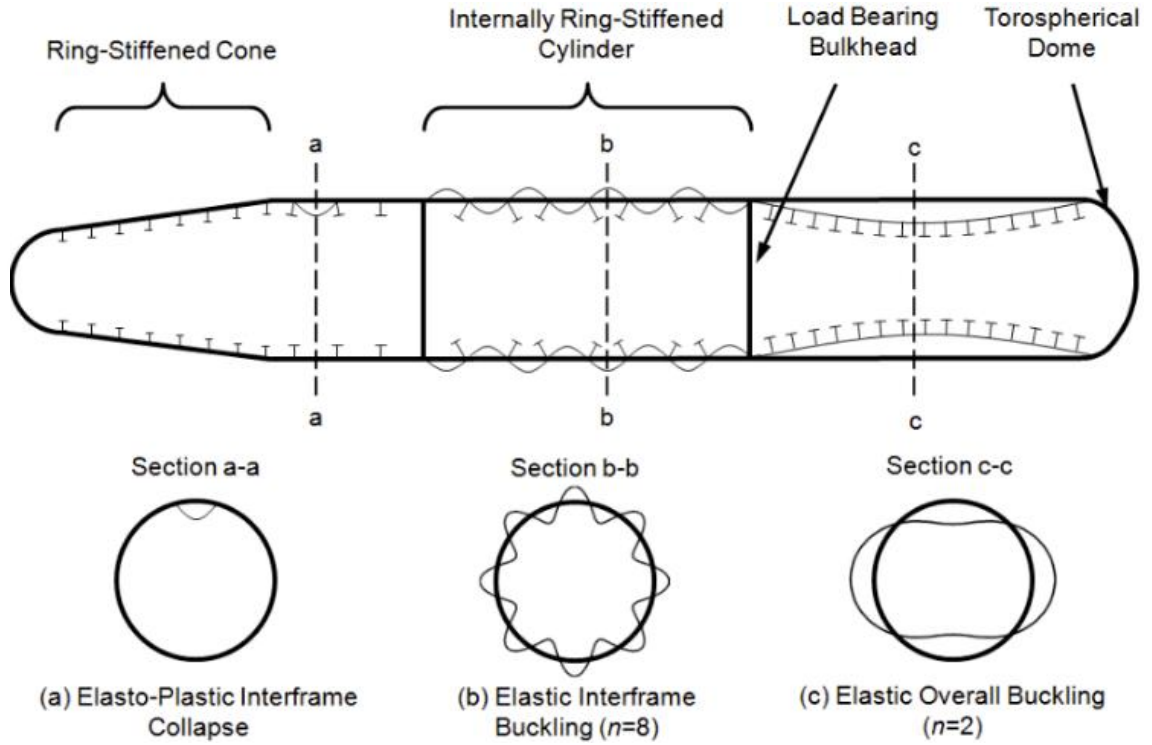


Şekil 4.5 Denizaltı batırma ilkeleri [84]



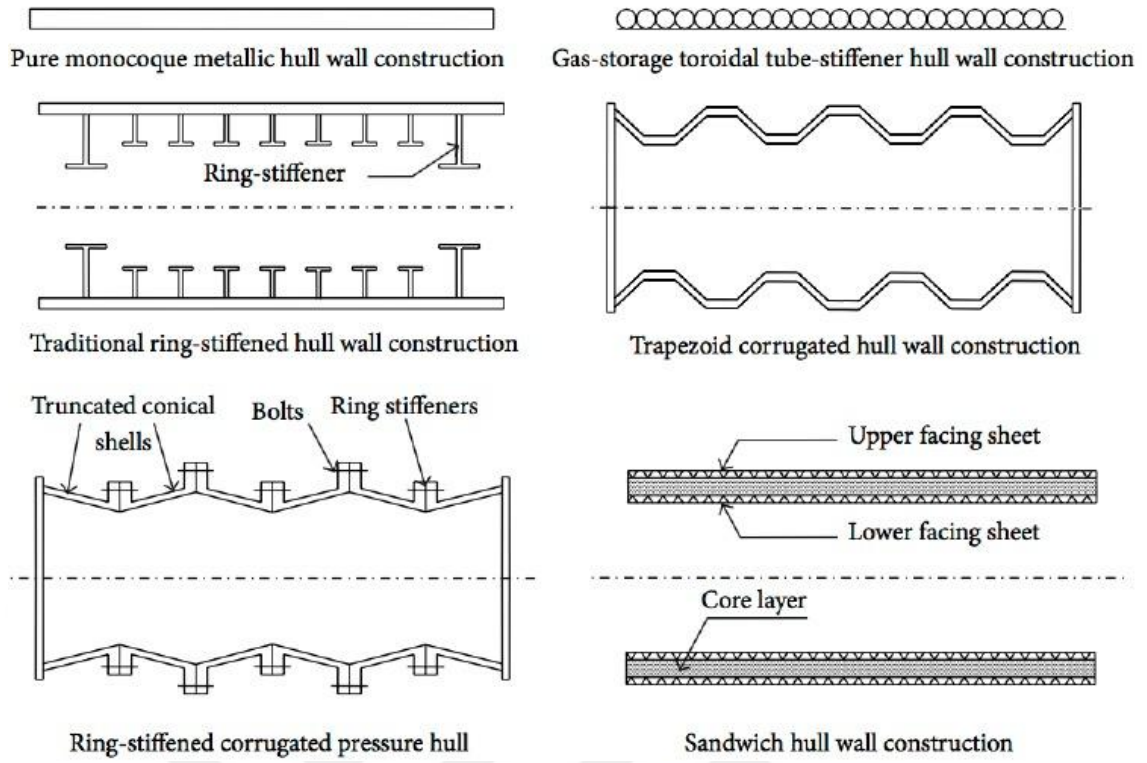
Şekil 4.6 Konsept denizaltı çizimi [86]

Su altındaki baskı gövdelerinin dışarıdan gelen olası burkulma basınçlarına karşı kendilerini destekleyebilmeleri için güçlendirilmiş yapısal iskeletlere sahip olmaları gerekmektedir. Yapısal gerilim genellikle yüzey alanlarına bağlı olduğundan, basınca dayanıklı gövde bölümünün geometrik tasarımını etkilemektedir. Bu nedenle birçok su altı habitatı küre ve silindir gibi eğrisel hatlarda simetrik olarak tasarlanmıştır [84].



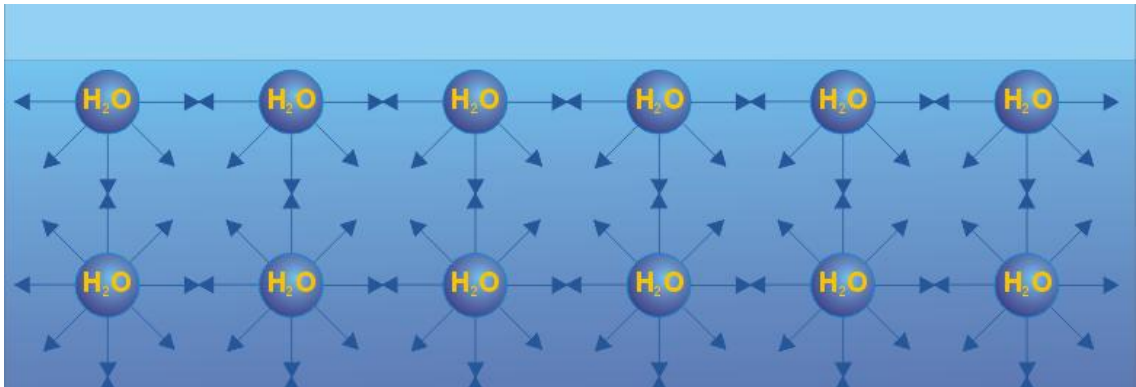
Şekil 4.7 Tipik basınç gövdesi yapısı ve burkulma modu [87]

Günümüzde su altı habitatları için kullanılan baskı gövdeleri güçlendirilmiş çelikten yapılmaktadır, ancak daha gelişmiş versiyonlar için, daha hafif ve daha sert kompozit alaşımlar kullanılabilir. İlerleyen zamanlarda teknolojinin gelişmesiyle grafen veya karbon nanotüplerinin de kullanılması mümkün olabilecek alternatif malzemelerdir [84].



Şekil 4.8 Basınç gövdesi modelleri [88]

Yüzey gerilimi açıklamasını Doç. Dr. H. Hacızafloğlu şu şekilde yapmıştır [89]: “Sıvılarda iç kısımlardaki moleküller, çevresindeki komşu moleküller tarafından her yönden eşit olarak kohezyon kuvvetleri ile çekildiği için dengededir. Yüzeğe yakın moleküller (hava ile temas eden moleküller) ise üstten çekilemez. Sadece aşağıya ve sağa-sola doğru çekilir. Bu durumda yüzeyde bir gerilim oluşur. Bu gerilime yüzey gerilimi denir. Yüzey gerilimi teorik olarak, sıvı yüzeyini 1 m² genişletebilmek için yapılması gereken işi (enerjiyi, Joule) ifade eder.”



Şekil 4.9 Su moleküllerinin çekimi [89]

Su damlalarının küresel olması yüzey gerilimi ile açıklanmaktadır. Dünyanın yuvarlak olmasının nedeni de yüzey gerilimi olarak bilinmektedir. Tüm maddeler minimum enerji seviyesinde olmak isterler. Yüzeyin, minimum enerji seviyesinde olması için küre şeklinde olması gerekmektedir. Çünkü küre, yüzey alanı en küçük olan geometrik şekildir. Kohezyonun büyük olduğu civada yüzey gerilimi de büyüktür ve taneler tam küreseldir (Şekil 4.10). Nişasta-su karışımının yüzey gerilimi bir insanı taşıyabilecek (hızlı hareket etme koşulu ile) kadar büyüktür [89].



Şekil 4.10 Civa- yüzey gerilimi

Gerek yüzey gerilimi kanunuyla, gerekse basınca gösterdiği yüksek dirençle, iç ve dış basınca dayanabilen en uygun geometrinin küre olduğu kabul edilmektedir. Küre formu aynı zamanda en az materyalle belirli bir hacmi kapsayabilen minimum yüzey alanına sahip kullanışlı bir formdur.

4.1.2 Gelgit ve Akıntı

Galileo Galilei 1632'de yayımladığı "Gelgit Üzerine Diyalog" kitabında gelgit için "Denizdeki suların, Dünya'nın Güneş etrafında dönmesi sonucu savrulmasıdır," diyerek yanılıya düşmüştür. Gelgitin kütle çekim kuvveti etkisiyle oluştuğu 1687'de Isaac Newton'ın "Doğa Felsefesinin Matematiksel İlkeleri" kitabında açıklanmıştır. 18. yy'da su yüksekliğini hesaplayacak tablolar geliştirilmiştir.

Gelgit, bir gök cisminin başka bir gök cismine uyguladığı kütle çekimi nedeniyle her iki cisimde meydana gelen şekil bozulmalarıdır. En çok bilineni, Ay ve Güneş'in görelî konumlarındaki değişimler sonucu kütle çekimlerinde meydana gelen farklılıklar nedeniyle deniz seviyesindeki yükselme ve alçalmalardır [90].

Okyanuslarda, kenar ve iç denizlerde gelgit büyüklükleri farklılık göstermektedir. Gelgit olayının oluşabilmesi için, su yüzeyinin yeterince büyük olması gerekir, aksi halde çekim gücü önemsiz kalır. Bu nedenle gelgit olayı okyanuslarda daha çok etkilidir. Suların kabarma ve çekilme düzeyleri arasındaki dikey yükselti farkına gelgit genliği denir. Gelgit genliği okyanusların ortasında 60-80 cm, kenarlarında 10-20 m, iç denizlerde ise 20-30 cm kadardır. Örneğin Akdeniz'de suların hareketi ancak 20-30 cm'dir [91].

Yeryüzünde kara parçaları ve su kütleleri homojen olarak dağılmadığı için, dünyanın her yerinde gelgit olayı aynı şekilde gerçekleşmemektedir. Bazı bölgelerdeki su kütlelerinin hareketleri kara parçaları tarafından engellendiğinden dolayı farklı gelgit çeşitleri meydana gelmektedir. Okyanuslarda ve denizlerde meydana gelen gelgit doğa olayı, yeryüzündeki konumuna göre göz ardı edilemeyecek öneme sahip olabilmektedir.

Dünya'da gelgit olayının en yoğun hissedildiği yerlerden birisi olan Kanada'nın Fundy Körfezi'nde gelgit suların kabarmasıyla çekilmesi arasındaki su seviyesi farkı bazı bölgelerde 14 metreye kadar çıkabilmektedir. Dünyanın en büyük gelgit değişimi ise yine bu bölgede 16.3 metre olarak kaydedilmiştir. Türkiye'de ise gerek Akdeniz, Karadeniz ve Ege Denizi'nin bir iç deniz olması, gerekse bu denizlerin okyanusla bağlantısının tek bir yerden sağlanması nedeniyle su yüksekliği değişikliğinin günlük hayatta fark edilecek bir etkisi yoktur [92].

Gelgit değişimiyle meydana gelen su yüksekliği farkının yanında akıntı hızı da su altı yapılarının statik yönden etkileyen önemli bir faktördür. Güçlü akıntılar çoğunlukla daha büyük su kütlelerini birbirine bağlayan dar geçitlerde meydana gelmektedir. Akıntı hızları knot cinsinden ifade edilir ve genellikle 0,1-5 knot arasında değerlerle karşılaşılmaktadır. Ancak istisnai durumlar da mevcuttur. San Francisco'daki Golden Gate'de bazen 5 knot'tan fazla akıntıya rastlanmaktadır. British Columbia, Seymour Narrows'da ise bazen 13 knot'tan fazla akıntı meydana geldiği tespit edilmiş değerlerdendir [93].

Günümüzde su yüksekliği, akıntılar ve gelgitin oluşacağı zaman bilgisayarlarla hesaplanmaktadır [90]. Gelgitin su yüksekliğine etkisini hesaplayabilmek için kullanılan elektronik aletler harici, gelgit tabloları, gelgit eğrileri ve 1/12 kuralı da

belli başlı yöntemlerdendir. Gelgit yüksekliklerini ifade etmek için gelgit tabloları hazırlanmıştır. Gelgit tabloları, limanlardaki gelgit yüksekliklerinin sadece uç değerlerini vermektedir. Suların minimum ve maksimum seviyeleri arasındaki anlık su yüksekliğini hesaplamanın en iyi yolu gelgit eğrisidir ama her zaman o bölge için tam bir gelgit eğrisi bulup kullanmak mümkün olmayabilir. Bu nedenle 1/12 Kuralı (Twelth's Rule) adı verilen pratik bir hesaplama yöntemi mevcuttur [92].

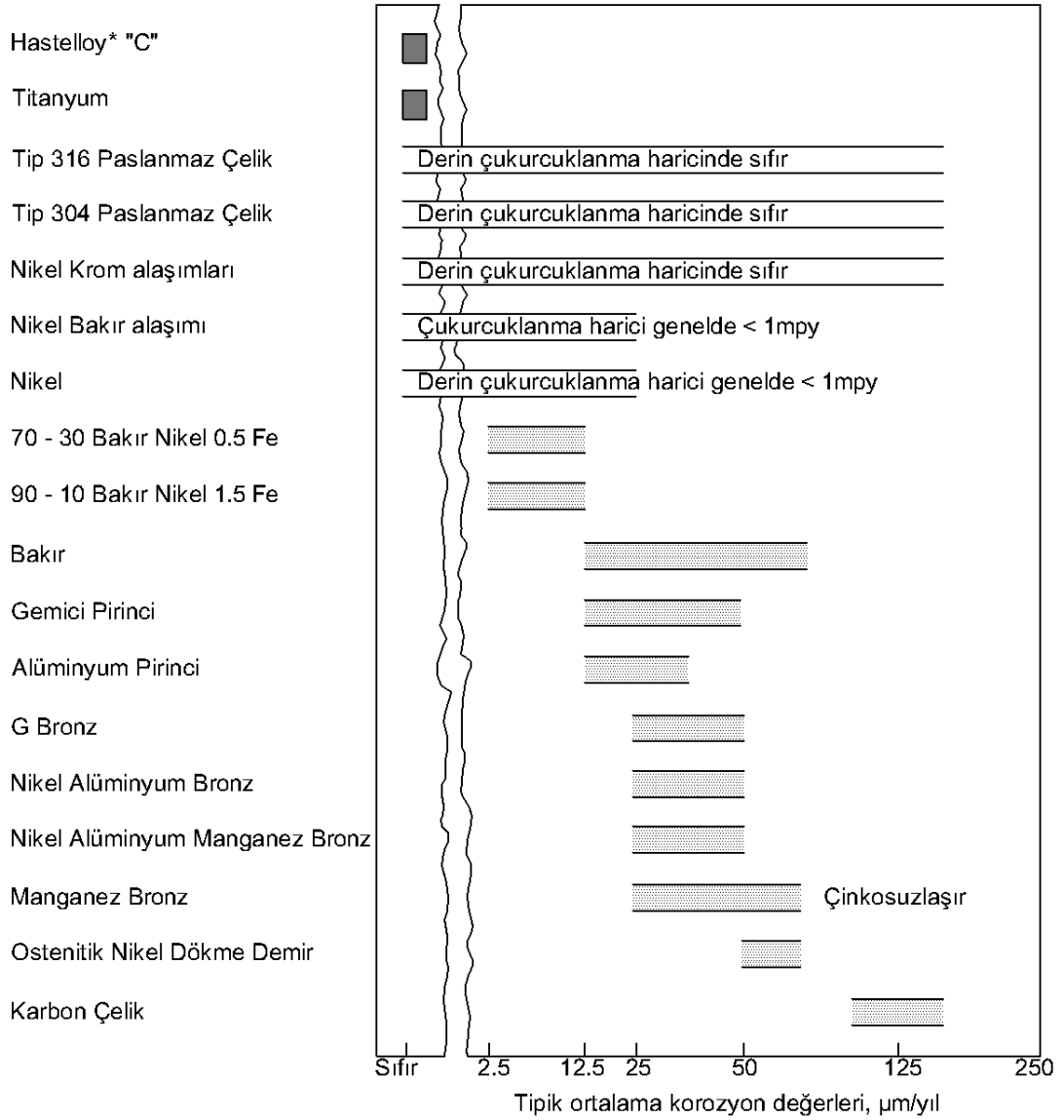
Gelgit olayı su altı habitatlarını etkileyecek iki önemli unsura sebep olmaktadır. Bunlar; su seviyesinin yükselip alçalması ve bu harekete bağlı olarak oluşan akıntıdır. Su seviyesindeki değişiklikler su altı yapısının konumunu ciddi şekilde etkiler. Elektronik aletlerle ve gelgit eğrileriyle yapılan hesaplama yöntemleriyle elde edilen sonuçlar ışığında tasarım yapılırken düşünülmesi gereken unsurlar şu şekildedir: Su seviyesi sınırlarının yapının konumu için uygunluğuna karar verildikten sonra gelgitte oluşan akıntı yönü ve şiddetine bağlı olarak, yapının geometrisi uygun şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca yapı üzerinde akıntı sebebiyle meydana gelecek yüklerden dolayı yapının su altındaki akıntıya karşı yerleşim şekli de dikkate alınması gereken önemli bir konudur. Akıntı hesapları yapılırken gelgit etkisinin yanında yer şekilleri ve rüzgar gibi etkenlerin de su seviyesini ve akıntı hızını ciddi ölçüde etkileyebileceği dikkate alınmalıdır.

4.2 Malzeme

Boru hatları ve denizaltılarda kullanım için yüksek mukavemetli çelikler incelenmiş ve farklı çelikleri işleme yollarının avantaj ve dezavantajları dikkate alınmıştır. Rulo, normalize, su verilerek temperlenmiş ve termomekanik işlem görmüş çeliklerin performansı ve mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır [94].

Deniz ortamı, malzemelerin çalışması gereken en sert doğal ortamlardan biridir. Rüzgar, dalgalar ve akıntılar nedeniyle çok çeşitli sıcaklıklara rastlanabilmektedir ve bu etkenler malzemeler üzerinde önemli yükler oluşturmaktadır. Ayrıca su altında kullanılan malzemeler için bir diğer önemli faktör ise deniz suyunun yüksek derecede aşındırıcı olmasıdır. Deniz suyunda en yaygın metallerin ve alaşımların korozyon değerleri Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Bu şekle göre, hastelloy C alaşım maddesinin ve titanyumun korozyona karşı en dayanıklı malzemeler

olduğu, buna karşı en yaygın kullanılan deniz yapı malzemesi olan karbon çeliğin en düşük korozyon performansını gösterdiği görülmektedir [94].



Şekil 4.11 Malzemelerin deniz suyu ile korozyon değerleri [94]

Korozyon nedir? Doç. Dr. Abdurrahman Asan korozyon tanımını şu şekilde yaptırmıştır; “korozyon en genel anlamda malzemelerin çevre etkisiyle bozularak kullanılamaz hale gelmesidir. Ancak bu terim daha çok metal veya alaşımlarının buldukları ortam ile kimyasal reaksiyonlara girerek metalik özelliklerinin kaybetmesi olayı için kullanılır.”

Ortam koşullarına göre teknik olarak doğru malzemenin seçilmesi durumu çok önemlidir. Aksi halde Asan'a göre aşağıdaki problemler ortaya çıkabilir [95].

- Malzemenin delinmesi ile oluşan ürün kaybı,
- Çevreye yayılan ürünün neden olduğu kirlilik ve zararlı etkiler,
- Ürünün yanıcı olması durumunda yangın veya patlama tehlikesi, şehir suyuna karışması durumunda salgın hastalık tehlikesi,
- İşletmenin durması sırasındaki ekonomik kayıplar,
- Korozyona uğrayan malzemenin değiştirilmesi için harcanan işçilik.

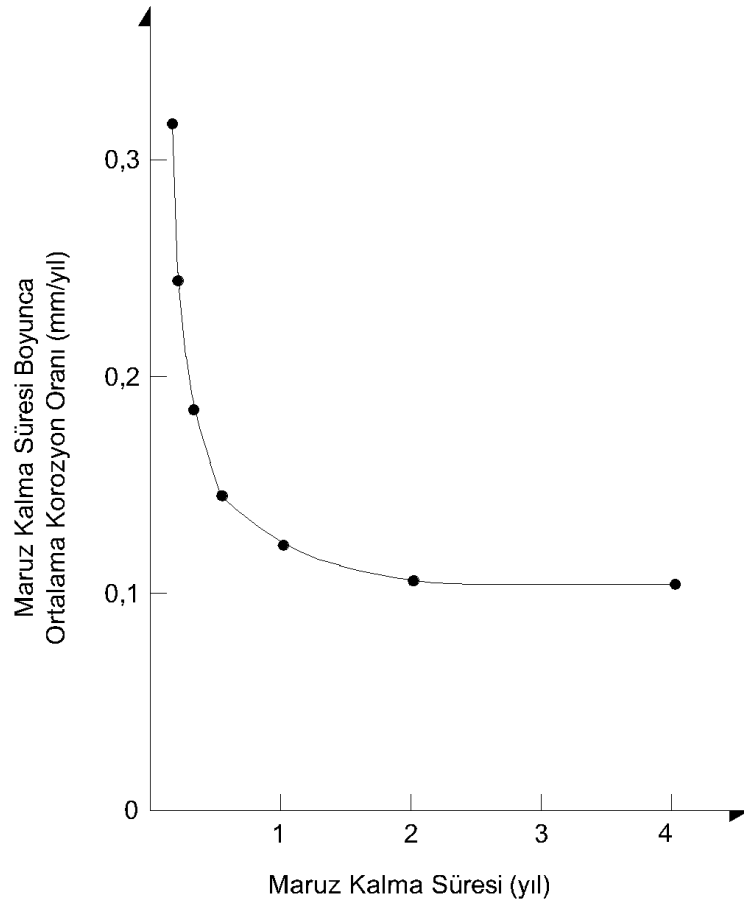
Korozyon oluşumuna etki eden faktörler; malzeme seçimi, parça boyutu, coğrafi yerleşim, ısı işlem, elektrolit, mikrobiyolojik organizmalar ve mekanik gerilmelerdir. Korozyon ortam çeşitlerinden biri olan su altı ortamında korozyona etki eden faktörler; oksijen konsantrasyonu, pH değeri, kalsiyum karbonat çökmesidir. Üretimi düşünülen bir parçanın korozyona karşı olan direncinde malzeme seçimi ilk sırada gelmektedir. Özellikle korozyon ortamlarında (atmosfer, su altı, yer altı ve deniz ortamı) çalışan parçaların üretimi esnasında korozyona daha az meyilli metal veya alaşımların kullanılması gerekmektedir. Birbirine bağlanmış iki farklı metal arasında meydana gelecek korozyonun hızı bu metallerin aktivitesine bağlıdır. Aktiviteleri arasındaki fark ne kadar büyük olursa korozyon o kadar hızlı meydana gelmektedir. İletkenliği oldukça yüksek olan deniz suyu, temas ettiği metalik yapılar için şiddetli korozyon bir ortam oluşturur. Özellikle demir ve hafif çelik deniz suyu içinde süratle korozyona uğramaktadır. Çeliğin denizle arasındaki ilişkiye göre korozyon hızı Şekil 4.12'de gösterilmiştir [95].



Şekil 4.12 Çeliğin deniz ortamında korozyon hızı [95].

MPY (mils per year), bir boru sistemi veya diğeri metalik yüzeylerdeki korozyon oranı değerlerini ifade etmektedir. Metal yüzeylerin malzeme veya ağırlık kaybını hesaplamak için kullanılmaktadır. Metrik ifadede bir mil, 0.0254 mm'ye eşittir. Korozyon hızı da MMY (Millimeter per year) cinsinden hesaplanabilmektedir. Açık su sisteminde yaklaşık 1 MPY korozyon hızı normal bir değerdir. 10 MPY civarında korozyon oranına sahip olması müdahale edilmesi gerektiğini gösterir. 20 MPY ve üzeri korozyon oranları, korozyonun metali hızlı bir şekilde yediğini gösterdiği için hemen müdahale edilmesi gerekmektedir [96].

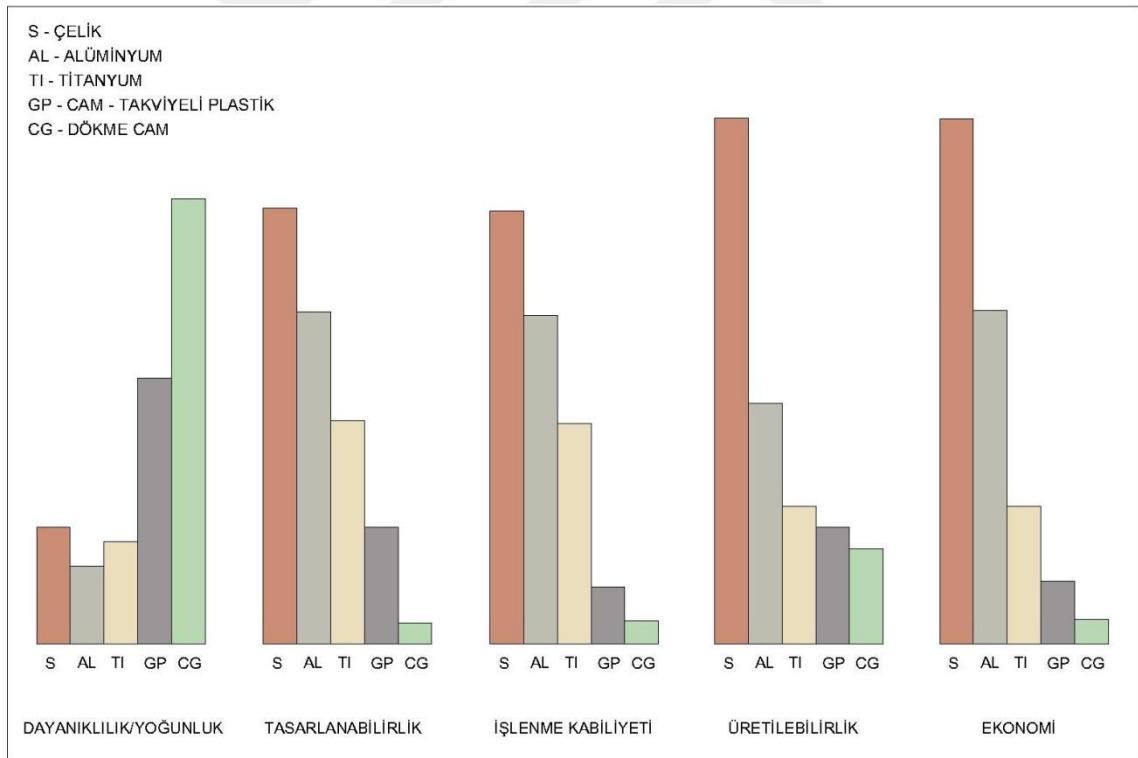
Denizcilik endüstrilerinde mild steel (düşük karbonlu çelik) yaygın olarak kullanılması, korozyona dayanıklılığı ve çeşitli formlarda kolayca üretilebilmesi gibi faktörle dayanmaktadır. Aynı zamanda, genel mekanik özellikleri de tüm gereklilikleri yerine getirmektedir. Korozyona dirençli diğeri malzemelerin aksine üretimi ekonomiktir ve istenilen tonajlarda kolayca üretilebilmektedir [94].



Şekil 4.13 Düşük karbonlu çeliğin korozyonu [94]

Titanyum, deniz suyundan dolayı oluşabilecek korozyon etkilerine karşı mükemmel bir dirence sahiptir. Ayrıca çarpma ve kavitasyon hasarlarına karşı da dirençlidir. Ancak maliyeti yüksek bir malzeme olduğu için genellikle tercih edilememektedir. Cupro nikel alaşımı, kirlenme önleyici özelliklerle birleştirilmiş korozyona karşı iyi bir dirence sahiptir ve genellikle daha çok boru malzemesi olarak kullanılmaktadır. Boru plakaları genellikle pirinç, alüminyum pirinç veya alüminyum bronzdan üretilmektedir [94].

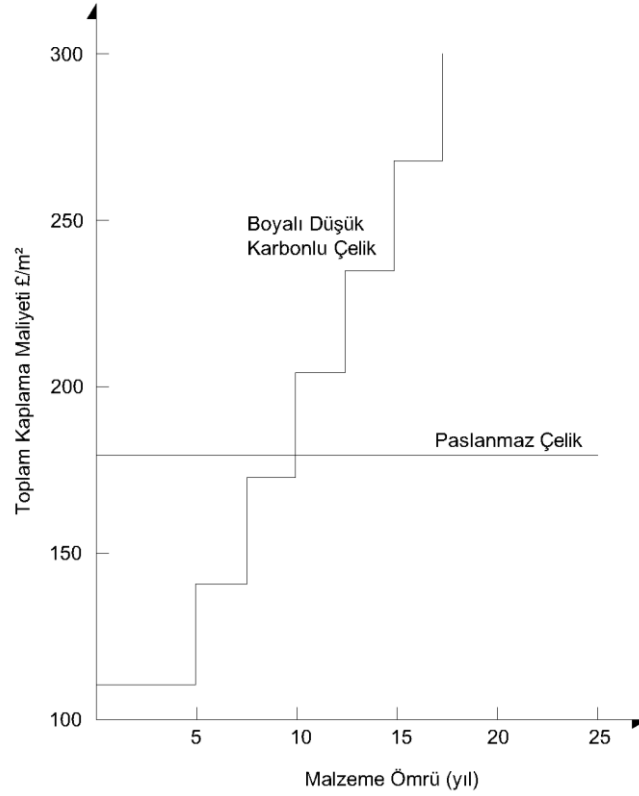
Su altı yapıları tasarımında malzeme seçimini etkileyen faktörlerin karşılaştırması Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Çelik, alüminyum, titanyum, cam-güçlendirilmiş plastik ve dökme cam arasında dayanıklılık, tasarlanabilirlik, işleme kabiliyeti, üretilebilirlik ve maliyet alanlarında karşılaştırılmıştır. Dayanıklılık dışında diğer alanlarda çelik kullanımı avantajlı görünmektedir. Bunun aksine dökme cam kullanımı dayanıklılıkta yüksek direnç gösterirken diğer alanlarda düşük seviyede kalmıştır.



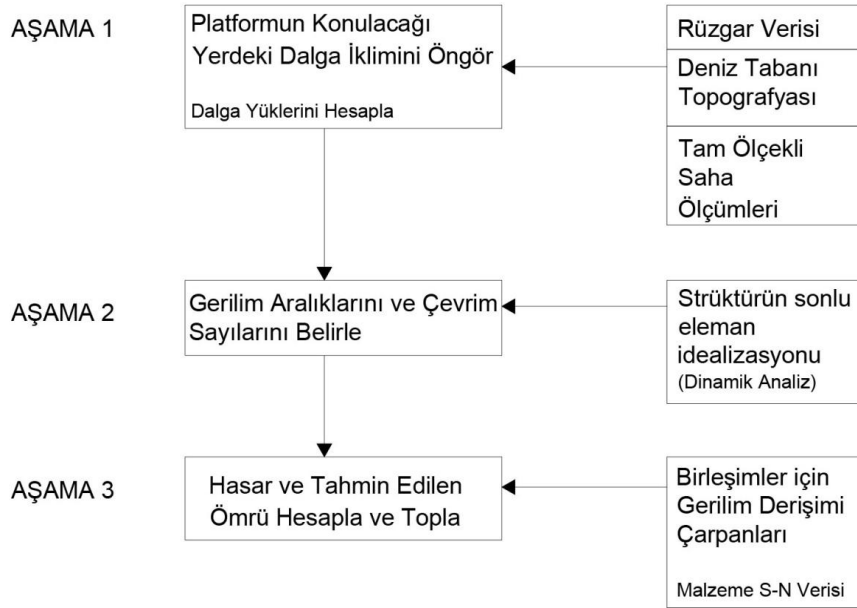
Şekil 4.14 Malzeme seçiminin su altı kullanımı için niteliksel karşılaştırması [37]

Ayrıca Şekil 4.15'te, paslanmaz çelik ile boyalı hafif çelik malzemesinin 25 yıllık maliyet grafiğinden çıkarılacağı üzere; paslanmaz çeliğin ilk maliyeti daha yüksek

olmasına rağmen yıllar içinde boyalı hafif çeliğin bakım maliyeti paslanmaz çeliği geçmiştir. Bu nedenle malzeme seçimi sadece ilk maliyete bakılarak değil, uzun yıllar içinde yapılması gereken bakım maliyetleri de hesaplanarak yapılmalıdır.



Şekil 4.15 Paslanmaz çelik ve boyalı hafif çelik maliyetlerinin karşılaştırması [94]



Şekil 4.16 Tipik metal yorulması analizinin akış şeması [94]

Su Altı Yapılarında Betonarme Kullanımı: Betonarme yapıların okyanus yapılarında uzun bir kullanım tarihi bulunmaktadır. En öne çıkanlar; Kuzey Denizi platformları, Condeep, Ekofisk ve Seatank'tır. Mavna tipi yapılar, batardolar, köprü dubaları, deniz surları ve temelleri, beton tasarımı ve yapımı için mevcut verileri kullanan diğer yapılardır. Beton, birçok ülkede hammadde bolluğu olduğundan dolayı ekonomik bir ürün olarak görünmektedir. Betonarme yapılar maliyet düşürücü bir önlem olarak görülmesinin yanında şiddetli deprem şoklarına karşı dayanma üstünlüğü kanıtlanmış dirençli bir malzeme olmasıyla sıklıkla tercih edilmektedir. Deniz yapılarının inşası için kullanılan malzemelerin, okyanusun tüm olumsuz etkilerine karşı koyabilmek için gerekli fiziksel gereksinimlere sahip olması gerekmektedir. Betonarme her şekle kolayca adapte olabilen kolay kalıplanabilir özelliğe sahiptir. Betonun yekpare karakteri, maksimum elastikiyet miktarı ile en yüksek mukavemet ve sertliğe sahiptir. Beton malzeme kullanımındaki başarısızlık durumu, uygun şekilde tasarlanmış ve inşa edilmiş diğer yapısal malzemelere göre daha fazla değildir [4]. Bugüne kadar, betonun deniz yapılarındaki varlığının çelik veya ahşap malzemelerle karşılaştırılmasında ortaya çıkan en iyi yanı korozyona ve deniz canlılarına karşı dayanıklı bir malzeme olarak uzun ömürlü olmasıdır. Betonarmenin bir başka avantajı ise, gerekli olan küçük miktarlarda çelik takviye donatıları ile büyük çelik imalatçılarına bağımlılığı en aza indirerek yerel olarak elde edilebilir olmasıdır. Bu durum malzemeye hızlı bir şekilde erişilerek kullanılabilirliğini arttırır ve gönderileri beklemeden inşaatın hızla ilerleyebileceği anlamına gelmektedir. Betonarme yapıların ahşap yapılarla kıyaslaması yapıldığında, ahşabın bazı bölgelerde betonarme yapılara göre ilk maliyetinin daha düşük olmasıyla birlikte, uzun vadede tamiri ve bakımı nedeniyle yüksek maliyetlere neden olduğu görülmektedir.

Bu nedenle, deniz yapılarının inşası için beton seçimi; kanıtlanmış güvenilirliği, kullanılabilirliği, kullanım çeşitliliği, herhangi bir şekle adapte edilebilirliği, yüksek mukavemeti, bakım gerektirmeyen yapısı, korozyona ve deniz canlılarına karşı yüksek direnci ve verimli kullanımı üzerine kuruludur. Betonarme ayrıca yanmaz, düşük ısı iletkenliğine sahip bir malzemedir ve termal gerilmeler altında kararlı bir yapısı vardır [4].

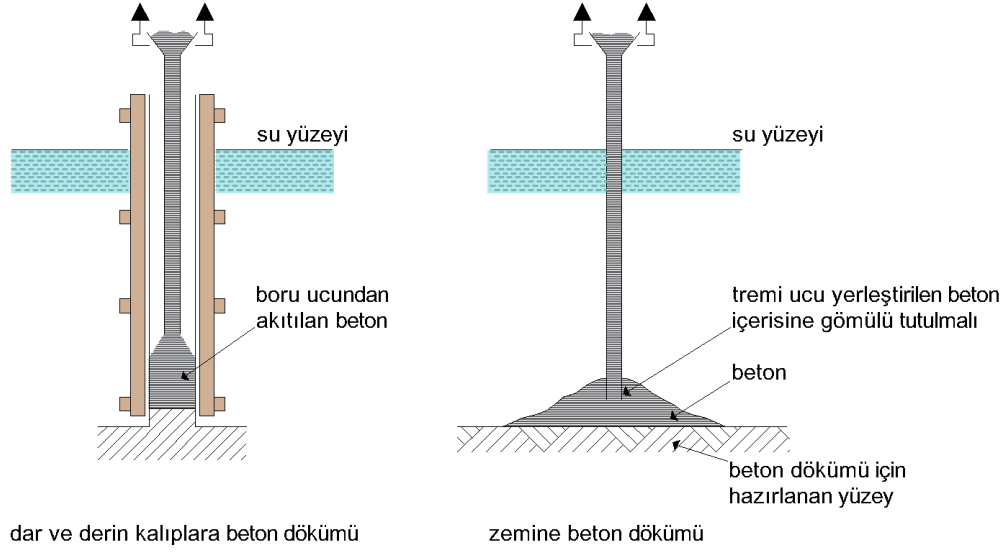
Su altı betonu üç bileşenden oluşmaktadır. Kum veya çakıl, su ve çimentodur. Su altı inşaatı da dahil olmak üzere çoğu inşaat için kullanılan çimento türü Portland çimentosudur. Isıtılmış kil ve kireçten yapılan Portland çimentosu betonun suya batma yeteneğinin en büyük sırrıdır [97].

“Portland çimentosu” olarak adlandırılan ve diğer hidrolik bağlayıcılardan daha üstün özelliklere sahip olan bağlayıcı, 1824 yılında İngiltere'nin Leeds kentinde, Joseph Aspdin isimli bir duvarcı ustası tarafından ince taneli kil ve kalker karışımının pişirilmesi ve daha sonra öğütülmesi ile elde edilmiştir. Joseph Aspdin, elde ettiği bu bağlayıcı için 1824 tarihinde Portland Çimentosu adı altında patent almıştır. Bu ürüne su ve kum katılarak zamanla sertleşme olduğunda, ortaya çıkan malzemenin İngiltere'nin Portland adasından elde edilen yapı taşlarına benzer olduğu görülmüştür [98].

Su altı betonu; İngiliz Tüneli (İngiltere ve Fransa'yı birbirine bağlayan), Akashi-Kaikyo köprüsü (Japonya), Büyük Kuşak köprüsü (Danimarka) ve Messina Boğazı köprüsü gibi projelerinde kullanılmış ve yine bu projelerde geliştirilmiştir. Su altında kullanılacak beton, şiddetli basınçlara dayanıklı olması gerekmektedir. Bu durumda karışımlar çok önemlidir. Bu nedenle, su altı betonlarında kullanılan çimentolar üçlü veya dörtlü çimentolar, yani çoklu harmanlanmış çimentolardır. Su altı beton bileşenlerinin oranı, projenin gereksinimine göre özel olarak ayarlanmalıdır [97].

Hayata geçirilen su altı yapıları incelendiğinde genellikle betonarme su altı yapılarının uygun beton kalitesiyle prefabrikasyon olarak üretilip, su altına özel yöntemlerle taşınarak yerleştirildiği görülmüştür. Bununla birlikte su altında beton dökülerek inşa edilen su altı yapıları da bulunmaktadır.

Su Altında Beton Dökme Teknikleri: Su derinliğinin az veya çok olmasına göre farklı teknikler geliştirilmiştir. Bunlar prepakt betonu, tremi betonu, pompa betonu, kova yöntemi, çuval yöntemi gibi isimler almaktadırlar. Su altında beton dökülmesi sırasında suyun dalga hareketinin mutlaka önlenmesi gerekmektedir. Bunun için betonun döküleceği alanın batardolarla çevrilmesi gerekmektedir. Batardolar, palplanş adı verilen ve birbirine geçen özel çelik profillerin zemine çakılması suretiyle elde edilmektedir [99].



Şekil 4.17 Su altında tremi yöntemiyle beton dökümü [100]

Akrilik Cam: Teknik olarak bir cam türü olmasa da, Polimetil metakrilat veya PMMA olarak da bilinen akrilik cam, genellikle cam için bir alternatif olarak kullanılmaktadır. Malzeme ilk kez 1936'da Rohm ve Haas Company tarafından Plexiglas adı altında ticari kullanıma hazır hale getirilmiştir. Akrilik camın icadından hemen sonra, İkinci Dünya Savaşı sırasında denizaltı periskoplarında ve uçak ön camlarında kullanıldığı görülmüştür [84].

Akrilik cam ve konvansiyonel cam saydam oldukları için birbirine çok benzer görülmelerine rağmen aslında çok farklı özellikleri bulunmaktadır. Konvansiyonel cam kırılkan yapıdadır, akrilik cam ise parçalara ayrılmadan çatlayarak direnç gösterebilmektedir. Aynı kalınlıktaki tabakaları karşılaştırırken, temperli cam ve akrilik camın gücü neredeyse aynıdır. Bununla birlikte, akrilik camın gerilme direnci, temperli camınkinden daha düşüktür. Akrilik cam, ışığı büken ve özellikle havuz veya akvaryum için kalın pencereler olarak kullanıldığında yeşil bir görünüme sahip olan geleneksel camdan daha yüksek şeffaflığa sahiptir. Temel olarak, cam panel ne kadar kalınsa o kadar fazla ışık emilir, akrilik cam ise hiçbir ışığı emmez. Akrilik cam, yüksek yalıtım değeri nedeniyle tercih edilmesi avantajlı bir malzemedir. Bununla birlikte, temperli cam, erimeden veya başka şekilde deforme olmadan çok daha yüksek sıcaklıklara dayanabilmektedir. Bu durum yangın güvenliği önlemleri akrilik cam kullanımını engellediğinde, temperli camı

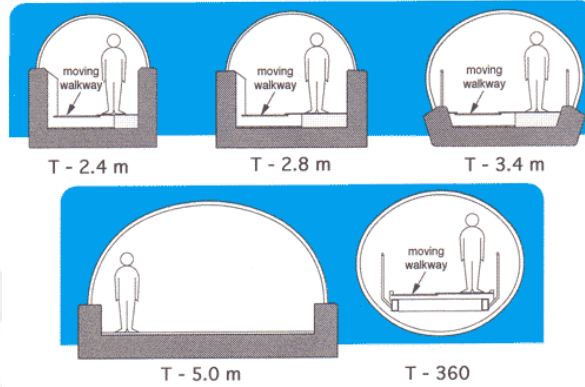
tercih edilen seçenek haline getirmektedir. Temperli camın tasarım esnekliğini akrilik camla karşılaştırırken akrilik cam her kategoride öne çıkmaktadır. Akrilik cam, ahşaba benzer şekilde işlenerek farklı şekillerde kesilmesi kolay bir malzemedir. Ayrıca, neredeyse her üç boyutlu biçimde de termoform olabilmektedir. Temperli cam işlendikten sonra kesilemez ve ısıll şekillendirildiğinde sınırlı yeteneklere sahiptir. Kullanım döneminde ise akrilik cam, temperli camdan çok daha fazla genişip, büzölebilmektedir [84]. Temperli cam ve akrilik camların her birinin kendi avantajları ve dezavantajları vardır. Akrilik cam, daha yüksek şeffaflığa, daha yüksek darbe dayanımına sahip olduğu ve hafif olduğu için su altı uygulamaları için en uygun olanıdır. Fakat yangın yönetmeliğı nedeniyle akrilik cam binalarda neredeyse hiç kullanılmamaktadır.

Cam malzeme genellikle ahşap veya alüminyumdan yapılmış bir çerçeve ile yapılarda kullanılmaktadır, ancak başka malzemelerin de kullanılması mümkündür. Diğer bir yaygın bağlantı yöntemi ise bir cam plakanın genellikle dört köşesine tutturulmuş çelik düğümler kullanılmasıdır. Akrilik cam, temperli camla aynı maddeye monte edilebilir, ancak hafifliğı nedeniyle genellikle daha küçük bağlantı elemanları kullanılması gerekmektedir [84].

Akvaryum tünellerinde akrilik cam kullanımı 19. yy'da gelişmeye başlamıştır. Deniz yaşamına olan ilginin artması ile organizmaları yakından takip etmenin bir yolu olarak keşfedilmiştir. Akvaryum, küçük bir görüş paneline sahip ahşap bir kütleden, metal çerçeveli geniş bir cam kütleyle kadar geliştirilmiştir. Balık Evi adlı ilk büyük akvaryum, 1853'te Londra Hayvanat Bahçesi'nde açılmıştır. Bu bina bir seraya benzemekteydi ve daha iyi görebilmek için masalara yerleştirilen ahşap ve camdan yapılmış bir akvaryum koleksiyonunu barındırmaktaydı [84].

Daha sonra yapılan akvaryumlar Avrupa'daki Balık Evini izlemiştir. 1860 yılında Bois de Boulogne'daki Jardin zoolojisi, hem tatlı hem de tuzlu su akvaryumlarında balıklar sergilemiştir. Bu durum akvaryumu duvara entegre ederek hayvanat bahçelerinde kullanması için yaygın olan bir şekle kadar geliştirilmiştir. 1869'da Berlin'de geniş şeffaf yüzeylere sahip bir akvaryumu açılmıştır. Şeffaf bir tünele sahip olan ilk akvaryum ise 1985 yılında Yeni Zelanda'nın Auckland kentinde bulunan Kelly Tarlton'un Su altı Dünyası'nda hayata geçirilmiştir. 110 metre

uzunluğundaki tüneller, Almanya'dan plastik levhalar ithal edilerek inşa edilmiştir. Bu şekilde ilk defa büyük bir boyuta sahip şeffaf kavisli panellerin üretilmesinin mümkün olduğu görünmüştür. Paneller 2,4 metre çapında ve 180 derecelik bir açıya sahip silindiriklerdir. Akrilik camın yapım tekniği onlarca yıldan itibaren gelişim göstererek, artık daha büyük ve karmaşık şekiller, 360 dereceye kadar şeffaf tüpler ve tam saydam odalar içeren tasarımlar görmemizi mümkün kılmıştır [84].



Şekil 4.18 Akrilik tünellerin profilleri [6]

Akrilik cam kullanımı ve mahremiyet: Su altı otel odalarında şeffaflığı sağlayabilmek için genellikle akrilik cam kullanılmaktadır. Bu durumda kullanıcılar için mahremiyeti sağlamak amacıyla süit odaların camları yansıtıcı bir filmle korunur ve böylece gün boyunca odanın içini görmek neredeyse imkansızdır. Geceleri ise konuklar gizliliklerini artırmak için viewport'ların bölümlerini opaklaştırabilmektedirler [101].

Su altı yapılarında kullanılması gereken malzemelerin özelliklerini şu şekilde özetlenebilir:

- Malzeme Dayanıklılığı (malzeme ömrü)
- Malzeme maliyeti hesaplarında ilk maliyet ve bakım maliyetinin göz önünde bulundurulması
- Korozyona karşı yüksek dirençli olması
- Malzeme temini ve imalat aşamalarının kolay uygulanabilir olması
- Hidrostatik basınca karşı dirençli olması
- Yangına karşı dayanıklı olması

- Su yalıtımını sağlamaya elverişli olması
- Malzemenin yapı ölçeğine göre orantılı ağırlık oranı ve kesit kalınlığı sağlaması
- Su altı manzarası için geniş açıklıklı şeffaf yüzeyler sağlaması

Bu bölümde incelenen malzemelerin yapısı, yukarıda özetlenen su altı yapıları için gerekli malzeme özellikleri ışığında ele alındığında en iyi sonucun çelik, beton ve akrilik camdan elde edildiğini söylenebilmektedir.

4.3 Deniz Zemini Özelliklerinin Tasarıma Etkisi

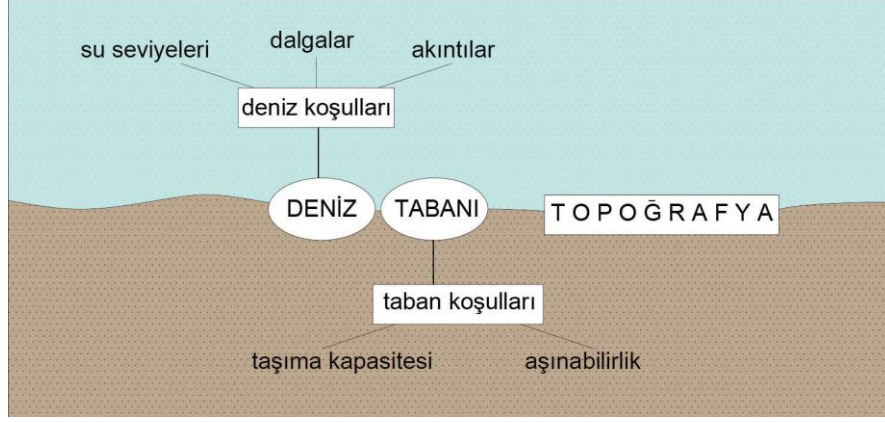
Su altı yapısı denizin içinde su üstündeki yapıya bağlı olarak yüzer durumda ya da tamamen deniz zeminine oturur vaziyette olmak üzere iki farklı şekilde tasarlanabilir. Bu durumda eğer su altı yapısı deniz zeminine oturuyorsa, zeminle ilgili özelliklerin de analiz edilmesi gerekmektedir. Bunlar;

- deniz tabanı,
- nesne / deniz tabanı etkileşimi,
- deniz tabanı değişimlerinin tahminidir.

Su altı teknolojisi alanında çalışan kişilerin deniz tabanının tipik özelliklerini anlama ve takdir etmeleri oldukça önemlidir. Su altı yapısının konumuna göre deniz tabanının özelliklerine odaklanılması gerekmektedir [102].

- denizaltı tesisatları,
- denizaltı boru hattı,
- yapı kabukların ve platformların denizaltı kısımları, gibi alanlar da göz önünde bulundurulmalıdır.

Deniz tabanı özelliklerinde dikkate alınması gereken ana öğeler stabilite ve aşınabilirlik durumudur. Bu yönler projenin kurulum, operasyon, bakım, onarım ve kaldırma gibi tüm aşamalarında geçerli olmaktadır. Deniz tabanı su altı yapılaşması için bir sınır olarak kabul edilebilir. Su altı faaliyetleri ile deniz tabanı arasındaki etkileşim sonucu oluşabilecek durumlar potansiyel fayda olarak kullanılabilir [102].



Şekil 4.19 Deniz tabanını karakterize eden farkörler [102]

Deniz tabanı; kum, toprak, kaya ve arada kalan her türlü malzemeden oluşabilmektedir [102]. Ancak bu malzemelerin aşınabilirlik derecesi birbirinden farklılıklar gösterir. Şekil 4.14’de gösterilen pramite göre alttaki bölümde toprak ve kayadan oluşan yüzeyler aşınmaz olarak belirtilirken, üst kısımdaki kum ise aşınabilir olarak belirtilmiştir.



Şekil 4.20 Deniz tabanı stabilitesi - aşınabilirlik [102]

- Deniz tabanı prensip olarak dinamik kabul edilmelidir.
- Zemin soruşturması amacına uygun olmalıdır. Aşınabilirliğin belirlenmesine dikkat edilmelidir.
- Su altı faaliyetleri hazırlanmalı ve su altı yapıları deniz tabanına özel dikkat gösterilerek tasarlanmalıdır.
- Alan verilerinin doğru kombinasyonu, fiziksel ölçek modelleri ve/veya sayısal modeller ile deniz tabanı değişikliklerinin güvenilir bir şekilde tahmin edilebilmesi sağlanmalıdır [102].

4.4 Su Altı Yapılarında Risk, Güvenilirlik Analizi Yöntemleri ve Temel Gereksinimler

Deniz altı üretim sistemleri, büyük yatırımlarda ve diğer saha geliştirme türlerinde olduğu gibi, kaza potansiyellerini ve kontrolsüz hidrokarbon kayıplarını dikkate almaktadır. Buldukları konum itibarıyla, su altı üretim sistemlerinin onarımı maliyetlidir ve bazı durumlarda kötü hava koşulları nedeniyle onarım süreleri uzun zaman alabilmektedir. Bu durumlar su altı sisteminin kurulumunda güvenilir şekilde çalışmasını zorunlu kılan faktörlerdir. Olası kazalar için önlemler alınmalı ve gerekli onarım işlemlerinin sayısı, su altı alan geliştirme planını ekonomik olarak uygulanabilir bir çözüm olmaktan diskalifiye edebilecek sınırları aşmamalıdır [103].

İnşaat sektöründe su altı sistemleri geliştikçe, su altı tasarım ekiplerinde güvenilirlik için mühendislik tanımını ayrı bir mühendislik disiplini olarak tanımlamanın önemini çok erken anlaşılmasının yanında, artık günümüzde mimarın rolünün de etkili olduğunu görülmüştür. Güvenilirlik analizleri artık su altı mühendisliğinin bir parçası olarak rutin olarak yapılmaktadır. Sürdürülebilirliği planlamak başarılı bir su altı alan gelişimi için kilit bir faktördür ve seçilen bakım felsefesi bir dereceye kadar tüm su altı sistemi tasarımını yönetecektir [103].

Doğru tasarım ve uygulama ile yapının güvenilirliğinden emin olmak için bir takım testlerin yapılması esastır. Risk ve güvenilmezliği yönetmenin tek yolu neyin yanlış gidebileceğini tahmin ederek sistemdeki başarısızlıklara doğru zamanda müdahale etmekten geçmektedir. Güvenli bir su altı yapısı elde etmek için gerekli yönetim süreci aşağıdaki adımlardan oluşmalıdır [103].

1. Tasarım incelemeleri gibi analizlerle ortaya çıkabilecek arızaları tespit etmek gerekmektedir. Bunlar; ön tehlike analizi, başarısızlık modu ve kritik durum analizleridir.
2. Hataları kontrol etmek için alternatifler geliştirilmelidir. Tasarımla yapılan kontrol, ekipman ve sistemleri test etmekten genellikle daha ekonomik bir yöntemdir.

3. Güvenilirliği azaltabilecek ilave risk veya arıza tipi oluşturmadan kabul edilebilir çözümler uygulanmalıdır.

4. Kapalı bir döngü yönetim sistemi ile sistem riskinin ve güvenilirliğinin kontrol edilmesi gerekmektedir.

Hava: Havacılık ve uzay yaşam destek sistemleri alanındaki çalışmaların çoğu okyanus ortamları için de geçerlidir. Solunum karışımları, karbondioksit ekstraksiyonu ve oksijen rejenerasyonu şeklinde yaşanabilir atmosferlerin sağlanması ile ilgili biyomedikal araştırmalar alanında ilerlemeler kaydedilmiştir. Denizaltı yaşam ortamının iyileştirilmesine yönelik geliştirme çalışmaları, oksijen üretim ekipmanı, karbondioksit temizleyiciler ve acil durumda hayat verecek malzemelerle ilgili çalışmaların yapılması yaşanabilir bir ortamın oluşturmak için önemli faktörlerdir [32]. Su altı yaşam alanları için gerekli hava, genellikle tanklardan veya yüzeye göbekler yoluyla bağlı hava kanallarından sağlanmaktadır. Gelecekteki gelişmiş tesisler, nefes alınacak havayı doğrudan habitatı çevreleyen sudan çekmek için "yapay solungaç teknolojisinden" yararlanmayı hedeflemektedir [83].

Su Temini, Arıtma, Dağıtım, Deşarj ve Depolama: Tuzlu su dönüşümü için damıtma, donma ve elektro diyaliz olmak üzere üç temel işlem uygulanabilmektedir [32].

- Damıtma tesisleri, denize yakın kara alanlarına binlercesinin kuruldu olduğu uzun yıllardır kullanılan bir sistemdir. Bu tesislerin kapasiteleri günde 3,5 milyon galona kadar değişebilmektedir.

- Dondurma işlemleri henüz büyük ölçekte kullanılmamıştır, ancak laboratuvar ölçeğinde çok fazla çalışmalar yapılarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

- Elektro diyaliz üniteleri yeni bir uygulamadır ve 1000-5000 ppm çözünmüş katılara sahip tuzlu sudan tatlı su elde etmek için kullanılmaktadır.

Diğer işlemler arasında hidrasyon, çözücü ekstraksiyonu, nemlendirme gibi alternatifler bulunmaktadır. Arıtma yöntemi seçiminde önemli olan makul bir maliyetle güvenilir bir arındırma işlemi sağlayacak bir yöntemi sağlayacak sistemi bulmaktır [32]

Güç - Enerji ve Dağıtım: Enerji, sistem gereksinimleri arasında birincil derecede önemli bir kaynaktır. Su altı habitatların çoğu, enerji ihtiyacını karşılamak için şimdiye kadar bataryaları, yüzeyden gelen bağlantıları ya da her ikisini birden kullanmışlardır. Gelecek yıllarda gelişmiş bazlar, gelgit türbinleri, OTEC jeneratörleri, elektrik üreten yüzey dalgası jeneratörleri kullanılabilir. Ayrıca bazı avantajlı konumlardaki jeotermal kaynaklara güvenilerek enerji üretimi gerçekleştirilmesi de planlanmaktadır [83].

Sıcaklık: Rahat bir çalışma ve yaşama ortamının sağlanması, kullanıcılar için çok önemlidir. Su havadan kırk kat daha yoğundur ve özellikle okyanusun daha derin bölümlerinde ısıyı herhangi bir kaynaktan kolayca tahliye etme eğilimindedir. Sadece basınca dayanıklı olmasının yanı sıra, su altı yaşam alanlarının kabukları, iç mekan kullanıcılarına konforlu bir mekan sağlayabilmesi için büyük ölçüde izole edilmiş olmalıdır [83].

Temizlik ve Atık Bertarafı: Atık suları toplamak için geleneksel bir su taşıma sistemi kullanılabilir. Richard D. Terry'ye göre, bu atıkların (sıhhi ve toksik olmayan) makul miktarları doğrudan işlem görmeden okyanusa bırakılabilir. Salınan miktarlar, okyanus akıntılarına, yapı sıcaklığına, deniz yaşamına ve derinliklerine bağlı olacak ve seyreltme ve aerobik ayrışma gibi işlemler tarafından okyanus tarafından bertaraf edilecektir. Miktarlar genişlediğinde, hem biyolojik hem de kimyasal olmak üzere bazı ön işlemler gerekli olmaktadır. Atık maddelerin uzaklaştırılmasıyla ilgili sorunlar aslında zehirli maddelerin atılmasını kapsamaktadır [32].

Sıhhi atıklar için kullanılan alternatif yöntem ise vakumlu drenaj sistemidir. Bu sistem atmosfer ile vakum arasındaki basınç farkıyla, atık suyunu vakum istasyonuna doğru iten itici güç ile çalışır.

Vakumlu drenaj sisteminin avantajları [104]:

- Düşük kurulum maliyetleri
- Çevre açısından güvenli
- Her zaman kendi kendini temizleyen
- Boru hatlarında haşarat olasılığı yok

- su tasarrufu tekniği
- Yüksek su hızları boru üretim ekipmanlarında birikintileri önler
- Minimum sızıntı riski
- Küçük çaplı hafif borular kullanılabilir
- Gri su ve kara suları kolayca ayırabilme

Vakumlu drenaj sistemleri, aşğıdaki koşullardan bir veya daha fazlası mevcut olduğunda dikkate alınmalıdır: Su sıkıntısı, sınırlı kanalizasyon kapasitesi, siyah su ve gri suların ayrılmasının istendiği yerler ve yerçekimi ile drenajın pratik olmadığı durumlar [104].

Erişim: Su altı habitatlarına erişim yapının kıyı ve su üstü bölümüyle olan ilişkisine göre değişkenlik göstermektedir. Bağımsız bir kütle olarak su altında konumlanan habitatlara sadece tüplü dalış yaparak ulaşabilmek mümkündür. Bazı üslere ise, habitatın hava kilidine entegre olan bir su altı aracı yardımıyla erişilebilmektedir. Kıyıya yakın şekilde konumlanmış bazı kapalı basınç yapılarına doğrudan yüzeye çıkan düşey sirkülasyonla veya batık yürüyüş yolları kullanılarak ulaşabilmek mümkündür. Kıyıda bağımsız fakat su yüzeyindeki kütleyle bağımlı olarak tasarlanan yapılarda ise doğrudan su üstündeki yapı ile erişim sağlanmaktadır.

Güncel Su Altı Yapıları Örnekleri ve Fütürist Yaklaşımlar

Fantastik bir hayal gücüne sahip olan Jules Verne, 1870 yılında yayımladığı “Denizler Altında Yirmi Bin Fersah” adlı eserinde, insanların su altı dünyası hakkındaki hayallerini inşa etmeye başlamıştır. Günümüzde teknolojinin hızla ilerlemesiyle birlikte geçmişte hayali dahi kurulmamış yeni gelişmelerden haberdar olmaktadır. Bugün bilim kurgu olarak yorumladığımız fikirler aslında mimarlara ve tasarımcılara çalışmalarında ilham vermektedir. Denizaltı araçlarının keşfi ile su altında seyahat etmeye başlandığından bu zamana kadar iki yüz yıldan fazla zaman geçmiştir. Başlangıçta projeler kullanıcının su altı dünyası manzaralarına entegrasyonunun bir parçası olarak tasarlanmaya başlandı. Daha sonra tutkular insanları daha fazla yönlendirdi ve turizm amaçlı büyük ölçekli su altı habitatlarının ilk projeleri gerçekleştirildi. Tasarlanan su altı oteli projeleri tatillere tamamen farklı bir bakış açısı getirmiştir. Bu tip otellerde büyük cam yüzeylerle insanlar su altı dünyasına entegre olmaktadır. Böylece, Jules Verne'in hayalini kurduğu dünyaya göz atabileceğimiz projeler hayata geçirilerek bir zamanlar yalnızca hayal edilen su altı dünyası yaşam alanları artık gerçekleştirilmiş örnekler olarak karşımıza çıkmaktadır.

5.1 Güncel Örnekler

“Mimarlar binaları anıtlar, eserler gibi düşünmemeli, onları hayatın değişkenliğine hizmet edebilecek kaplar gibi düşünmeli ve bu kurgu modern hayatın dinamizmiyle baş edebilecek geri plan uyumunu yaratabilecek kadar esnek olmalı.”

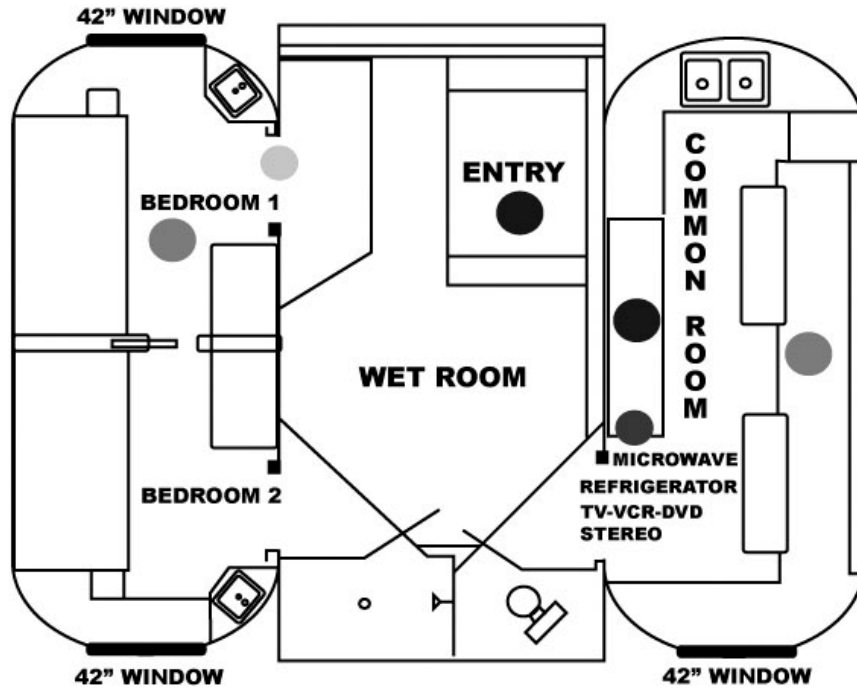
W.Gropius

Grpious'un söyleminde belirtildiği gibi, mimarların modern hayatın değişkenlerine göre sorumlulukları kalıpların dışına çıkmaktadır. Mimarların rolü değişen fiziksel ortam koşullarına göre çeşitlenen tasarım prensipleriyle artmaktadır.

Bu bölümde, gerçekleştirilmiş 21. yy su altı yapıları örnekleri, gelecekte gerçekleştirilebilecek örneklere zemin hazırlaması amacıyla kronolojik olarak ele alınmıştır.

Jules' Undersea Lodge, Florida 1986

1970'lerde Porto Riko'da işletilen bir denizaltı olan "La Chalupa" adında su altı araştırma laboratuvarının, 1986 yılından itibaren otele dönüştürülerek kullanılmasıyla birlikte ilk su altı oteli fikri gerçekleştirilmiştir. Otelin adı, "Denizler Altında Yirmi Bin Fersah" yazarı Jules Verne'den gelmektedir. Florida'da bulunan Jules' Undersea Lodge oteli, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki tek su altı otelidir. Okyanus tabanında 30 fit (9 metre) derinliktedir ve konukların odalarına ulaşmaları için tüplü dalış yapmaları gerekmektedir. Emerald Lagünü'nün tabanında konumlanan Lodge, iki yatak odası, duş, wc, tam donanımlı bir mutfak ve ortak dinlenme alanından oluşan yapısıyla dört kişilik konaklamaya uygun bir otel olarak hizmet vermektedir [105].



Şekil 5.1 Jules' Undersea Lodge, plan şeması [56]



Şekil 5.2 Jules' Undersea Lodge, ortak alandan iç mekan görünüşleri [56]

Otele giriş yapmanın tek yolu tüplü dalış yapmaktır. Bu nedenle konukların temel dalış eğitimi almış olmaları beklenmektedir. Aynı zamanda sağlık durumu elverişli olup, dalış tecrübesi olmayan konuklar için dalış eğitimi de verilmektedir. Bu özelliği ile ilk ve tek su altı oteli olma durumunu hala korumaktadır [56].

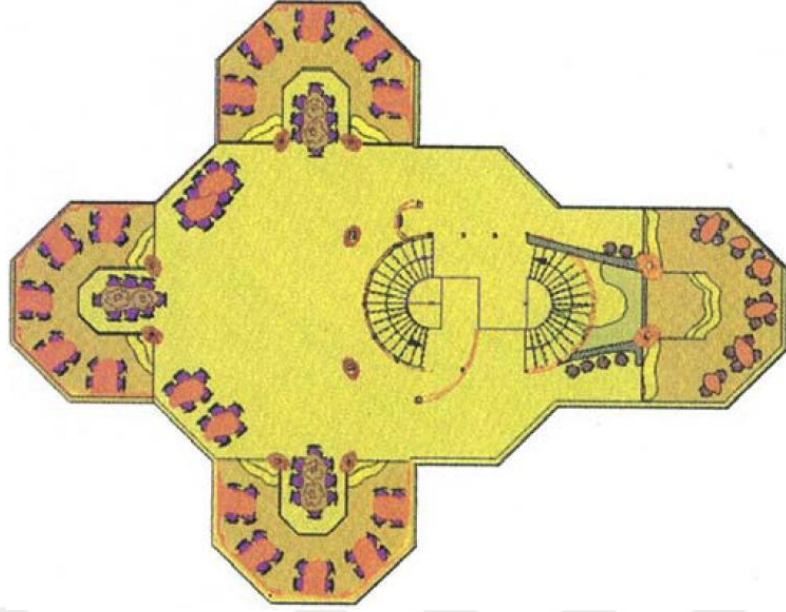


Şekil 5.3 Jules' Undersea Lodge, otel girişi [106]

Lodge'un sahibi ve ortak geliştiricisi Ian Koblick: “Deniz yaşamı aslında bir su altı yapısının varlığı ile daha da artmaktadır. Jules Undersea Lodge, deniz canlıları için barınak sağlayan yapay bir resif görevi görür. Bu şekilde insan teknolojisi ile doğanın güzelliği arasında simbiyotik bir ilişki oluşturur” diyerek su altı araştırma laboratuardan su altı oteline uzanan dönüşümü açıklamaktadır [56].

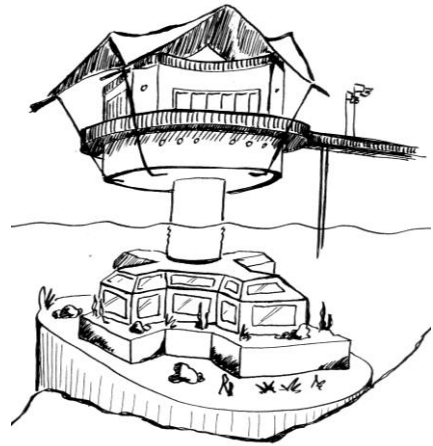
Red Sea Star Restoran, İsrail 1998

Kızıldeniz’de su yüzeyinin 6.10 metre altında bulunan yapı, Mimar Josef Kiriaty tarafından 1994 yılında çelik konstrüksiyonun geliştirilmesiyle tasarlanmış ve 1998 yılında hizmete açılmıştır [107].



Şekil 5.4 Red Sea Star Restoran, plan [108]

Red Sea Star restoranı 105 kişilik kapasitesiyle su üstünde ve su altında olmak üzere döner merdivenle birbirine bağlanan iki ana bölümden oluşmaktadır. Restorana ulaşım su üstü yapısından sahile bağlanan 70 metre uzunluğundaki köprü ile sağlanmaktadır [109]. Su üstünde kalan bölümde ziyaretçiler için hazırlanmış çok ekranlı görsel bir şov yapılmaktadır. Bu şekilde mimar Kiriaty, restorana giriş yapan konuklara heyecan verici su altı yaşamı tanıtımı ile zihinlerinde hayalleri uyandırdıktan sonra, gerçek su altı yaşamı deneyimini sunmayı hedeflemiştir [108].



Şekil 5.5 Red Sea Star Restoran, sahilden restoranın görünüşü [108] ve eskiz çizimi [110]

Çelik yapının duvarlarında ve tavanında olmak üzere toplam 62 akrilik plastik pencere bulunmaktadır. Restorandaki hemen her masanın yanında, konukların su altı çevresini gözlemleyebilecekleri iki pencere bulunmaktadır. Biri masanın dayandığı duvarda, diğeri de aynı aksta tavanda bulunmaktadır [109]. Panoramik görüntü yerine çok sayıda çerçeveli pencereler kullanılarak su ile görsel ilişki sağlanmıştır.



Şekil 5.6 Red Sea Star Restoran, su altından restoranın görünüşü ve iç mekanı tasarımı [108]

Projenin iç mekan tasarımı iç mimar Ayala Shperling Tzarfaty tarafından tasarlanmıştır. Red Sea Star restoranının zemini, ıslak kumda yürüyüş hissi uyandırması amacıyla şeffaf bir epoksi tabaka ile kaplanmış gerçek kumdan yapılmıştır. Ziyaretçilerin kendilerini denizde hissetmelerini sağlamak amacıyla tasarımcı iç mekan tefrişini deniz canlılarından esinlenerek tasarlamıştır [109].

Utter Inn , İsveç 2000

Sanatçı ve heykeltıraş Mikael Genberg tarafından tasarlanan ve uygulanan iki kişilik su altı oteli 2000 yılında hizmete açılmıştır. Mikael bu oteli su altı konaklaması için bir sanat projesi olarak tasarlamıştır [111].

Otel, Malaren Gölü'nün üç metre altına batmış su altı odası ve tipik İsveç kulübesi görünümünde yüzer bir odadan oluşmak üzere iki bölüm olarak planlanmıştır. İki bölüm arasındaki geçiş Şekil 5.8'de görüldüğü gibi merdivenle sağlanmaktadır. Su altındaki bölümde geniş pencerelerin kenarlarına konumlandırılmış yataklar

bulunurken, su seviyesi üzerindeki bölüm tuvalet ve yaşama alanı olarak kullanılmaktadır [111].



Şekil 5.7 Utter Inn, yapının tamamı [112]

Elektrik enerjisi çatıya yerleştiren güneş panelleriyle sağlanırken, su altı odasının havalandırması için Şekil 5.7'de görüldüğü gibi su altı hacminden su üstündeki platforma uzanan borular kullanılmıştır.



Şekil 5.8 Utter Inn, İsveç ahşap kabini görünüşleri ve su altı odası ile arasındaki geçiş [113]

Ithaa Su Altı Restoranı, Maldivler 2005

Hilton otelinin parçası olarak tasarlanan restoran 2005 yılında Maldivler'de hizmete açılmıştır. Yeni Zelanda'da bulunan M.J. Murphy Ltd. tarafından inşa edilen restoran, sahip olduğu geniş şeffaf çatısıyla ilk su altı restoranı örneğidir [114].



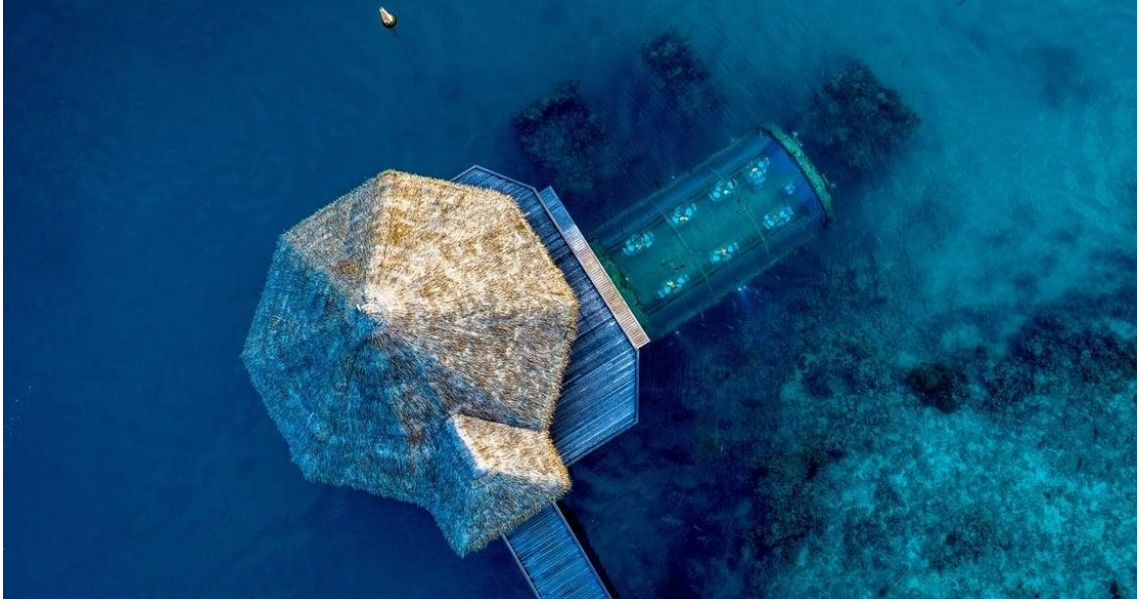
Şekil 5.9 Ithaa Su Altı Restoranı, iç mekan görünüşü [115]

Restoran 9 m x 5 m (16 x 30 fit) boyutlarında olup, 14 kişilik kapasiteye sahiptir. Su yüzeyinin 5 m altında bulunan yapı, akvaryumların yapıldığı teknikle 270° panoramik su altı manzarasına sahip şeffaf bir çatı ile kaplanmıştır. Çatı yüzeyindeki şeffaf yüzey R-Cast akrilik ve iki çelik kemer ile sağlanmaktadır [114].



Şekil 5.10 Ithaa Su Altı Restoranı, yapının su altına yerleştirilmesi ve girişi [116]

Restoranın girişi ahşap iskeleye kıyıya bağlıdır ve düşey sirkülasyon döner merdivenle çözümlenmiştir.



Şekil 5.11 Ithaa Su Altı Restoranı, havadan görünüş [117]

Poseidon Undersea Resort, Fiji Adaları Cumhuriyeti 2010

Poseidon Undersea Resort, dünyanın ilk su altı otel kompleksidir. Karada bulunan otel kompleksinin bir parçası olarak, su yüzeyinin 12 metre altında konumlanan otel 2010 yılında açılmıştır. Poseidon projesi, denizaltı endüstrisinde 21 yıllık deneyime sahip bir denizaltı teknolojisi uzmanı olan L. Bruce Jones ve U.S. Submarines ile bağlantılı mühendis ekibi tarafından 7 yıllık bir süre boyunca geliştirilmiştir [118].



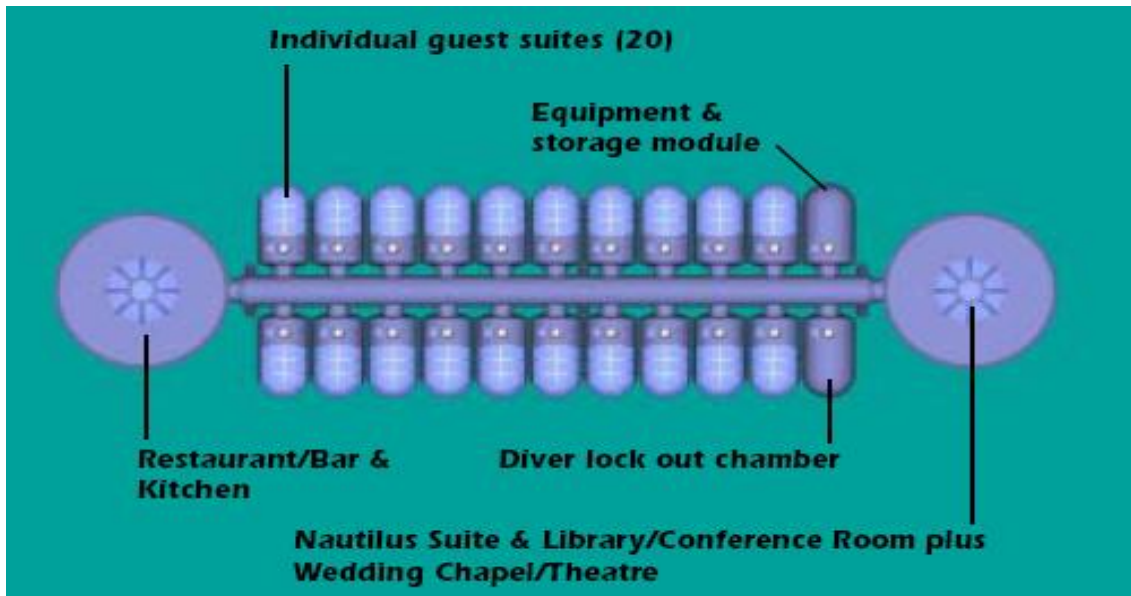
Şekil 5.12 Poseidon, su altından süit odaların görünüşü [118]

Deniz yüzeyinin 12 metre altında olmasına rağmen, yapı içindeki hava basıncı yüzey basıncıyla eşit tutulduğundan dolayı (1 ata) kullanıcılar için herhangi bir basınç değişimi söz konusu olamamaktadır. Bu nedenle basınç değişimine bağlı bir sağlık problemi oluşması söz konusu değildir. Otel, bu özelliği ile daha karmaşık su altı yapıları uygulamaları için önemli bir uluslararası emsal teşkil etmektedir.

Akvaryum uygulamalarında sıkça kullanılan bir malzeme olan akrilik plastik (polietil metakrilat) ve çeliklerle sağlanmış %70 şeffaflıkla 20 denizaltı süitinin her biri panoramik su altı manzarasına sahiptir. Gizlilik, her akrilik paneli kapsayan konuk kontrollü LCD ekranlarla sağlanabilmektedir. Her süitte ayrıca su altı lambaları ve balık besleyicileri kullanımı için gerekli teknik sistem kurulmuştur [119].

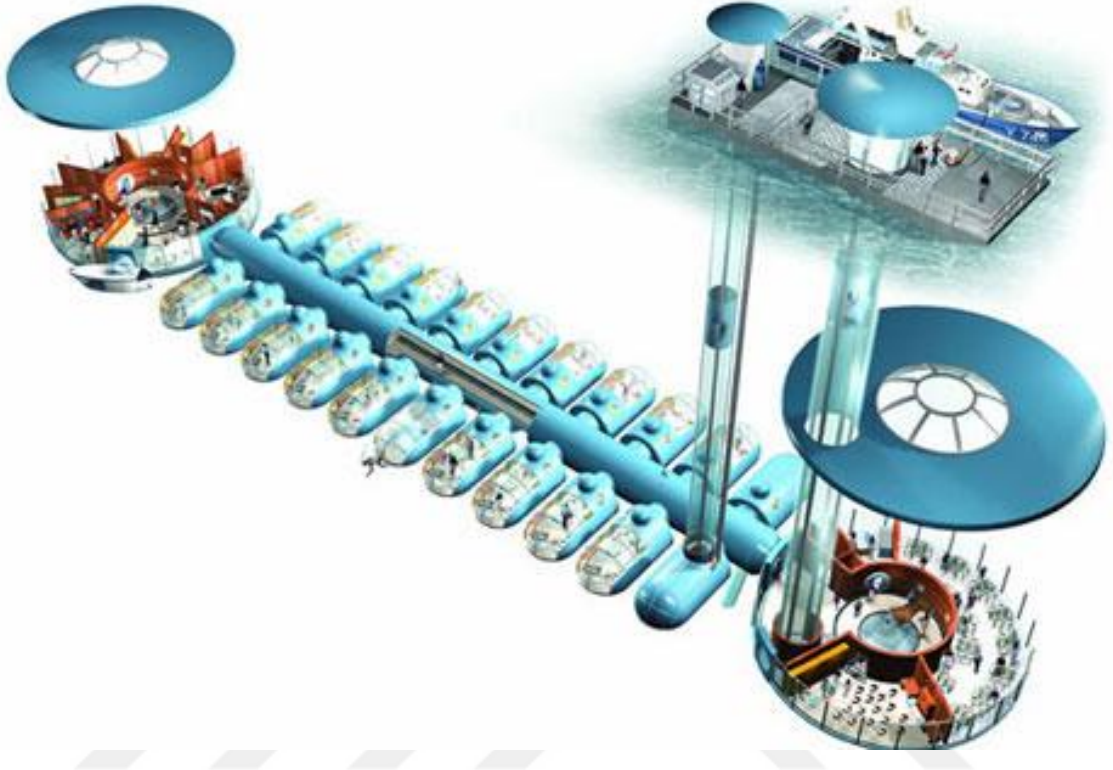


Şekil 5.13 Poseidon, iç mekan görünüşleri [118]



Şekil 5.14 Poseidon, plan şeması [118]

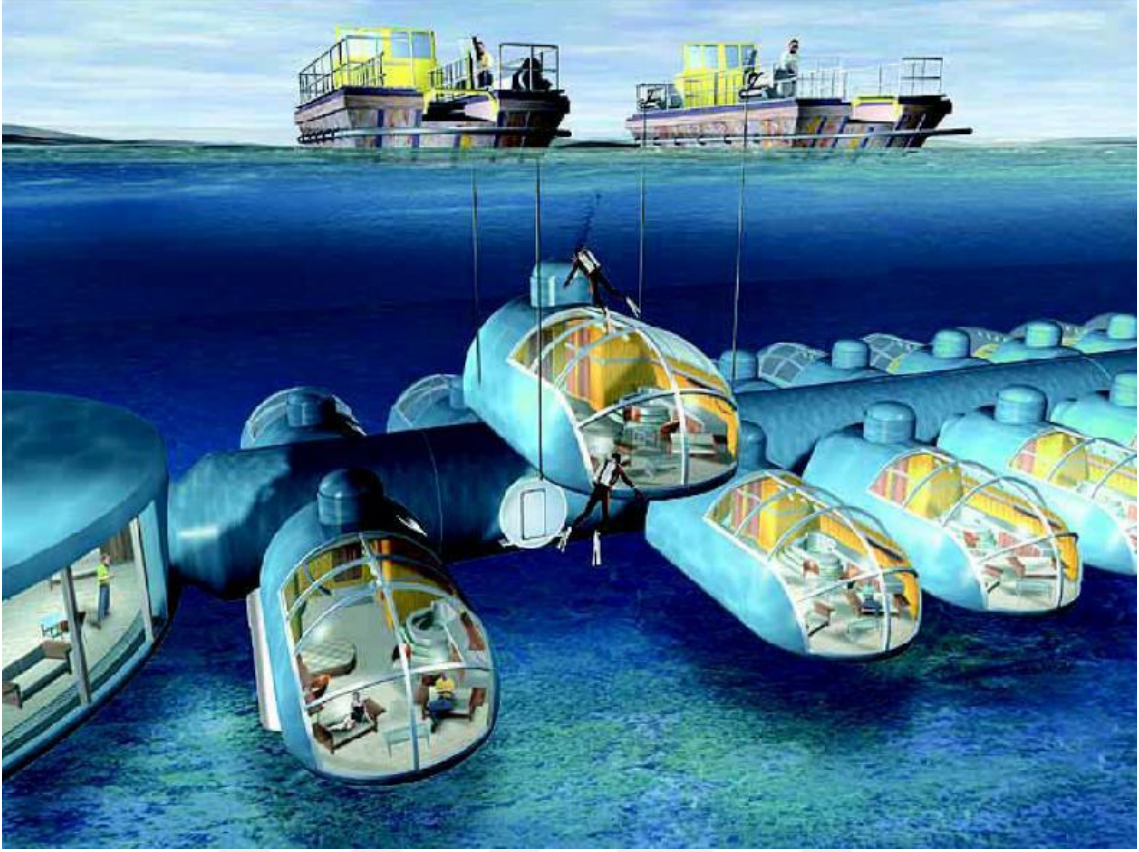
Kıyıda botlarla otelin bulunduğu alana geldikten sonra, biri servis girişi, diğeri ise ana giriş olmak üzere Şekil 5.15’de görüldüğü gibi iki tüpten sağlanan girişlerle su altı oteline girilmektedir.



Şekil 5.15 Poseidon, otel kompleksinin genel görünümü [118]

Süit odaların yapımı: 10 m x 5,1 m (33 x 17 fit) ölçülerinde olan her bir deniz altı otel odası, 51 m² (550 fit) taban alanı içermektedir. Süitler, birbirinden bağımsız şekilde yüzer hale getirildikten sonra 2,5 metre çapındaki, ana koridor olarak kullanılan silindire Şekil 5.16’da görüldüğü gibi eklenerek yerleştirilmiştir. Süit odalar bağımsız modüller olarak inşa edildiği için ana yapıya eklenip çıkarılması pratik bir şekilde sağlanmaktadır [118]. Modüler sistemle tasarlanan yapı, üretim ve uygulamada kolaylık sağlamaktadır.

Her süit, kurulum veya sökme sırasında ünitenin su geçirmez bütünlüğünü korumak için dışa açılan, yüksek teknoloji ürünü bir karbon fiber kapiya sahiptir. Ana koridor, kompleksin bütünlüğünü güvence altına almak için benzer şekilde karşı bir kapiya sahiptir. Kapıların kapatılmasıyla modülün ana koridorla olan bağlantısı kesilerek, modül bağımsız hale getirilmektedir [118].



Şekil 5.16 Poseidon, modüler birimin taşınması [118]

Süt odaların duvar yüzeylerinde, 100 mm kalınlığında akrilik plastik ile aynı eğriyi izleyen 25 mm kalınlığında çelik plakalar kullanılmıştır. Akrilik pencere bölümleri 3,05 m (10 fit) yüksekliğinde ve 1,75m (5,7 fit) genişliğinde eğrisel çelik bir çerçeveye yerleştirilmiştir [118].

Güvenlik: Tesisin tüm bileşenleri, yüksek emniyet faktörüne göre tasarlanmıştır. Her ünitenin tavan kısmında, profesyonel olarak eğitilmiş dalgıçların girebileceği bir güvenlik giriş kapısı bulunmaktadır. Kompleksin her bir bileşeni, olası bir yapısal kırılma durumunda, otomatik olarak diğer birimlerden izole edilecektir. Tesisin tabana kalıcı olarak sabitlenmiş olan merkezi koridoru haricinde, her bir ünite bağımsız biçimde ana koridordan ayrılabilir yapıya sahiptir ve birimler gereken durumlarda kompleksten ve sudan uzaklaştırılabilmektedir [119].

Poseidon'un resmi sitesinde yapılan açıklama şu şekildedir [120]: "Çok fazla talep olması nedeniyle, Poseidon'un yönetim ekibi ikinci tesise ait potansiyel bölgeleri araştırmaktadır. Rezervasyonları almaya başladığımızda 150.000'den fazla kişi

haberdar olmak için kayıt yaptırdı ve Fiji Resort yılda sadece 7.200 rezervasyon alabilecektir. Ek potansiyel yerlerde bulunduğumuz zaman güncellemeleri yayınlayacağız.” Bu ilan su altı yapılarına gösterilen ilginin boyutunu kanıtlar niteliktedir.

The Manta Resort, Zanzibar/Tanzanya 2013

Afrika'nın ilk su altı oteli The Manta Resort, Zanzibar'a bağlı Pemba Adası açıklarında yer almaktadır. Yerel sert ahşaptan inşa edilen yapı su altı bölümü, su üstü bölümü ve teras katı olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Su yüzeyinin 4 metre altına kadar uzanan yapının su altı bölümü, iki kişilik yatak odası olarak kullanılmaktadır. Suyun üst kısmında yer alan kat, güneşlenme ve günlük ihtiyaçların karşılanabileceği birimlerden oluşmaktadır [121]. Ayrıca yapının üçüncü bölümü, çatı katının teras çatı olarak kullanıma açık durumda tasarlanmasıyla sağlanmıştır.



Şekil 5.17 The Manta Resort, su altı ve su üstü bölümü görünüşü [122]



Şekil 5.18 The Manta Resort, havadan görünüş [122]

2013'ten beri Zanzibar kıyılarında açık olan Manta Resort'un su altı odası, plaja iki dakikalık bir tekne yolculuğu mesafesindedir. Bu nedenle otel süitinden çok, küçük bir özel ada gibi işlev görmektedir [121].



Şekil 5.19 The Manta Resort, su altı odası iç mekan görünüşü [122]

Floating Seahorse Villa, Dubai 2016

Kleindeinst Architects tarafından tasarlanan ve uygulanan su altı villaları yapısal olarak Manta Resort gibi üç ana bölümden oluşmaktadır. Ancak bu projeyi diğer birçok su altı bölümü içeren projelerden farklı kılan önemli bir özellik bulunmaktadır. İlk defa Floating Seahorse Villa projesiyle su altı yapıları prototip olmaktan çıkıp seri üretim dönemine girmiştir.



Şekil 5.20 Floating Seahorse Villa, kompleksin master planı (Kamran Jibreili, 2016), Yapının genel görünüşü [123]

Dubai'de, palmiye ağacı şeklinde yapılan adalar gibi, birçok şekilde yapay ada gruplarından oluşan projelerle sıklıkla karşılaşılmaktadır. Şehir, adeta Basra Körfezi'ni ele geçirirken, körfezin gelecekteki kullanım şekli üzerinde de fütürist fikirler geliştirmektedir. Floating Seahorse Villa projesi bu fikirler ışığında gerçekleşmeye başlamış bir projedir. İlk villa örneği 2016 yılında hayata geçirilmiştir ve günümüzde 42 villadan 35'i satılmış durumdadır [123]. Ancak proje görüldüğü gibi sadece bağımsız villaların gelişi güzel yerlerde konumlanmasından daha fazlasını içermektedir. Bu villalar Şekil 5.20'de görüldüğü gibi bir adanın etrafında oluşturulacak yaşam kompleksinin birimleri olarak tasarlanmıştır.



Şekil 5.21 Floating Seahorse Villa, Su altı bölümü iç mekan görselleri [124] [123]

Üç ana bölümden oluşan villaların en alt katında panoramik su altı görüntüsüyle yatak odası ve banyo bulunmaktadır. Üst kat ise su üstünde bulunan bölüm olarak mutfak, yemek ve oturma odası bölümlerini içermektedir. Üst güverte jakuzi, küçük bir bar ve mutfaktan oluşmaktadır [123].



Şekil 5.22 Floating Seahorse Villa, su üstü bölümü görünüşü [124]



Şekil 5.23 Floating Seahorse Villa, arka cephe görünüşü [124]

The Muraka, Maldivler 2018

Tokyo tasarım firması Yuji Yamazaki Architects, Conrad Maldivler'deki Muraka villasının 700 m²'den oluşan su üstü sütünin ve 100 m²'den oluşan su altı sütünin tasarım firmasıdır [125].

Yuji Yamazaki projesini, “kesinlikle bir tiyatro tasarımı” şeklinde tanımlıyor ve şu şekilde açıklıyor: “İnsanlar tiyatro salonunu izlemek için bir tiyatroya gitmiyorlar, gösteri için oradalar. Konukların odanın her yerinden su altı manzarasına sahip olmalarını sağlamak zorundaydık.” Duvarların %75'inden fazlası ve tavan yüzeyleri şeffaf akrilikten yapılmıştır [125].



Şekil 5.24 The Muraka, havadan görünüş [126]

2018'de Rangali Ada'sında inşa edilen villa bir katı deniz seviyesinin üstünde ve diğer katı ise denizin 5 metre altında yer almak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Muraka'nın alt katında bir büyük yataklı yatak odası, oturma alanı, banyo ve üst kattaki oturma odasına açılan spiral merdiven bulunmaktadır. Yatak odası manzarası 180° saydam şeffaf gözlem alanı ile çerçevelenmiş durumdadır. Üst katta ise bir diğer büyük yatak odası, banyo, spor salonu, personel odaları, oturma odası, mutfak, bar ve yemek alanı bulunmaktadır. Ayrıca denizin üzerinde gün batımını izlemek için, ideal yöne doğru konumlandırılmış bir gözlem güvertesi de tasarlanmıştır [127].



Şekil 5.25 The Muraka, yatak odası ve banyodan iç mekan görünüşleri [126]



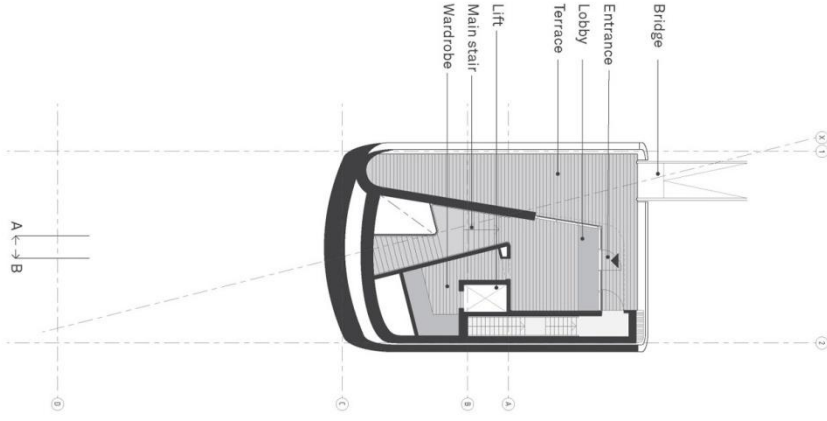
Şekil 5.26 The Muraka, su altı bölümü iç mekan görünüşü [125].

Under Restoran, Norveç 2019

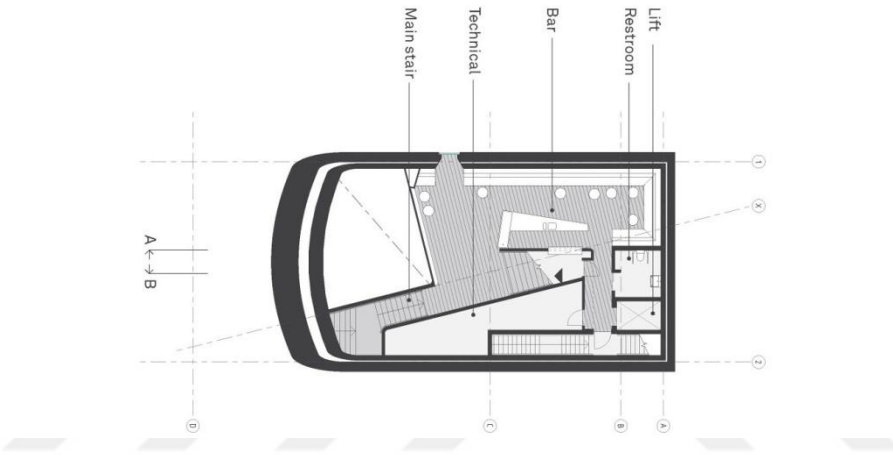
Avrupa'nın ilk su altı restoranı, 2019'da Norveç'in Lindesnes kentinde açıldı. Snøhetta tasarım şirketi tarafından tasarlanan restoranın yapımı üç senede tamamlanmıştır. Kuzeyden ve güneyden gelen deniz fırtınalarının bulunduğu Norveç kıyı şeridinin en güney noktasında yer alan proje, sarp kıyı şeridine dayanan kalın beton duvarları ile zorlu deniz koşullarına karşı dayanacak şekilde inşa edilmiştir [128].



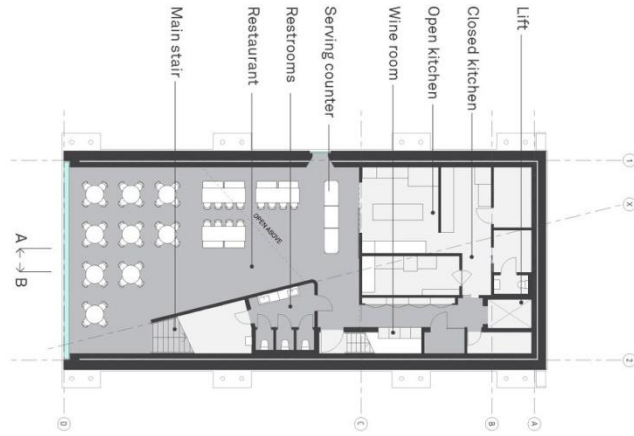
Şekil 5.27 Under Restoran, havadan görünüş [129]



Şekil 5.28 Under Restoran, giriş kat planı +3.00 kotu [130]



Şekil 5.29 Under Restoran, asma kat planı -1.00 kotu [130]

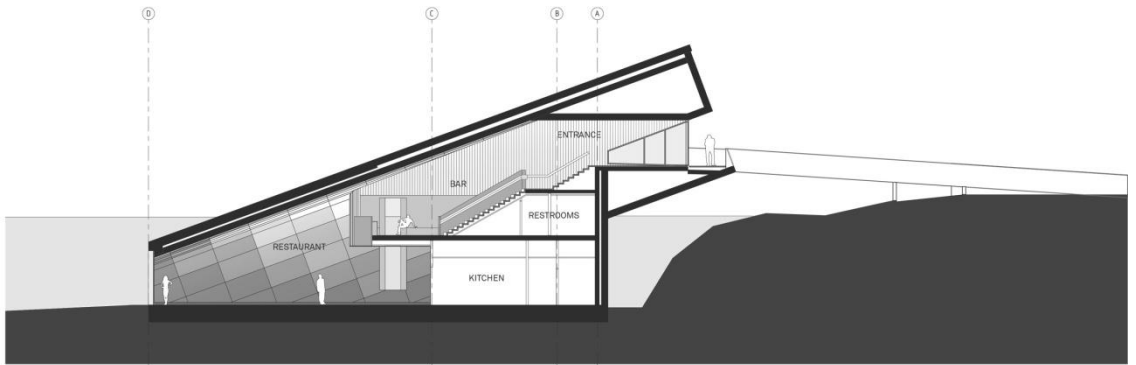


Şekil 5.30 Under Restoran, yemek salonu kat planı -5.00 kotu [130]

Yarisına kadar denize batmış olan binanın 34 metre uzunluğundaki monolitik formu, suyun 5 metre altındaki deniz tabanına doğrudan oturmaktadır. Beton kabuğunun pürüzlülüğü deniz canlılarına yaşam alanı sunan yapay bir resif işlevi görerek, zaman içinde deniz ortamına tam olarak entegre olacak şekilde tasarlanmıştır. Su altında konumlanan restoranın 11 metre genişliğinde ve 3,4 metre yüksekliğinde olan yatay penceresi, batık bir periskop gibi değişen mevsimlerde ve hava koşullarında konuklara deniz tabanının manzarasını sunmaktadır [131].



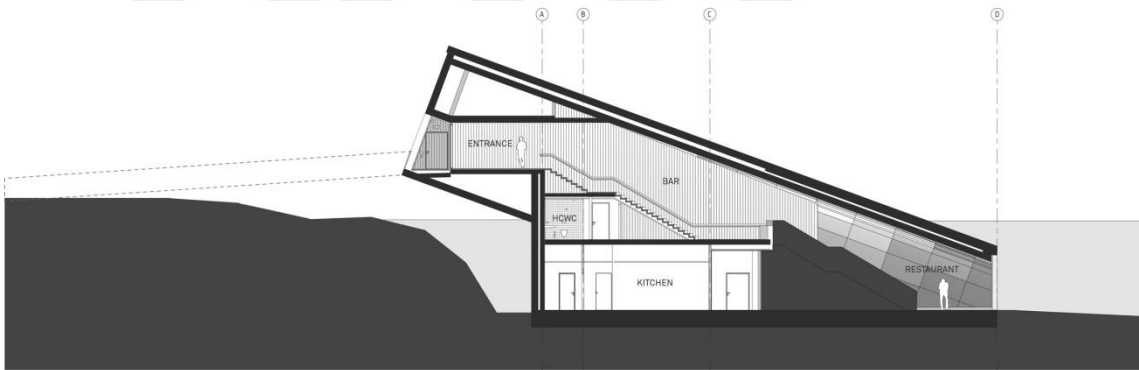
Şekil 5.31 Under Restoran, su üstü bölümü görünüşü [129]



Şekil 5.32 Under Restoran, A-A Kesiti [130]



Şekil 5.33 Under Restoran, giriş cephesi [129]



Şekil 5.34 Under Restoran, B-B Kesiti [130]

Snøhetta tasarım şirketinin kurucusu Mimar Kjetil Trædal Thorsen projesi [129]; “Under, deneyimlerimizin sınırlarla birlikte doğal bir şekilde ilerlemesidir” diyerek tanımlamaktadır ve şu şekilde açıklamada bulunmuştur [132]:

“Güney Norveç’in yeni kent simgesi olan Under, zamirlerin ve edatların beklenmedik kombinasyonlarını önermekte ve bir insanın çevresine fiziksel olarak yerleşimini belirleyen etkilere meydan okumaktadır. Bu binada, kendinizi suyun altında, deniz tabanının üzerinde, kara ile deniz arasında bulabilirsiniz. Bu size, su hattının ötesinde ve altında olan dünyayı görmenin yeni perspektiflerini ve yollarını sunacaktır.”



Şekil 5.35 Under Restoran, su altı bölümü görünüşleri [129]

Kabuk tasarımda gösterilen hassasiyet devam ettirilerek, yapının iç mekan tasarımında kullanılan tefrişler için de doğallıktan ödün verilmemiştir. Yerel bir marangozluk atölyesiyle işbirliği içinde ilerleyerek, restoran için özel olarak tasarlanan mobilya serisi kullanılmıştır. Sandalyeler, ağaç dalları saplarının doğal haliyle ilerlemelerini taklit eden, kesintisiz bir form şeklinde tasarlanmıştır. İç mekan tasarımında geleneksel el sanatları yöntemleri kullanılarak, mobilya serisi projenin felsefesini temsil etmiştir. Bu felsefe; hammaddelerin doğal güzelliğinden ödün vermeden gelecek için sağlam yapılar inşa etmektir [132].



Şekil 5.36 Under Restoran, iç mekan görünüşleri [129]

Projenin restoran olarak kullanılmasının dışında bir diğer önemli özelliği ise, yapının bir bölümünün deniz araştırmalarını kolaylaştırması durumudur. Restoran

cephesi üzerine kurulan kameralar ve diğer ölçüm araçlarıyla deniz biyolojisi ve balık davranışını inceleyen disiplinler arası araştırma ekipleri için verilerin toplanması amaçlanmıştır. Araştırmacılar, restoran çevresinde yaşayan türlerin popülasyonunu, davranışını ve çeşitliliğini kameralar ve canlı gözlem yoluyla belgelendirmektedirler. Bu sayede, önemli deniz türlerinin popülasyon dinamikleri düzenli olarak izlenerek, toplanan veriler ışığında resmi deniz kaynakları yönetimini iyileştirmek için yeni fırsatlar yaratılması hedeflenmiştir [129].

Underwater Pavilions, California 2016

Catalina Adası'nın sahilinde kurulan Underwater Pavilions, Amerikalı sanatçı Doug Aitken'in Parley tarafından okyanuslar için ürettiği geniş çaplı enstalasyonu olup, Los Angeles Çağdaş Sanat Müzesi (MOCA) ile ortaklaşa sunulmuştur. Eser, yüzücülerin, tüplü dalgıçların ve şnorkel kullanıcılarının su altı deneyimlerini yaşadıkları okyanus yüzeyinin altında yüzen üç geçici su altı heykelinden oluşmaktadır [133].



Şekil 5.37 Underwater Pavillion (Shawn Heinrichs, 2016)

Tasarımcı, geometrik olarak tasarlanan heykellerle sanat ve bilimi sentezleyen su altı alanları yaratmayı hedeflemiştir. Eserlerin su altında asılı kalma durumu okyanus tabanına demirlenerek sağlanmaktadır. Her bir yapının bir kısmı, su altı manzarası yansıtacak yüzeylerden oluşurken, diğer yüzeyler ise kayaya benzer bir görüntüde tasarlanarak ziyaretçilerin dinamik okyanus ritmini yaşamaları amaçlanmıştır. Bu çalışma, okyanus ömrünün sürekliliği için bir gözlemevi olarak faaliyet göstermektedir [133].



Şekil 5.38 Underwater Pavillion (Shawn Heinrichs, 2016)

Coralarium, Maldivler 2018

Heykeltıraş Jason deCaires Taylor tarafından tasarlanan ve yapılan Coralarium, deniz dibinde bir dizi heykelden oluşan sanat eserlerini sergileyen dünyanın ilk gelgit sanat galerisidir [134].

Taylor sanat eserini şu şekilde tanımlamaktadır [135]; “kıyıda bakıldığında, paslanmaz çelik küp ufuktaki tüm ışığı yansıtıyor ve gökyüzü ile denizi sanat eserinde bir araya getiriyor.”



Şekil 5.39 Coralarium, gün batımı [135]

Sirru Fen Fushi adası kıyısında 3-5 metre derinliğinde yarı batık bir gelgit sanat galerisi olarak konumlanan eser, toplamda 6 metre yüksekliğinde ve 180 ton ağırlığındadır. Denizcilikte kullanılan paslanmaz çelik ve pH nötr çimento

malzemelerinden meydana gelen galeri küpü, İngiltere'de inşa edildikten sonra Maldivler'in sığ sularına monte edilmiştir. Coralarium sanat galerisi, şnorkelle yüzmeye ve serbest dalışa açık şekilde konumlandırılmıştır. Ulaşım tekneyle ya da kıyıdan yüzerek sağlanmaktadır. [135].



Şekil 5.40 Coralarium, sanat galerisinin dış ve iç görünüşü [135]

Karmaşık yapısal oluşumu, doğal mercan yapılarına dayanmaktadır ve organik şekillerdeki gözenekli yapısıyla okyanus yaşamının içinden geçmesine izin vermektedir [134].

5.2 Deniz Tarımı ve Ekolojik Farkındalık

Dünyanın üçte ikisi sularla kaplıdır ve toprak alanlar hızlı bir şekilde yapılandırılmaktadır. İcatların ihtiyaçlardan doğduğu düşüncesini destekleyen bir yaratıcılık örneği olan su altı yerleşim birimleri, insanların çevreye karşı duyarlılığını arttıran önemli bir etkidir.

Okyanuslarla ilgili çevresel kaygılar arttıkça, karmaşık su altı ekosistemlerini farklı yerlerde incelemek için yeni tesisler kurulmaktadır. Okyanus temelli çiftçilik de giderek dikkat çekmeye başlayan bir uygulama olduğu için, operatörler tarafından tam zamanlı verim sağlayabilmek amacıyla kalıcı veya yarı kalıcı su altı tesisleri tasarlanmaktadır [83].

Artan dünya nüfusu, daralan tarım alanları ve teknolojinin gelişmesi alternatif tarım mahalleri arayışını tetiklemektedir. Yeni Çağ ile birlikte günümüzde yapılan su altı habitatlarının su altı kolonilerine, su altı gökdelenlerine hatta su altı kentlerine dönüşebileceği öngörülmektedir. Bununla birlikte artan tüketimi

karşılatabilmek için yeni üretim birimlerine ihtiyaç duyulması kaçınılmaz olacaktır. Günümüzde bu ihtiyacı karşılaması yolunda bir girişim örneği olarak, ufak ölçekte uygulanan su altı bahçeleri örnekleriyle karşılaşılmaktadır. Bu yaklaşımın, son 20 yılda su altındaki tek göz hacimlerin otellere dönüşmesi gerçeği gibi, hızla gelişim göstererek “deniz tarımı” olarak tüm dünyaya yayılabileceği öngörülmektedir. Denizlerde kril tarımına başlanarak çoğaltılan planktonlarla yeni bir ekolojik dönemden bahsetmek mümkün olabilmektedir.

Nemo's Garden

Ocean Reef Group'tan Sergio Gamberini tarafından 2012 yılında İtalya'da hayata geçirilen Nemo's Garden, biyosfer olarak adlandırılan patentli kapsül yapısıyla, su altında bitki ve sebze kaynakları yetiştirme olasılığını vurgulayan çalışmalar sergilemektedir. Projenin amacı, başta çevre koşulları olmak üzere, ekonomik veya morfolojik nedenlerin bitki büyümesini oldukça zorlaştırdığı alanlara yönelik alternatif bir tarım sistemi oluşturmaktır. Nemo's Garden, halihazırda mevcut olan okyanuslar ve diğer su kütleleri gibi doğal kaynakları kullanarak üretim yapan bir sistem yaratmayı hedeflemektedir [136].

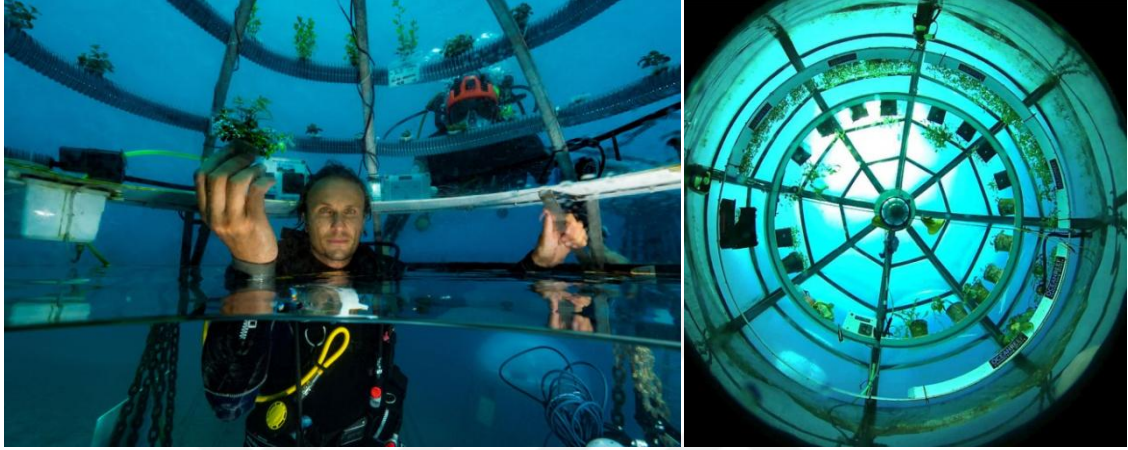
Şirket, havayla dolu batık balonların içine yerleştirilen bir düzenek içine tohumları yerleştirerek, türünün ilk denemesini başarılı bir şekilde gerçekleştirmiştir [136].



Şekil 5.41 Nemo's Garden, su altı bahçeleri görünüşleri [136]

Nemo's Garden, su altı tarımını ekonomik olarak uygulanabilir, uzun vadeli alternatif bir tarım şekli haline getirmeyi amaçlayan sadece teknolojik bir çaba değil, aynı zamanda çevre dostu ve kendi kendine sürdürülebilir olmayı hedefleyen bir projedir. Güneş enerjisinden ve deniz suyunun tuzdan arındırılması ile elde

edilen tatlı sudan yararlanarak yenilenebilir enerjinin kullanılması, Nemo's Garden'ı kendi kendine sürdürülebilir bir sistem haline getirmektedir. Biyosferlerin içindeki mikroiklim ve termal koşullar, ek enerji kaynakları gerektirmediği için geleneksel bir seranın aksine bitki büyümesi ve ürün verimliliği için uygun ortam koşulları sağlamaktadır. Tesis şu anda her biri yaklaşık 8-10 sıra saksı barındırabilen 7 biyosferden oluşmaktadır [136].



Şekil 5.42 Nemo's Garden, su altı bahçeleri içinden görseller [136]

Botanik araştırmalara daha fazla fırsat sağlayan bu yeni ortam, projenin ciddiyetini fark eden araştırmacıların dikkatini çekmeye başlamıştır. Nemo's Garden, yetiştirilen alternatif bitkilerle yeni araştırmalar yapmak isteyen ilaç şirketlerine kiralanmaktadır. Bu şirketler, oşinografi alanında araştırmalar yapan su bilimcileri gibi, su altında yetişen bitkilerin gelecek için ilginç keşiflere yol açabileceğine inanmaktadırlar [136].

Nemo's Garden proje koordinatörü Gianni Fontanesi, "her yıl, biyosferler için olası yeni uygulamalar keşfediyoruz" açıklaması yaparak bu keşifleri şu şekilde açıklamıştır: "Eko turizm, balık yetiştiriciliği, deniz yosunu yetiştiriciliği, yaban hayatı gözlemi ve bilimsel araştırmaları takip etmek için oluşturulan laboratuvarlar veya su altı istasyonları" [136].



Şekil 5.43 Nemo's Garden, su altı bahçesi bitkileri [136]

Çürüme ve taşkın olaylarını takiben zamanla biyosferin tasarımını geliştiren şirket, faaliyetlerini nihai olarak ticarileştirmek amacıyla test çalışmalarına devam etmektedir [136].

Hidroponik Tarım

Hidroponik, durgun su kültürü anlamına gelmektedir ve hidroponik tarım, topraksız bitki yetiştirmekte kullanılan sistemin adıdır. Bitkiler topraktaki besinler yerine, ihtiyaçları olan mineralleri içeren bir besin solüsyonundan faydalanarak yetiştirilmektedir. Bu sistem deniz seviyesi altında deniz suyunun arıtılarak kullanılmasıyla daha avantajlı hale gelmektedir. Tankların içindeki deniz suyu, buharlaştırıldıktan sonra damlalar halinde yoğunlaştırılarak su bitkilerini beslemek için saf su olarak toplanabilmektedir. Su altı hidroponik sistemleri, seralardan farklı olarak, sabit bir ısı altında üretim sağlamaktadır. Bu sayede kötü hava şartlarının toprak üzerindeki olumsuz etkileri, su altı tarımı için söz konusu olmamaktadır [137].

Hidroponik Tarımın Avantajları [137]:

- Bitkiler toprakta olduğundan %50 daha hızlı büyümektedirler.
- Böcek ilacı ve gübre kullanımına ihtiyaç duyulmamaktadır.
- Bitkiler hastalıklardan arınmış bir ortamda yetişmektedirler.
- Küçük kaplar kullanılarak, köklerin karışmadan büyümesi sağlanmaktadır.

- Kontrolsüz büyüme koşulları karşı müdahale edilebilecek mümkün olan en iyi ortamın sağlanmasını kolaylaştırmaktadır ve bu şekilde daha kaliteli ürünlerin elde edilmesini sağlamaktadır.

Su altı yapılaşmasına karşı iki farklı görüş vardır. Bir grup, ekolojik kaygılarla yaklaşarak yapıların su altı dengesine zarar vereceğini düşünürken; diğer bir grup ise aksine su altı yapılarının su altına olan farkındalığı arttırıp yeni keşifler sağlayacağını düşünerek bu yapıları desteklemektedir.

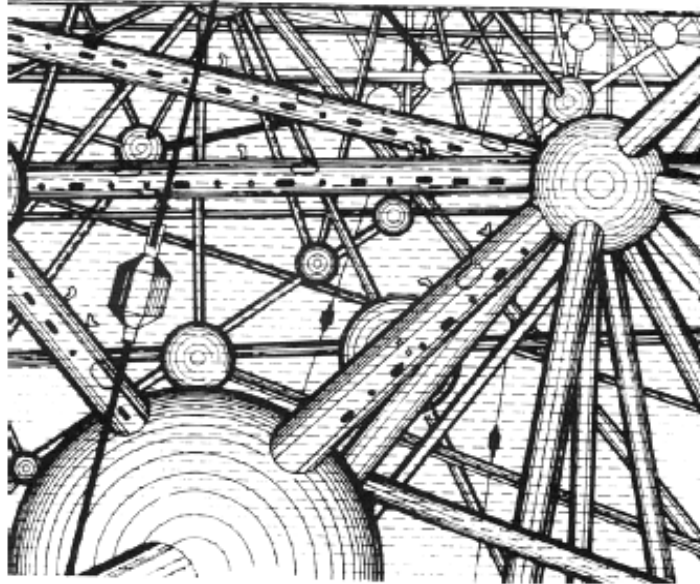
Okyanus ekolojisi; var olan küresel ısınma, kirlilik, yasa dışı balıkçılık ve istilacı türlerle tehdit altındadır. Herhangi bir su altı tesisinin tasarımcıları ve işletmecileri, çevreye karşı çok daha “yeşil” bir bakış açısıyla ilerlemek zorundadırlar. Birçoğu, sağlıklı ekosistemlerin ve biyolojik çeşitliliğin okyanusların gerçek değerini temsil ettiği ve bunu korumaya çalışmanın bir su altı tesisinin tasarımında daima en önemli konulardan biri olması gerektiği konusunda hemfikirdir. Örneğin atık yönetimi, özellikle büyük tabanlı yerleşim ve koloni tasarımları için büyük bir sorundur. Küçük habitatlar atıklarını depolayabilir ve atılması için yüzeye gönderebilir. Ancak su altı şehirleri tasarımcıları, katı atık geri dönüşümü ve / veya su ürünleri yetiştiriciliği (okyanus tarımı çiftliği) projelerine yardımcı olmak için organik atık kullanarak bu duruma çözüm önerileri getirmeleri gerekmektedir [83].

Tüm bu ekolojik olaylar göz önünde bulundurularak tasarımlar yapılsa dahi, sadece birçok insanın ve makinelerin varlığı bile çevresindeki deniz yaşamını tehdit eden bir potansiyel barındıracaktır. Bu çevrelerde ikamet eden kişi sayısı ne kadar fazla olursa, etki de o kadar büyük olacaktır. Yaşam alanından ve insan faaliyetlerinden kaynaklanan atıklar, sudaki belirli türdeki mikroorganizmaları ve balık türlerini etkileyebilmektedir. Endüstriyel kazalar, petrol sızıntısı veya okyanusun ortasında plastik atık birikmesi durumları, çevre ekolojisine ciddi zararlar verebilecek durumlardır. Bu nedenle herhangi bir su altı yaşam alanı tasarlanırken meydana gelebilecek olası hasara karşı potansiyel tehlikeler dikkate alınmalıdır. Nihayetinde, söz konusu olan ahlaki ve büyük çevresel kaygılardan daha fazlasıdır; su altı ekolojisine zarar vermek, aynı zamanda birçok habitatın ekonomik uygulanabilirliğini de tehlikeye atılması demektir [83].

5.3 Su Altı Yaşam Birimlerine Karşı İlk Yaklaşım

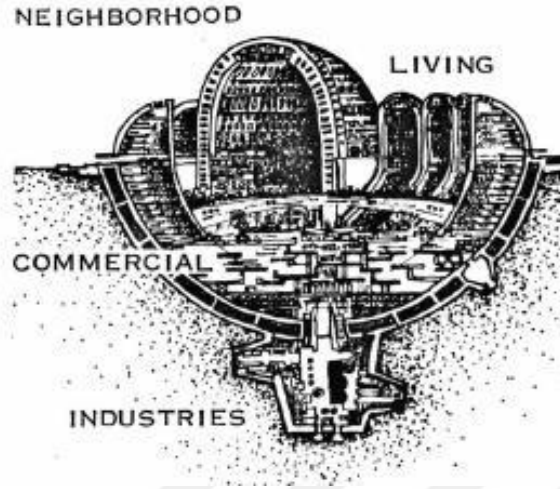
“1960'lı yılların başlarında Metabolist hareketin sunduğu teknolojik ütopyalar, sosyal planlama amacının evrimi veya uzay çağı sosyal durumunun parodileri, bizi mega yapısal anakronizmlerin kısacık görüntüleriyle terk etti” [4].

1950'ler ve 1970'ler arasında mimarlar tarafından su üstü ve su altı şehirlerinin önerileri mimari medyada geniş çapta yayımlanmıştır. Bu süreçte ses getiren mimarlar ve önerdikleri projeleri şu şekilde özetlenebilir [79]: Kenzo Tange'nin Tokyo Körfezi Projesi (1960), Warren Chalk'ın Sualtı Şehri (1964), Paul Maymont'un Tokyo Körfezi ve Monako Projeleri (1959 - 1964), Metabolistler Kikutake ve Kurokawa'nın deniz kentleri, 1960'ların başında Yürüyen Şehir (1964) ve Kapsül İskelesi (1964), Peter Cook'un Deniz Çiftçiliği projesi (1968), Edouard Albert'in Monako kıyılarındaki projesi (1967), Jacques Rougerie Mer Üniversitesi (1972), Ferme flottante Sous-marin Les köyleri(1973), Claus Jurgen'in denizaltı merkezi (1971) ve denizde olimpiyat oyunları için çizimleri ve önerileri. Bu spekülatif faaliyetten, 1970'lerin ortalarına Jacques Rougerie'nin Galathea ve Aquabulle, Cousteau'nun Conshelf deneyleri ve Kikutake'in Aquapolis'i (1975) de dahil olmak üzere çeşitli projeler inşa edilmiştir.



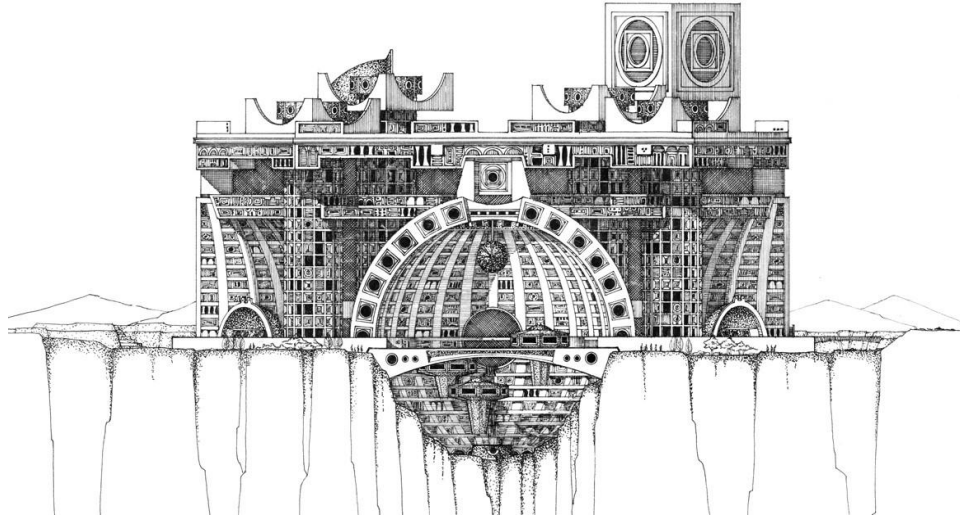
Şekil 5.44 Su altı şehri, Mimar Warren Chalk (1964) [79]

Bugüne kadar su altı yaşam alanlarının en çalışkan savunucusu, Conself konutlarını başarıyla yöneten Jean Michel Cousteau olarak bilinmektedir.



Şekil 5.45 Su altı şehri modeli [4]

Deniz şehirlerinin en geniş vizyonuna sahip mimarı Paolo Soleri'dir. Denizden doğan devasa konutlar olan Novanoah projeleriyle, mega yapısal toplulukları su altında konumlandıran projeler üretmiştir. İki boyutlu gözlem üzerinde yaşayan çağdaş kültür görüşüne tepki olarak su altı ortamının üç boyutlu hareketliliğini kullanmıştır. Araştırma, tamamen yuvarlak bir kültürel organizmanın kurulması zincirinde yalnızca bir bağlantıdır. Vizyonu biyolojik olarak kurulmuştur ve pedagojisi kapsamlı olan bir projedir [4].



Şekil 5.46 Arcosanti by Paolo Soleri [138]

Maymont ve diğerlerinin projelerinin patentlerini almasının, deniz ortamının karmaşık sorunlarına çözüm getirmesinin ya da özel gelişmelerin finansal uygulanabilirliğini araştırmasının, bu programları ciddi ve gerçekleştirilebilir teklifler olarak değerlendirmesini desteklemektedir. Fakat onları hangi anlamda prototip olarak değerlendirebiliriz? Peter Cook, şehir ve ekonomi bağlamında zorlukları bulunan prototiplerin üretilme yaklaşımını savunmaktaydı (1970). Bir binanın kente yerleştirilmesiyle ilgili şöyle demiştir [79]: “İnşa edilen parça, başkasının inşa ettiği parçayı dikkate almak zorundadır. İnşa edilen parça prototip; güç kaynağı, engel ya da katalizör olarak görünür. İnşa edilen parça bir sonraki aşamanın beklentisi olacaktır.”



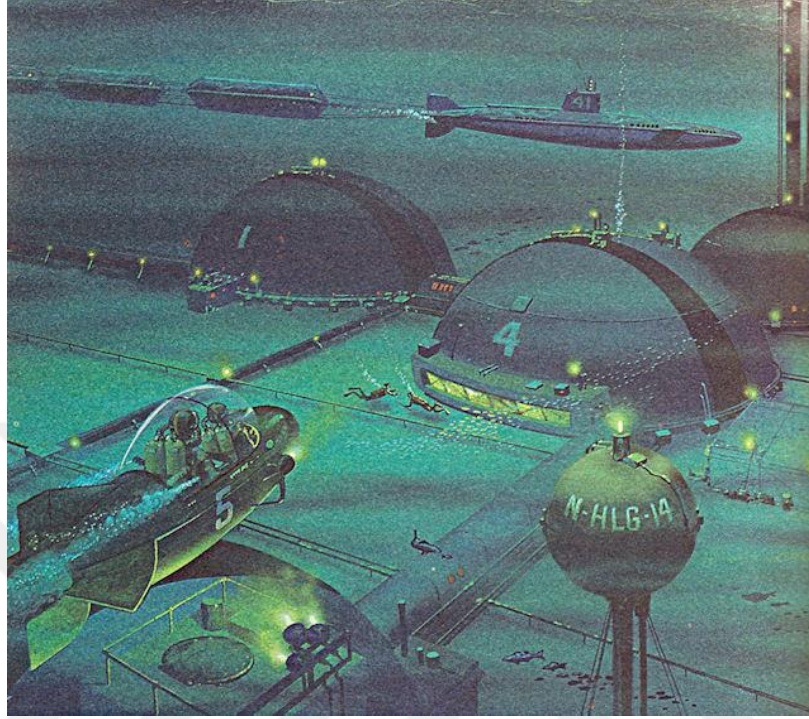
Şekil 5.47 Su altı şehirleri (Out of time: Designs for the 20. Century Future, 1954)

1954 yılında "Out of time: Designs for the twentieth-Century future" isimli kitapta yayımlanan Şekil 5.47'deki görsel 20. yüzyıl gelecek kentlerinin geçmişte nasıl hayal edildiğini gösteriyor.



Şekil 5.48 Sular altında bir şehir (Klaus Bürgele, 1967)

1960-70'ler, bilimkurgu illüstrasyonlarının popüler olduğu yıllar olmuştur. Retro-fütüristik tasarımcı Klaus Bürge'nin 1967 yılında hazırladığı Şekil 5.48'de görünen görsel de o yılların gelecek kent kurgusunu ortaya koyan örneklerden biridir [139].



Şekil 5.49 Man's Future Beneath The Sea (Jack Woodson, 1968)

Jack Woodson'a ait 1968 yılında yayımlanan "Explorers of the Deep: Man's Future Beneath the Sea" kitabının görselleri de Şekil 5.49'da görüldüğü gibi su altı şehirlerinin eski zamanlarda nasıl hayal edildiğini tanımlamaktadır. Cook, "fiziksel prototip hala geçerli bir araştırma aracıdır" diyerek ileriye dönük girişimlerin yapılması gerektiğini savunmaktadır. Cook için prototipin fiziksel yapısının tasarlanması ve test edilmesi, gerçek sorunlara fikir ve çözüm üretme açısından aynı derecede önemlidir. Planların üretimi ve maliyet değerlendirmeleri gerekli bir öncüdür, ancak etkili bir prototip olması için fiziksel bir varlığın inşa edilmesi ve yerleşmesi gerekir. Su altı şehirleri, su altına kısa süre boyunca girip keşfetmekten daha büyük hedeflere sahiptir. Çalışmaları, eğlenceleri, besin kaynakları ve diğer hizmetleri deniz ortamından gelen yeni topluluk biçimlerini öne sürdüler. Prototip bir şehri test etmek, prototip malzeme veya tekil bir yapıyı keşfetmekten daha zordur [79].

5.4 Konsept Proje Örnekleri

Günümüzde, uygun koşulların sağlanması durumunda su altında yaşayabilmenin mümkün olduğu dünyaya ispatlanmıştır. Tarih öncesi zamanda hayal olarak başlayan su altı yapılarının günümüzde gerçekleştirilmiş örneklerini görmek bu hayalin tamamen gerçekleştiği anlamına gelmemektedir. Bu bir gelişim sürecidir ve bu süreç teknolojinin de ilerlemesiyle birlikte ilerleyerek su altı kolonileri, su altı gökdelenleri ve su altı şehirleri olarak karşımıza çıkması beklenmektedir. Gelişim sürecince öngörülen su altı şehirleri ve gökdelenleriyle karmaşıklaşan yaşam alanları komplekslerinde mimarlara duyulan ihtiyaç da artacaktır.

Bu bölümde gerçekleştirilmiş olan su altı yapıları örneklerine bir alternatif olarak, tekil yaşam birimlerinde izole yaşam koşulları yerine, koloniler halinde bütüncül bir yaşam tarzının öngörüldüğü büyük ölçekli su altı yerleşim birimleri konsept proje örnekleri sunulmuştur.

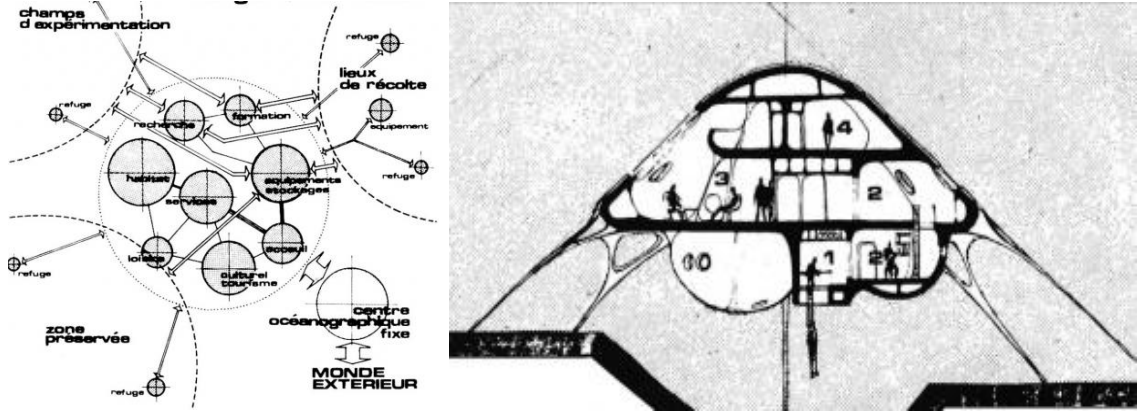
Proje Adı : Underwater Villages

Tasarımcı: Fransa, Jacques Rougerie

Proje alanı: Deniz, okyanus

Ölçek: XL - Kentsel

Proje Kurgusu: Amerikan deniz ve uzay araştırma ajanslarından ikisi olan NOAA ve NASA'nın su altı araştırmacıları için Karayipler'deki Virgin Adaları'na kurulması amaçlanan projedir. Tasarlanan yerleşim biriminin 30 - 40 metre derinliğe konumlanmış olarak, 50 ile 250 kişilik topluluğa ev sahipliği yapması planlanmıştır. Biyoniklere dayanan ve belirli su altı topluluk yaşamı koşulları ile tanımlanan mimarisi, özellikle deniz hayvanlarının ve deniz bitkilerinin su ürünleri teknik gelişimi, su ürünleri yetiştiriciliği yönetimi ve araştırmalarına adapte edilmiştir. Projenin ayrıca NASA astronotları için su altı eğitim üssü olarak kullanılması da amaçlanmıştır [140].



Şekil 5.50 Underwater villages master plan ve kesit çalışması [140]



Şekil 5.51 Underwater Villages, genel yerleşim görselleri [140]

Proje Adı: Oil Rig Aquaculture Column

Tasarımcı: İngiltere, Wesley Ho Hung Lai

Yıl: 2014

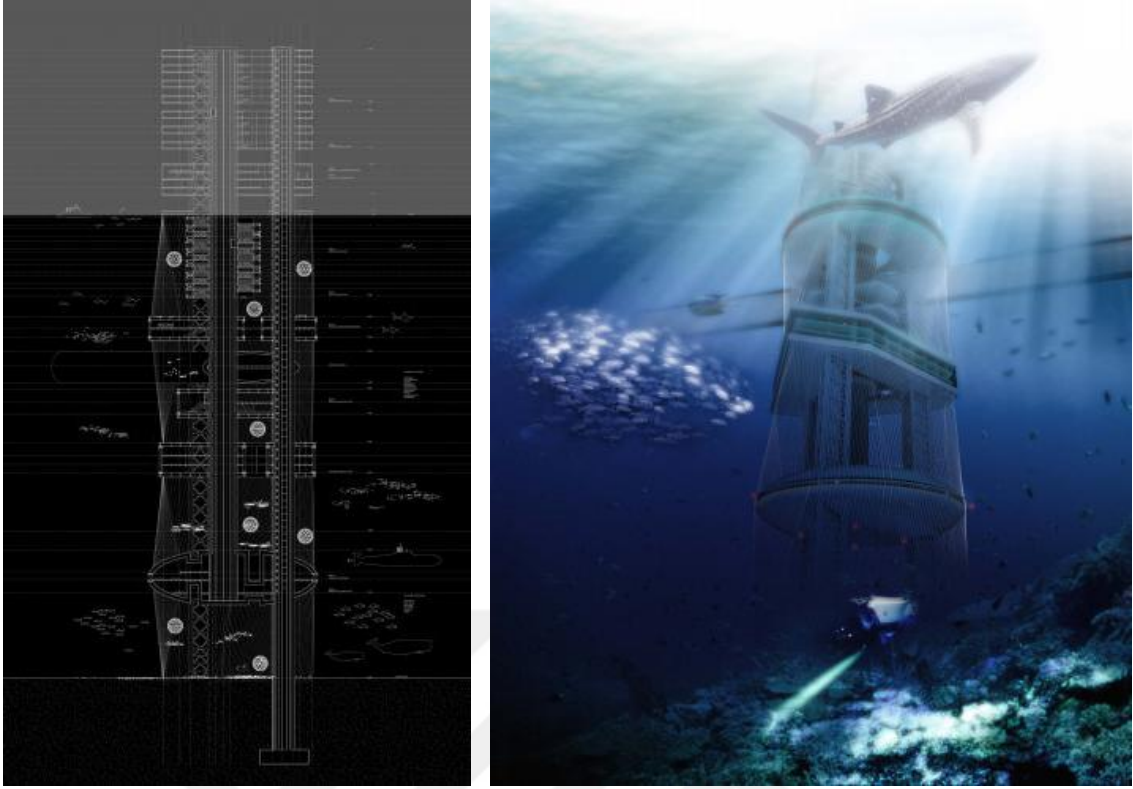
Proje alanı: Okyanus

Ölçek: XXL - Büyük kurulum

Proje Kurgusu: Yatay yüzey balık yetiştiriciliğini dikey bir su sütunu olarak yeniden düşünülmesi üzerine tasarlanmıştır. Meksika Körfezi, dünyadaki en büyük petrol kulesi kümesine sahiptir. Körfezdeki petrol kulelerinin üçte biri şu anda kullanılmamaktadır. Proje, petrol sondaj kulelerinin derin deniz ürünleri yetiştiriciliği için tekrar kullanılabilmesine dikkat çekmektedir [141].



Şekil 5.52 Oil Rig Aquaculture Column, 3D görselleri [141]



Şekil 5.53 Oil Rig Aquaculture Column, kesit ve su altı görünüşü [141]

Proje Adı: Armor Ocean Community

Tasarımcı: Rusya, Ivan Vasilyev

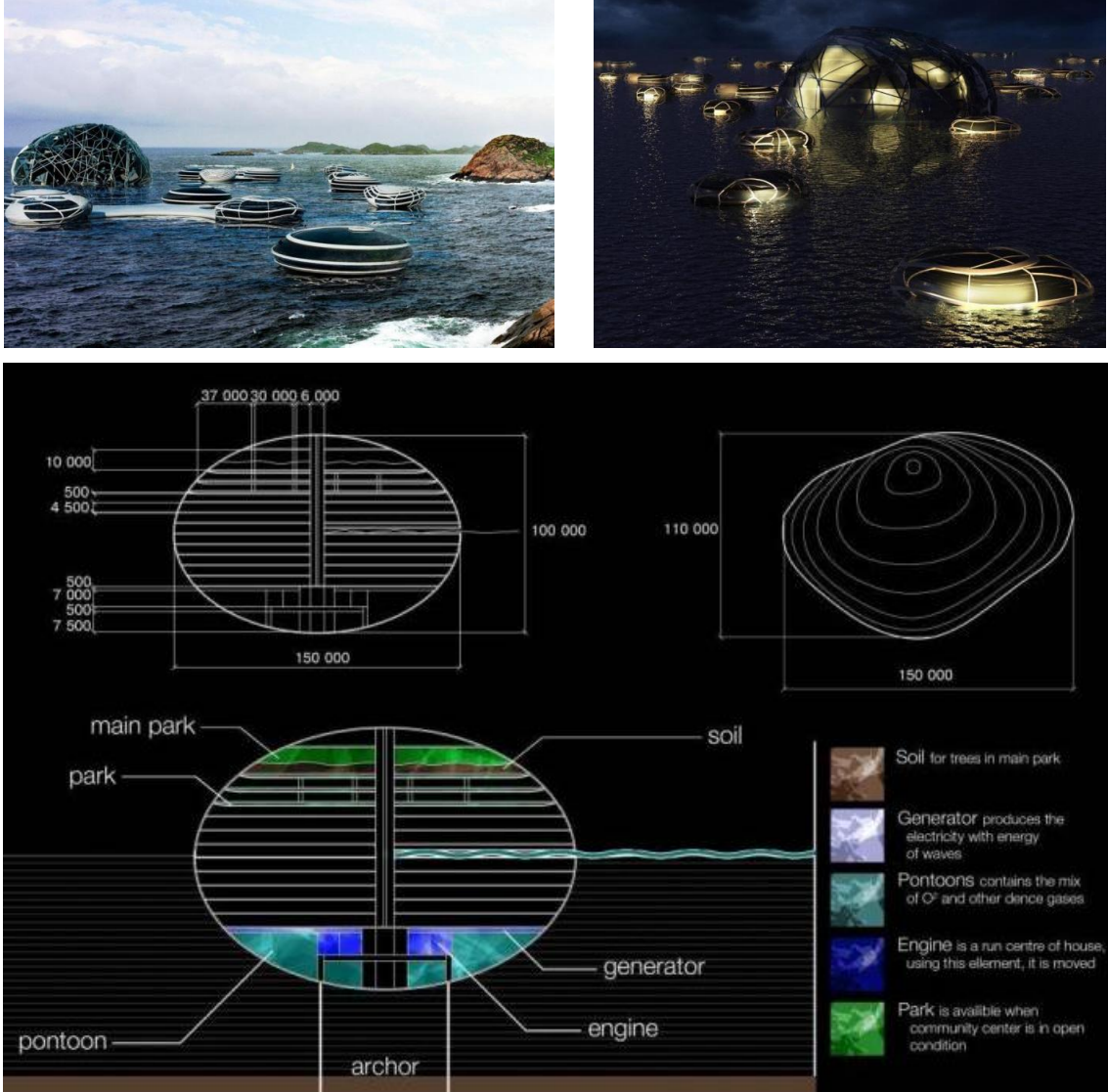
Yıl: 2015

Proje alanı: Deniz, Okyanus

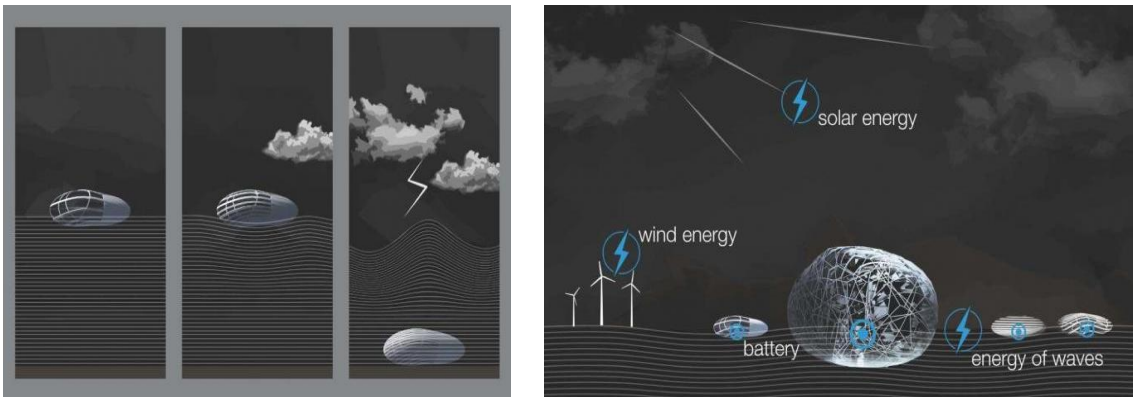
Ölçek: XXL - Büyük kurulum

Proje Kurgusu: Küresel ısınmayla gezegendeki iklim değişikliği, buzulların eriyor olması ve okyanus seviyesinin yükseldiği bilinmektedir. Tasarımcı, zamanla insanların yeryüzündeki hayatın güvenli olmadığını anlayarak, suda yaşamaya gerek duyacaklarını düşünmüştür. Amacı yalnızca selden etkilenen ülkelerin vatandaşlarına ikinci bir ev çıkarmak değil, aynı zamanda su üzerinde tamamen yeni bir yaşam tarzı oluşturmaktır. Proje, su yüzeyinde bulunan bir topluluklar şehridir ve bu topluluklar için gerekli olan basit bir yaşam hayatı ihtiyaçlarını karşılamaktadır; evler, ofisler, okullar, kreşler, süpermarketler, konser salonları. Her bir yapı kötü hava şartlarında, hatta tsunamilerde bile, binanın bütünlüğünü

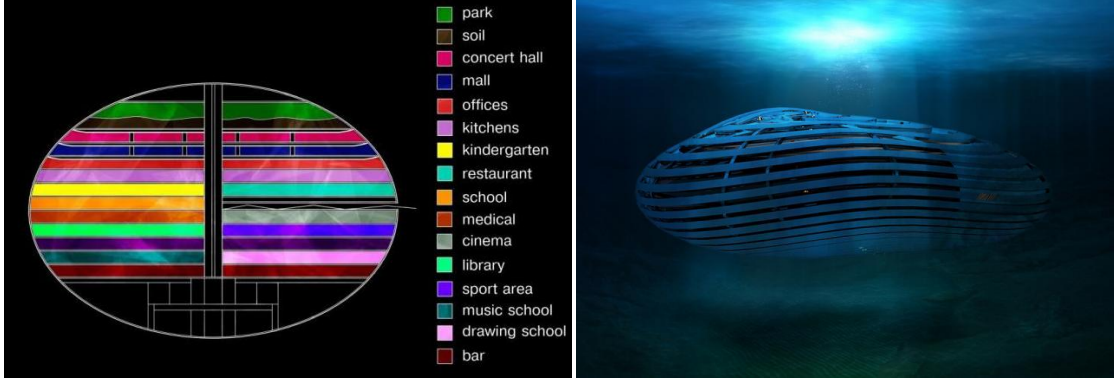
korumaya yardımcı olan koruyucu bir kabuğa sahiptir. Hareket kabiliyeti bu yapıların en önemli işlevi olarak sunulmaktadır [141].



Şekil 5.54 Armor Ocean Community, 3D görseller ve kesit çalışması [141]



Şekil 5.55 Hava şartlarına göre konumu ve kullanılan enerji kaynakları [141]



Şekil 5.56 Armor Ocean Community, kesit çalışması ve su altı görünüşü [141]

Proje Adı: Ocean Nomads

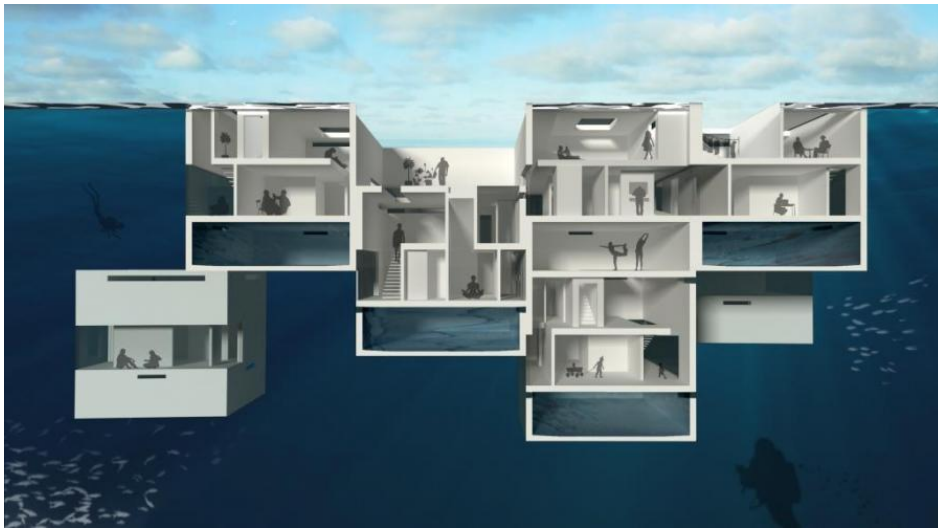
Tasarımcı: Çin, Su Tsu Yu

Yıl: 2015

Proje alanı: Okyanus

Ölçek: XL - Kentsel

Proje Kurgusu: İnsanların okyanusu işgal etmeye başlamasıyla, su ile uyumlu bir yaşam tarzı benimsemiş göçebe okyanus toplulukları kurgusu olarak tasarlanmıştır. Kübik modüler konut birimlerinden oluşan projede, göçebe okyanus kabilesinin yaşam kompleksleri küçük adalar üzerine kurgulanmıştır. Bu yaşam kompleksleri kendi kendine yeten bir topluluk olma hedefiyle üretim, ticaret, sağlık, bilgi ve araştırma gibi programları içermektedir [141].



Şekil 5.57 Ocean Nomads, kesit çalışması [141]



Şekil 5.58 Ocean Nomads, kesit çalışması ve su altı görselleri [141]

Proje Adı: Trabelsi

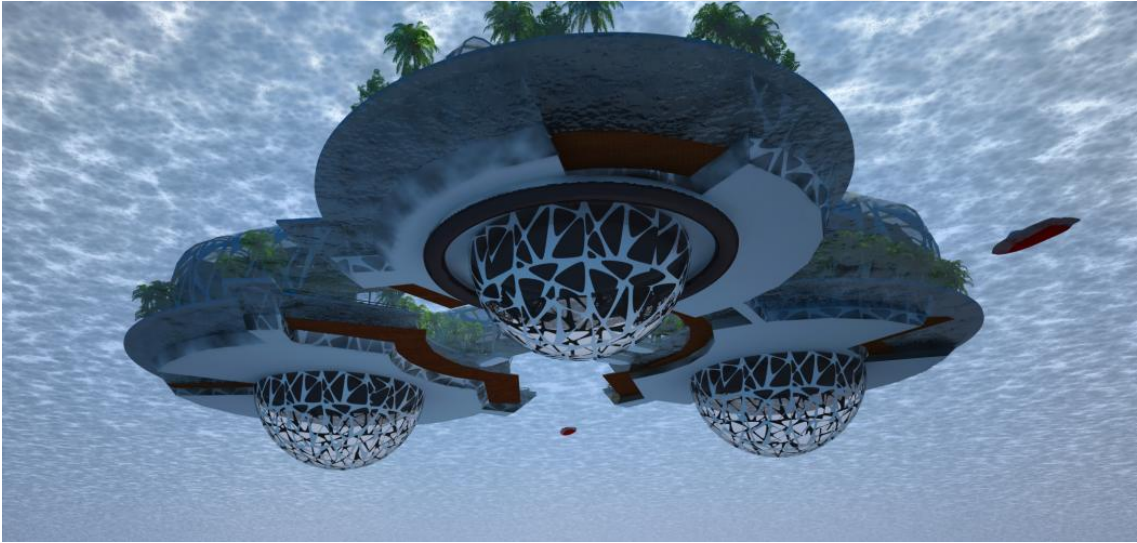
Tasarımcı: Tunus, Mohamed Trabelsi

Yıl :2013

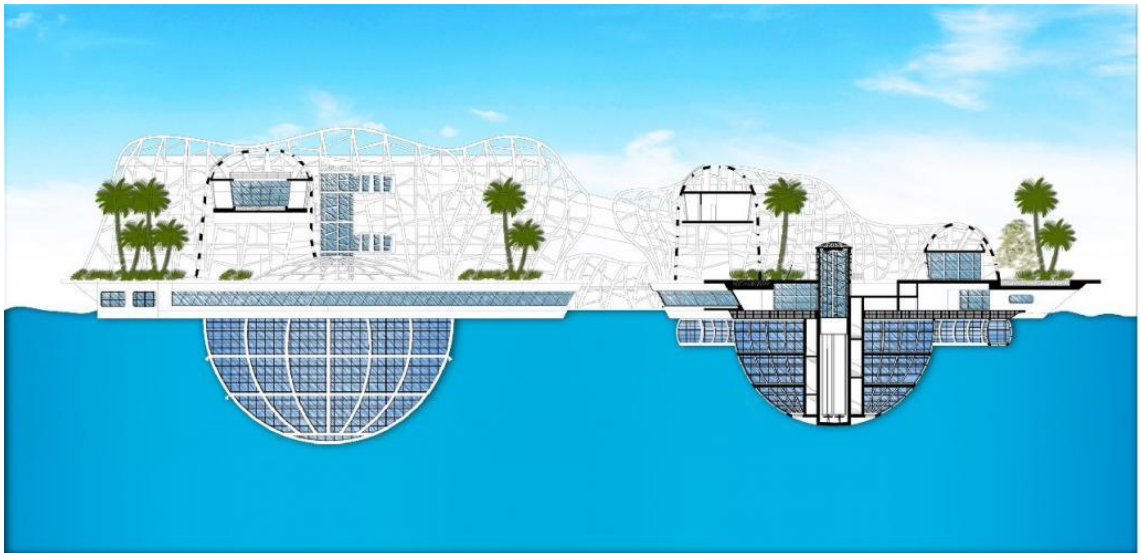
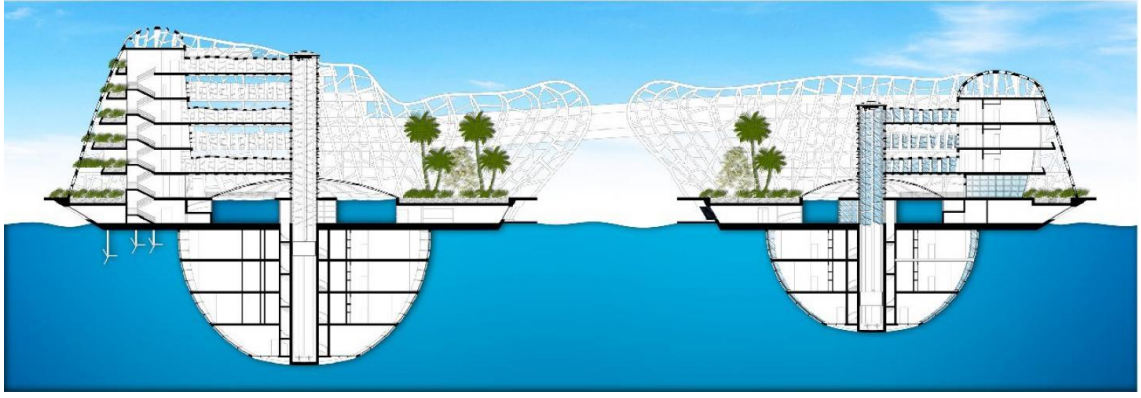
Proje alanı: Deniz, Nehirler, Lagün

Ölçek: XXL - Büyük kurulum

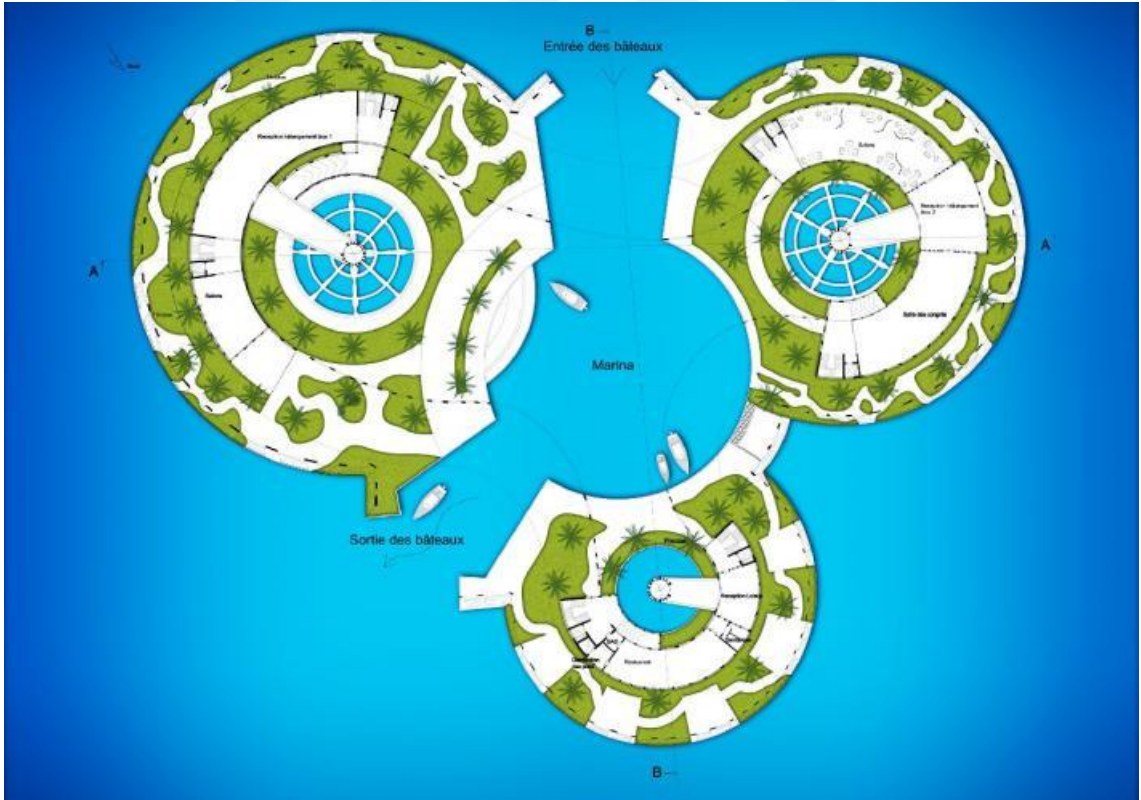
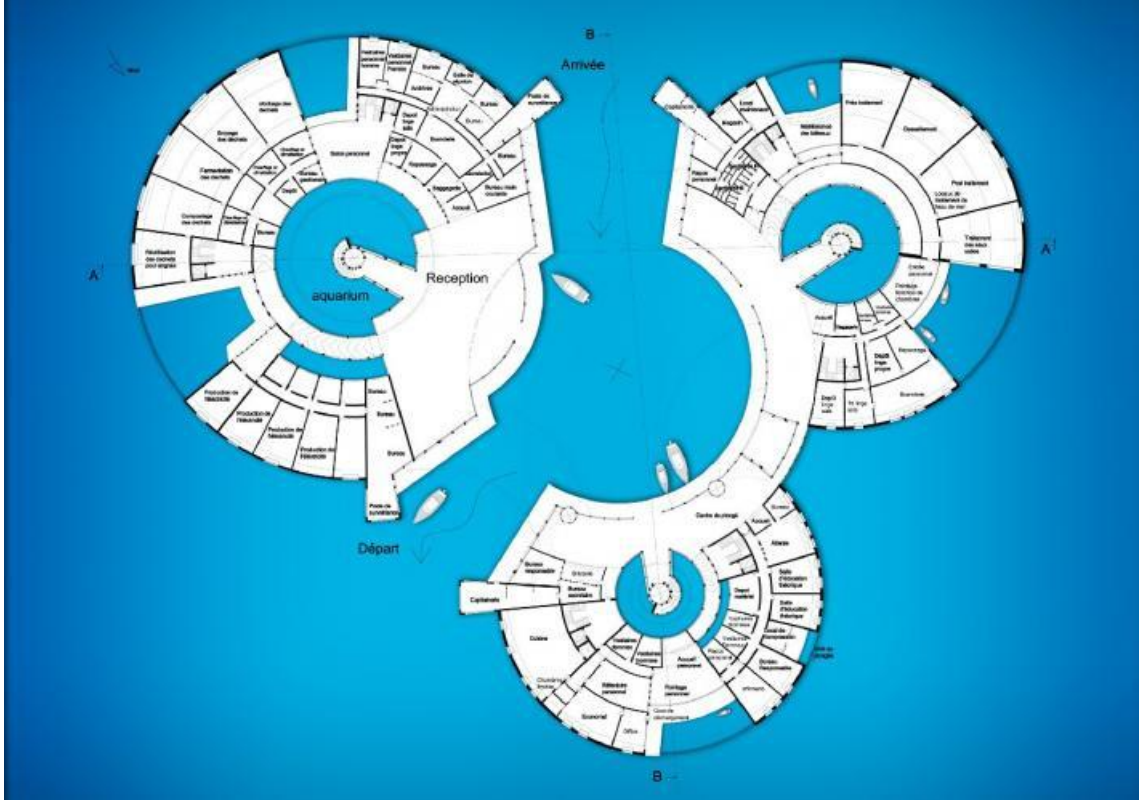
Proje Kurgusu: Tasarımcı; “popüler inanışın aksine yüzen bir otel inşa etmek pahalı değildir” diyerek enerjisini denizden üreten, kendi kendine yetecek bir otel tasarlanmıştır. Proje, sağlıklı, ekolojik, yüksek yaşam kalitesinde öngörülen gelişmeleri karşılamaktadır. İklim, biyolojik çeşitlilik, su ve sağlıkla ilgili kriterleri karşılamaktadır. Projenin enerji bağımsızlığını sağlaması için deniz enerjisini kullanması düşünülmüştür. Biyokütle enerjisini ve gelgit enerjisini birleştiren proje aynı zamanda birçok güneş paneline ve hidrolik türbinlere sahip olmasıyla tüm yenilenebilir enerjilere sahip olması planlanmıştır. Üretilen toplam enerjinin, otel tüketiminden daha fazla olabileceği öne sürülmektedir [141].



Şekil 5.59 Trabelsi, su altı bölümü görünüşü [141]



Şekil 5.60 Trabelsi, kesit, model ve görünüşü [141]



Şekil 5.61 Trabelsi, kat planları [141]

Proje Adı: Lady Landfill Skyscraper

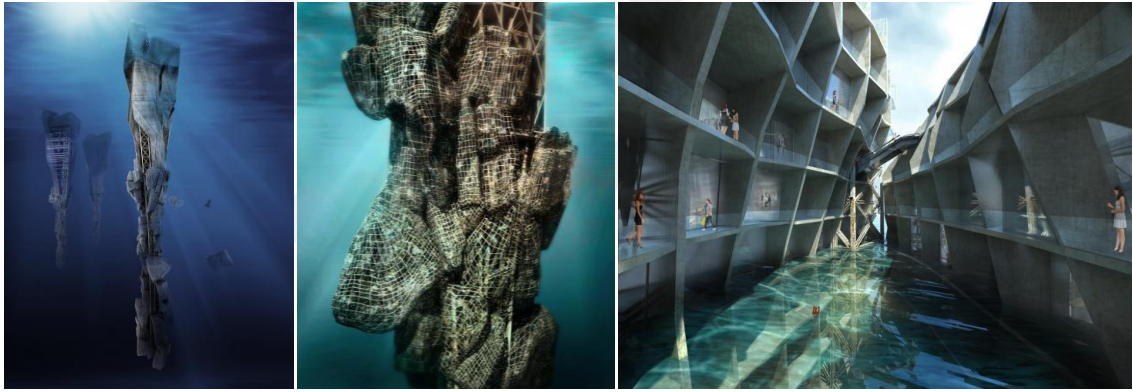
Tasarımcılar: Sırbistan, Milorad Viadojevic, Jelena Pucarevic ve Milica Pihler

Yıl :2012

Proje alanı: Deniz

Ölçek: S - Bina

Proje Kurgusu: Sudaki çözünemeyen yabancı maddeleri çıkarmak amacıyla yüzen bir ada olarak tasarlanmış bir gökdeldir. Bu gökdelen, atıkları denizden toplayarak geri dönüştürme işleviyle enerji kaynağı olma özelliği taşımaktadır. Geri dönüşümün çeşitli aşamaları yapının içindeki hacimlerde gerçekleşeceği planlanmıştır. Üst bölümler ise kullanıcılara rahat bir konaklama sağlamak için konut, dinlenme ve diğer etkinlikler için tasarlanmıştır [141].



Şekil 5.62 Lady Landfill Skyscraper, su altı bölümü görselleri [141]



Şekil 5.63 Lady Landfill Skyscraper su üstü bölümü görselleri [141]

Proje Adı: Narwhall

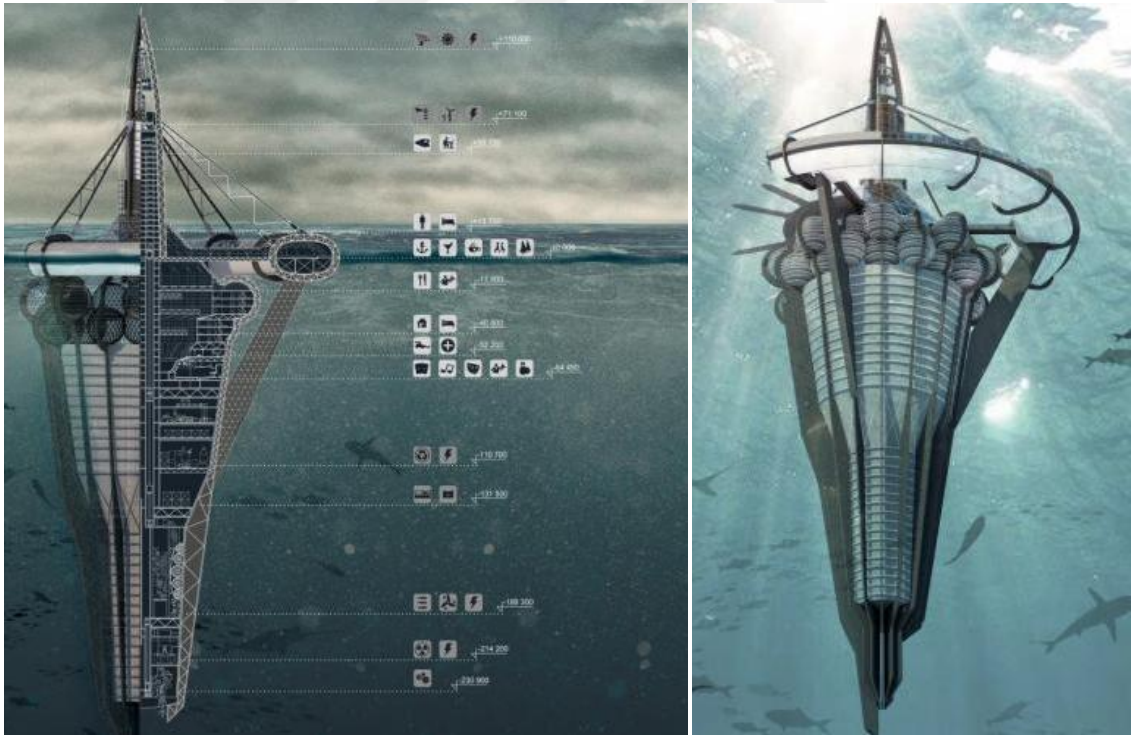
Tasarımcı: Rusya, Viktor Shklovskii

Yıl :2015

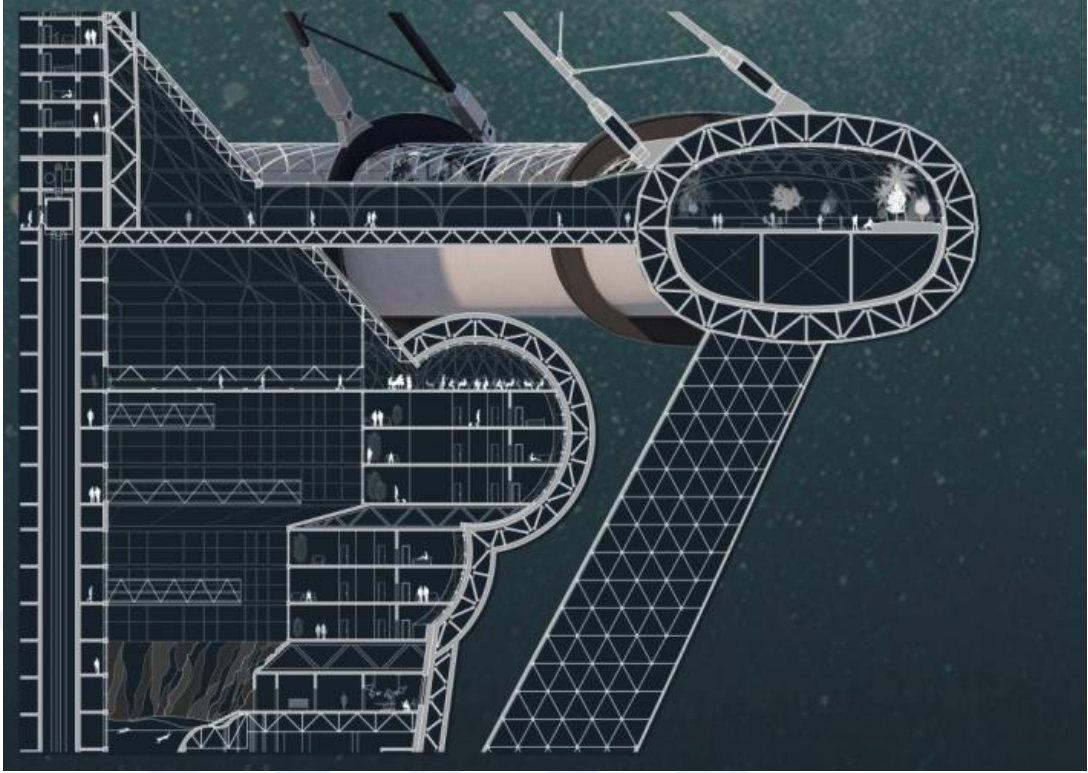
Proje alanı: Deniz

Ölçek: XXL - Büyük kurulum

Proje Kurgusu: Tasarımdaki fikir, Kuzey Kutbu'nun sert koşullarından izole edilmiş, yapay çevresi olan bir rekreasyon kompleksi yaratmaktır. Proje öncelikli olarak Kuzey Denizi güzergahındaki denizciler olmak üzere, petrol ve benzin istasyonları çalışanlarına yönelik bir mini şehir kompleksi olarak planlanmıştır. Projeye göre atıklar geri dönüştürülerek gübre olarak seraya taşınmaktadır. Enerji üretimini rüzgar türbinleri, jeneratörler, su altı akımları ve sıcaklık farkına sahip jeneratörler gibi alternatif kaynaklardan sağlamaktadır. Kompleksin elektrik ihtiyacını karşılamak için bir de nükleer reaktör önerilmiştir [141].



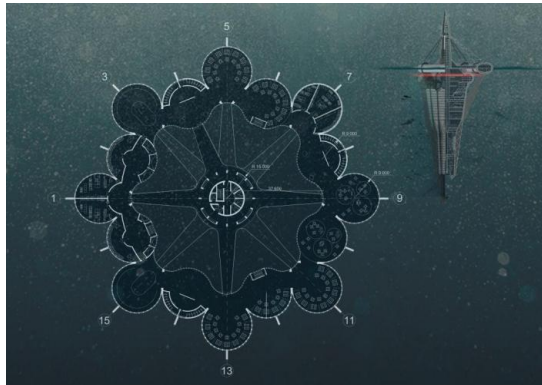
Şekil 5.64 Narwhall, kesit ve su altı görünüşü [141]



Şekil 5.65 Narwhall, kısmi kesit çalışması [141]



Şekil 5.66 Narwhall, su üstü bölümü planı [141]



Şekil 5.67 Narwhall su altı bölümü planı [141]

Proje Adı: Medee

Tasarımcı: Kevin Lesquenner

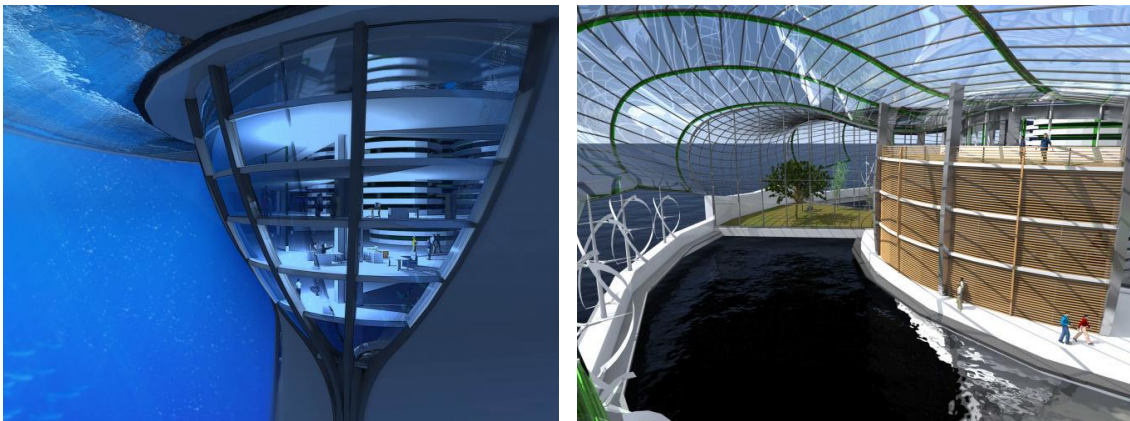
Proje alanı: Deniz

Ölçek: XXL - Büyük kurulum

Proje Kurgusu: Medee bir mobil biyoreaktör olarak tasarlanmıştır. Bu yüzen yapı biyoyakıt üretimi için mikro yosun kültürünü geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bunu yapmak için, Medee fotovoltaik veya rüzgar enerjisi gibi yeşil enerjileri ya da dünyayı kirleten çöplerin geri dönüşümünün kullanılması planlanmıştır. Medee, denizanasının “bio-mimicry” (doğadaki modelleri inceleyip bu tasarımları taklit etmek suretiyle insanların problemlerine çözüm getirmeyi amaçlayan bilim dalı) düşüncesiyle tasarlanmıştır [141].



Şekil 5.68 Medee yapı modelleri [141]



Şekil 5.69 Medee su üstü ve su altı bölümü görselleri [141]

Proje Adı: Sub-Biosphere-2

Tasarımcı: İngiltere, Phil Pauley

Yıl :2013

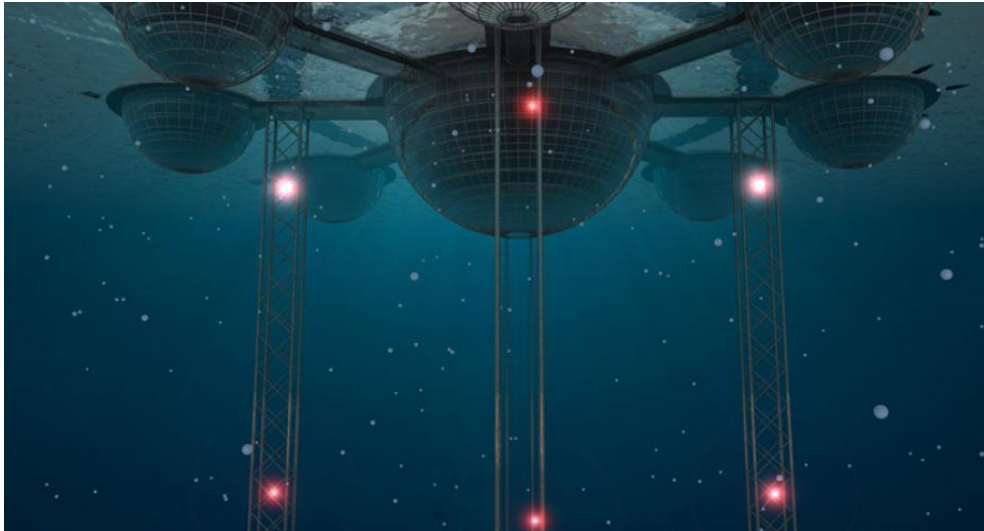
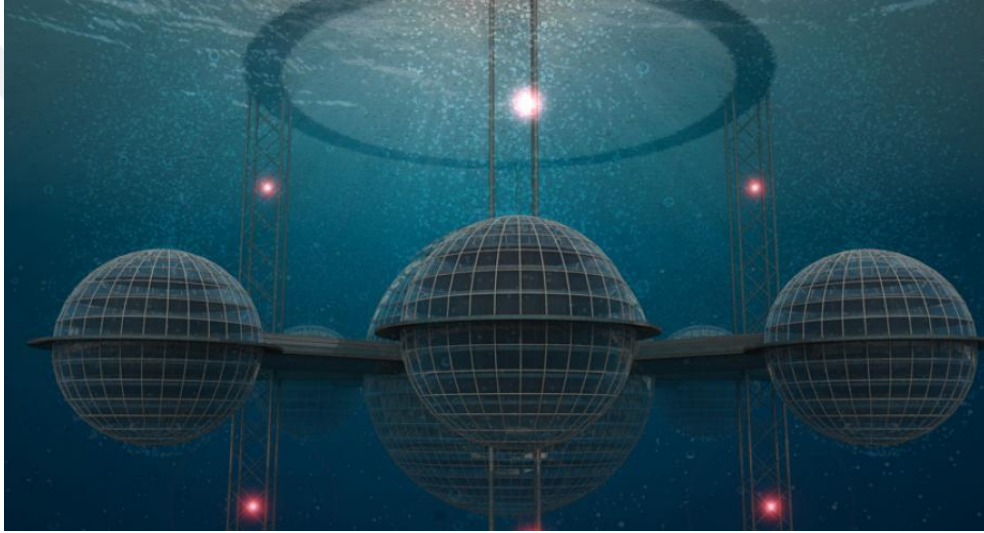
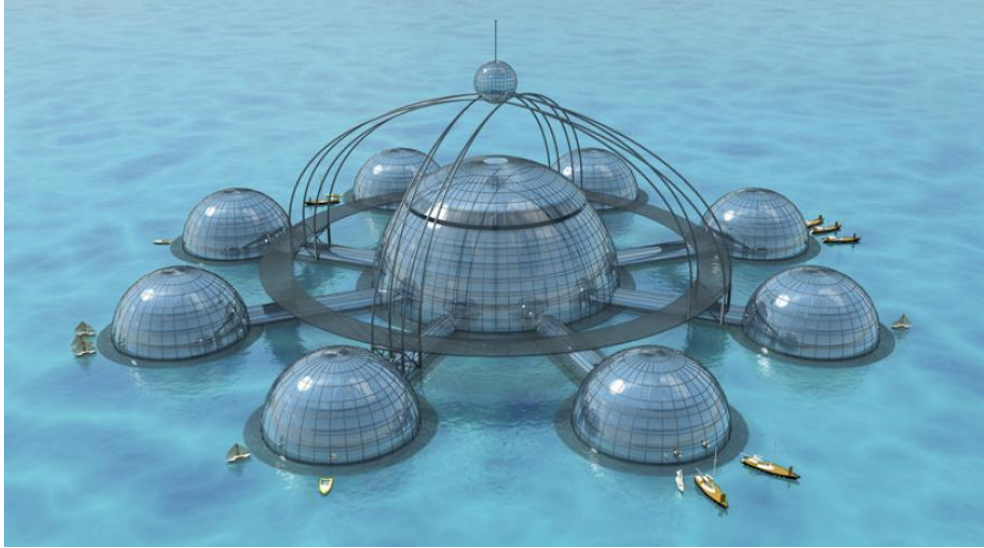
Proje alanı: Okyanus, Deniz, Nehir, Lagün.

Ölçek: XL - Kentsel

Proje Kurgusu: Pauley'in tasarımlarında odak noktası kurumsal, sosyal ve küresel sorunları ele almak için yaratıcı girişimler geliştirmektir. Merkezi destek biyosferinin etrafına, su altı topluluğunu oluşturmak için yerleştirilmiş sekiz kapsülünden oluşmaktadır. Projede amaçlanan su altı bağlamında kendi kendine sürdürülebilir bir habitat yaratmaktır. Sub-Biosphere-2, dikey olarak suyun üstünde ve altında hareket eden bir mekanizmaya sahiptir. Turizm ve oşinografik yaşam bilimleri araştırmaları için tasarlanan su altı yaşam alanı insanların, hayvanların ve bitkilerin sürekli yaşam alanı olması için kendi kendine sürdürülebilir olarak tasarlanmıştır [141].



Şekil 5.70 Sub-Biosphere-2, su üstü bölümü [141]



Şekil 5.71 Sub-Biosphere-2, hareketli sistem görselleri [141]

Proje Adı: Arados

Tasarımcı: Suriye, Louay AlBarazi

Yıl :2017

Proje alanı: Deniz, Okyanus

Ölçek: S - Bina

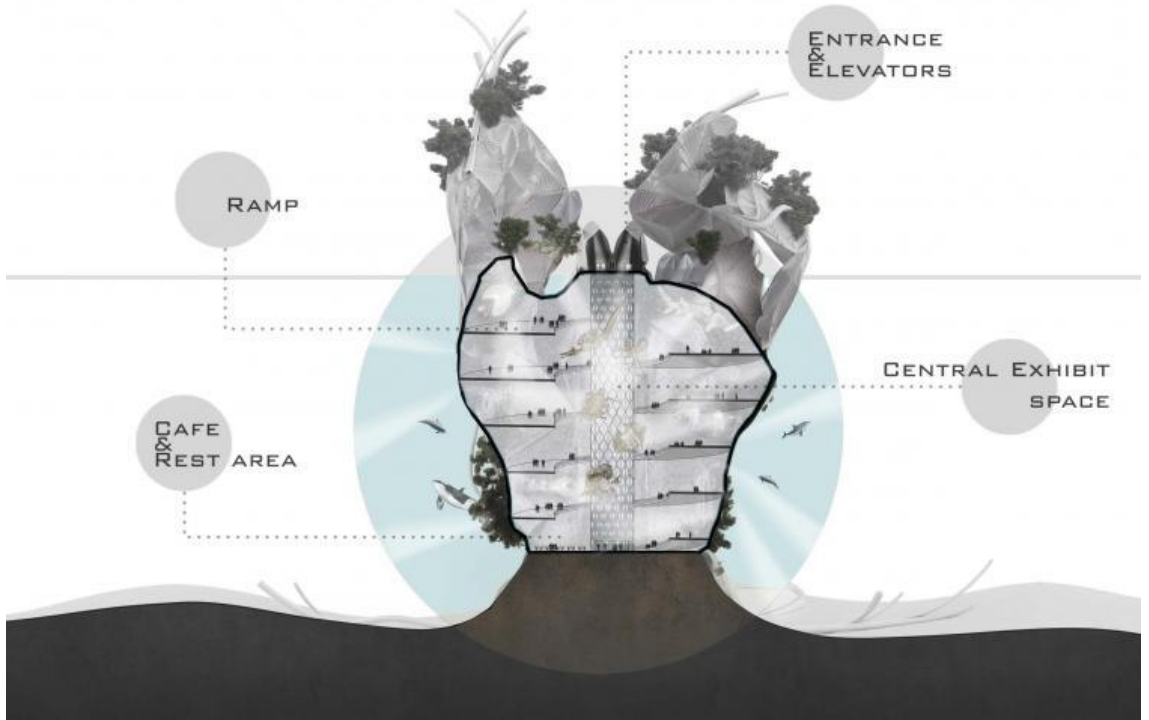
Proje Kurgusu: su altı müzesi olarak tasarlanan projede, insanların okyanusu yenilikçi bir bakış açısıyla keşfetmesini ve su altı dünyasını tanımlarını amaçlanmıştır. Eğlenceli ve bilimsel faydaları olan ziyaretçiler, su altı yaşamının güzelliğini anlatan farklı mekanlardan ve etkinliklerden geçen rampayı kullanarak yürüyerek gezerek müzeyi keşfedebilirler. Doğanın bir parçası olacak şekilde tasarlanan projeden, doğal kaynakları kullanarak yarattığı enerjinin kendi kendine yeterli olması beklenmektedir [141].



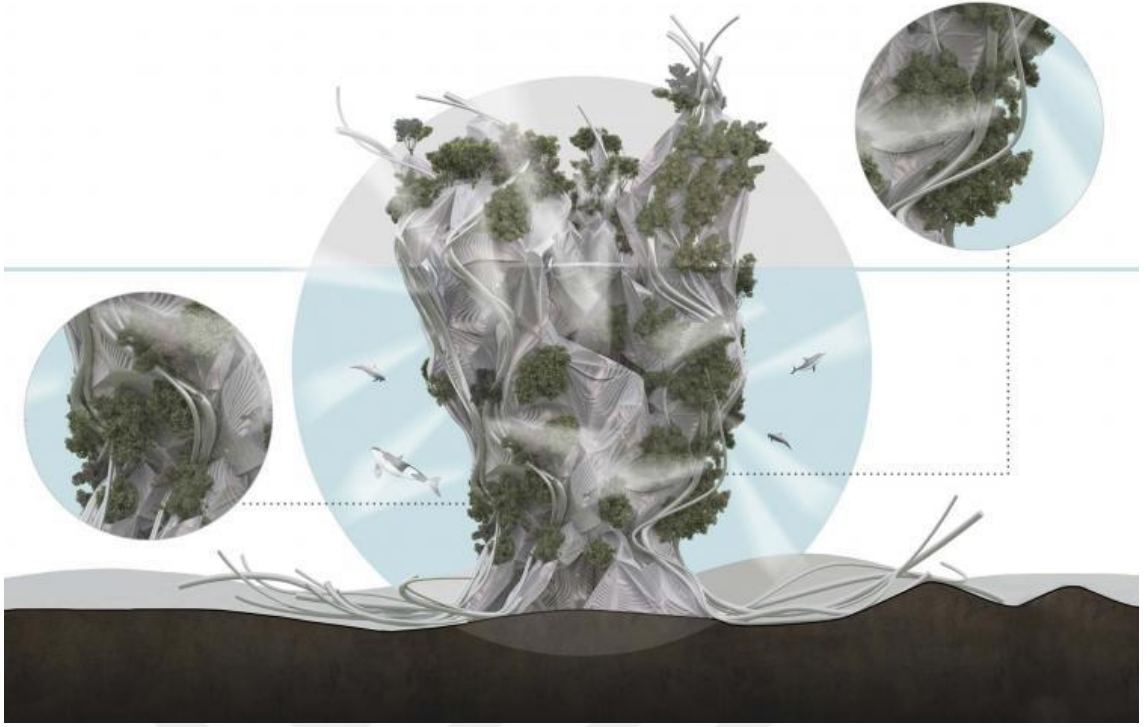
Şekil 5.72 Arados, su üstü bölümü görünüşü [141]



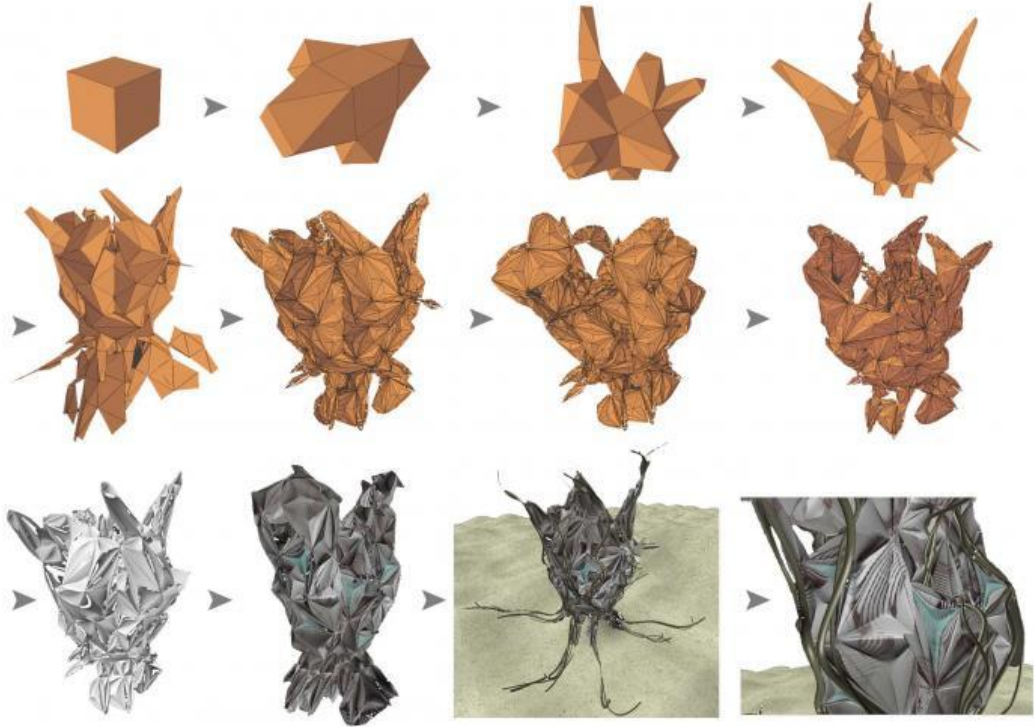
Şekil 5.73 Arados, kat planı [141]



Şekil 5.74 Arados, kesit çalışması [141]



Şekil 5.75 Arados, cephe görseli [141]



Şekil 5.76 Arados, cephe oluşum aşamaları modeli [141]

Proje Adı: Adapting Infrastructure

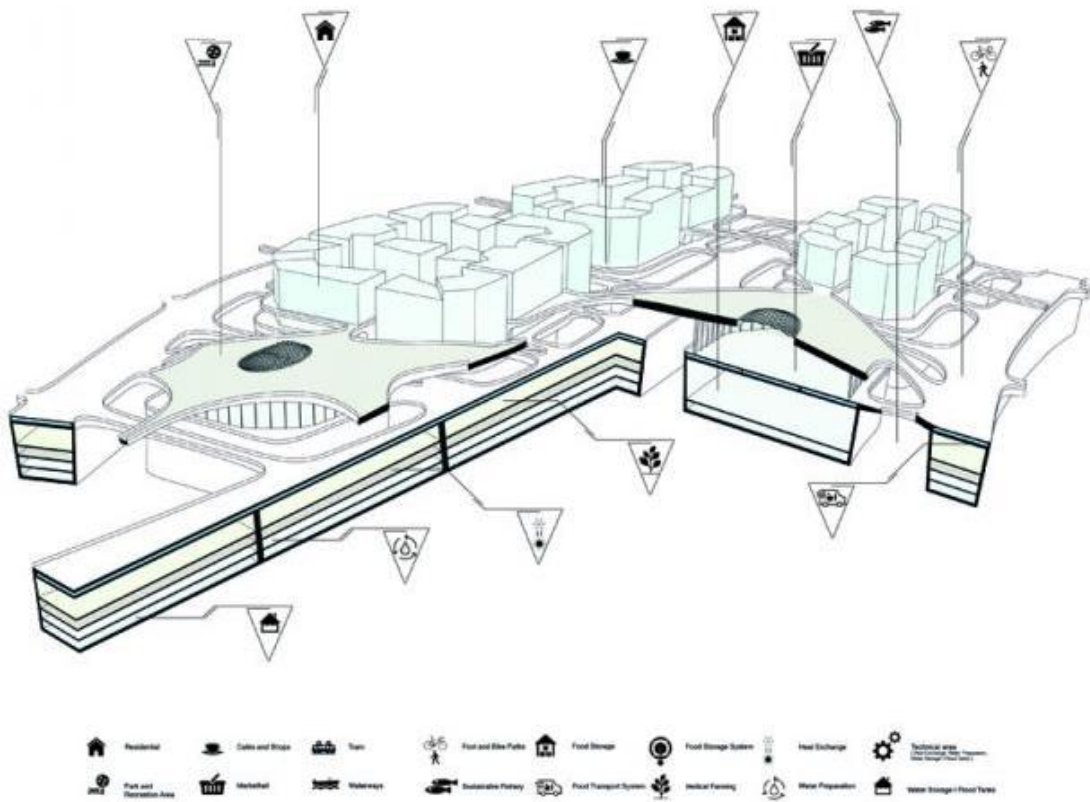
Tasarımcılar: Almanya, Lejla Huskic, Andre Engbert, Hansmann, Martin Schulte

Yıl :2017

Proje alanı: Deniz, Okyanus

Ölçek: XL - Kentsel

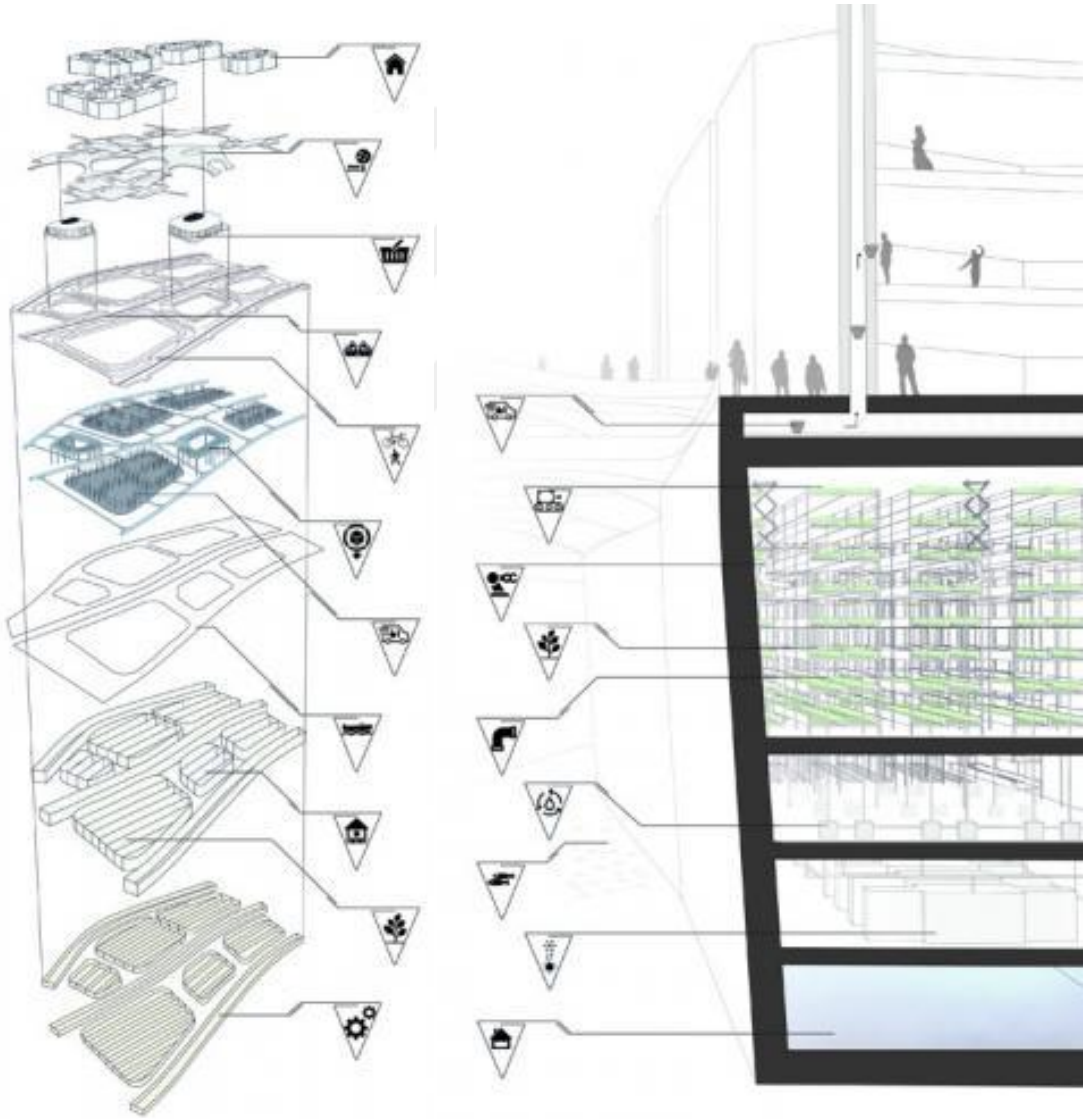
Proje Kurgusu: Özel olarak tasarlanmış bir boru yapısı ile şimdiye kadar bilinen altyapı sistemlerine yeni bir bakış açısı kazandırmıştır. En az üçte ikisi su altında olan yaşam alanı için gerekli elektrik enerjisi güneş panellerinden sağlanırken, su ihtiyacı için arıtma tesisi düşünülmüştür. Büyük parçalar dikey tarım, gıda üretimi ve yeni bir gıda dağıtım biçimi için kullanılmaktadır. Mahsuller hasat edilir ve önceden sipariş edilen yiyecekler su altı habitatlarında üretilir. Yaşam alanının her bloğunda şehir parklarının bulunmasının yanında, diğer avlulara bağlı büyük bir yeşil avlu da bulunmaktadır. Bu nedenle, insan yapımı bir manzara üzerinde yürüyerek şehir içinde hareket etmek mümkündür [141].



Şekil 5.77 Adapting Infrastructure, kesit perspektif görseli [141]



Şekil 5.78 Adapting Infrastructure, vaziyet planı ve kesit çalışması [141]



Şekil 5.79 Adapting Infrastructure, proje katmanları ve kısmi kesit [141]

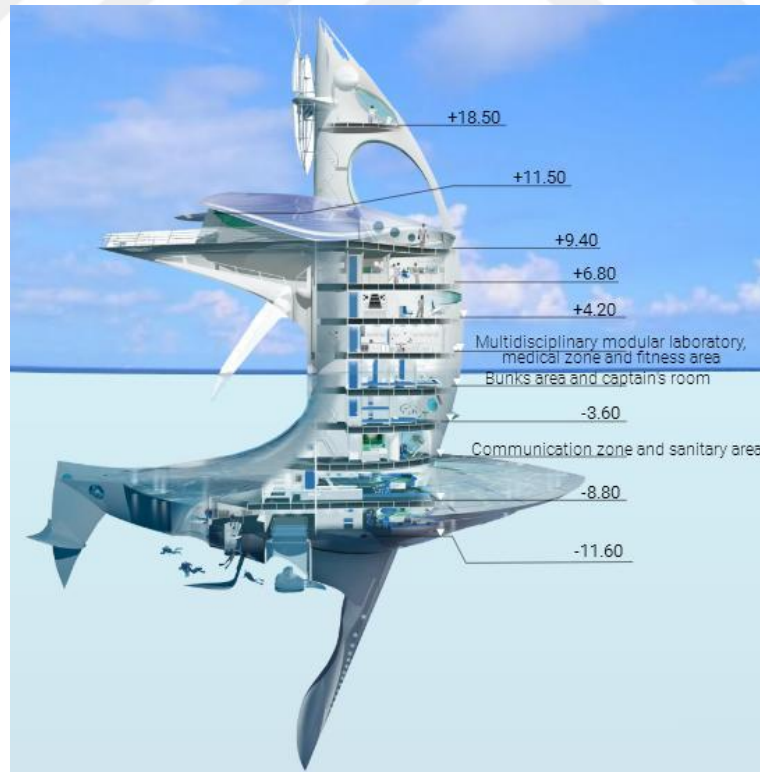
Proje Adı: Sea Orbiter

Tasarımcı: Fransa, Jacques Rougerie

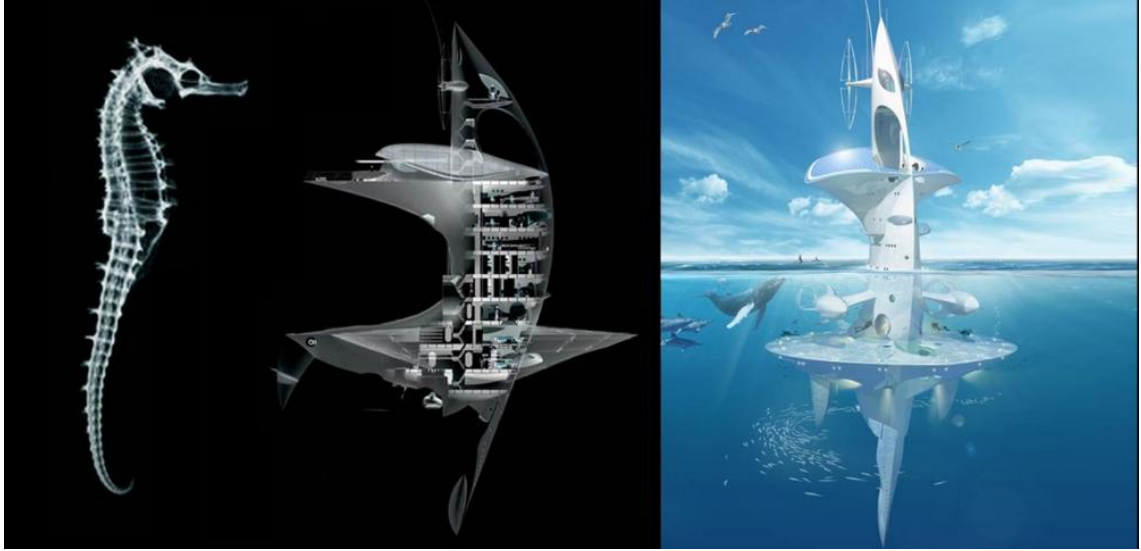
Proje alanı: Okyanus

Ölçek: S - Bina

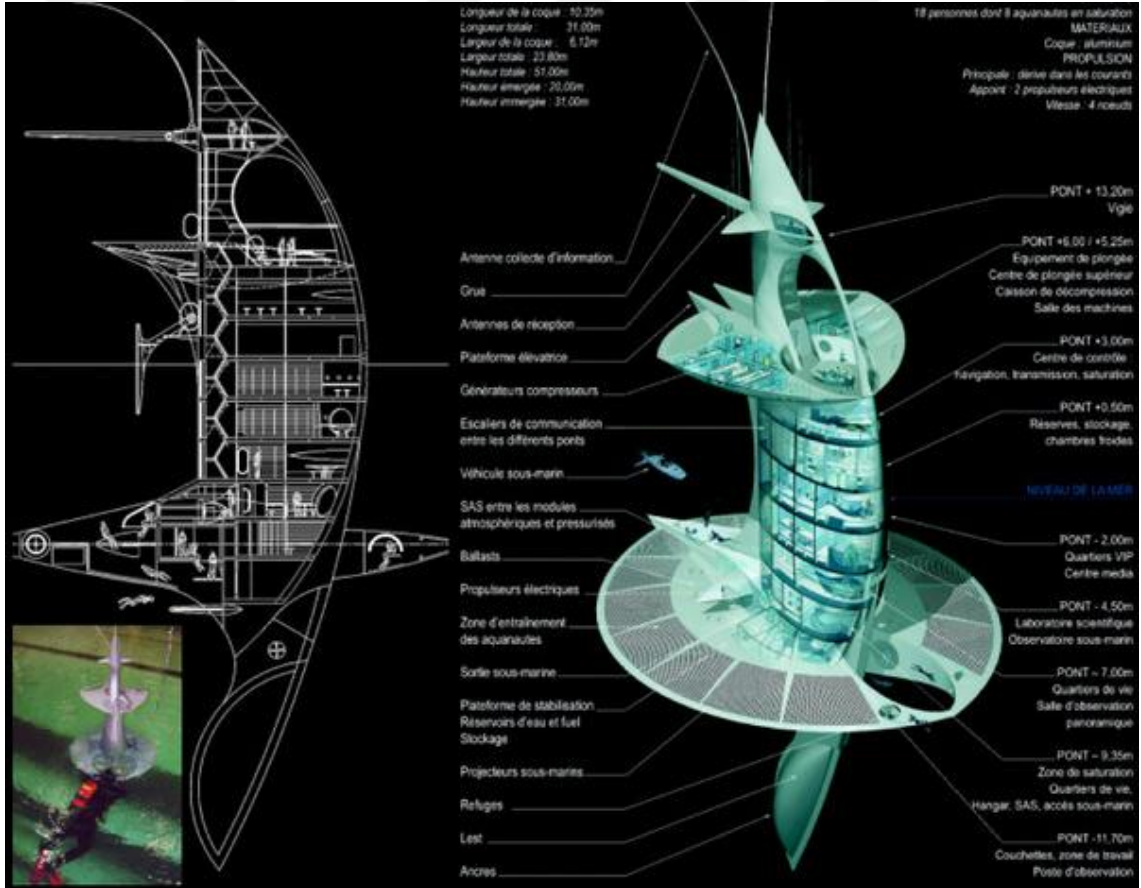
Proje Kurgusu: SeaOrbiter'in özgün fikri ve tasarımı mimar Jacques Rougerie tarafından yaratılmıştır. Rougerie 35 yıllık araştırmalarıyla vizyonerler olan Jules Verne, Jacques Piccard ve Jacques-Yves Cousteau'nun mirasını sürdürmektedir. Su sayesinde okyanuslarda sürüklenen hareketli bir dikey yapı olarak tasarlanmıştır. Seaorbiter, yapıda ve çevresinde doğal olarak gelişecek biyoçeşitlilikle 18 kişiyi barındırabilecek bir laboratuardır [142]. Yapısı alüminyum gövde ve metakrilat pencerelerden oluşmaktadır. Genişliği 23,8 metre olan yapı 30 metresi su altında olmak üzere toplamda 51 metre olarak tasarlanmıştır. Yenilenebilir kaynaklar üzerinde durularak enerji arzı, dönüşüm ve depolama çalışmaları tanımlanmıştır. Laboratuvarları, su tesisleri, balast sistemi tasarlanmış olan projenin çalışmaları devam etmektedir [143].



Şekil 5.80 Sea Orbiter, kesit çalışması [143]



Şekil 5.81 Sea Orbiter, yapı formunun esin kaynağı ve 3D model [143]



Şekil 5.82 Sea Orbiter, kesit ve 3D model [143]

Proje Adı: İskenderiye Su Altı Müzesi

Tasarımcı: Fransa, Jacques Rougerie

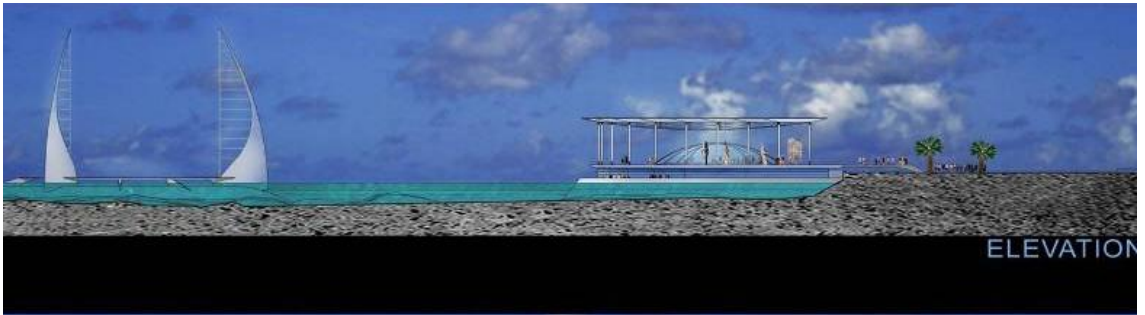
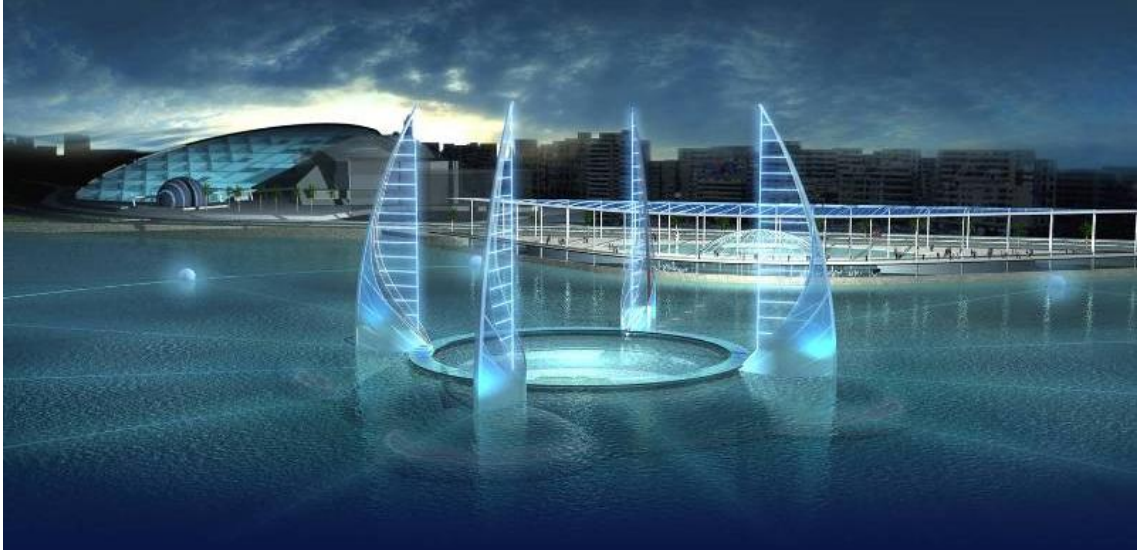
Proje alanı: İskenderiye kıyısı, Mısır

Ölçek: S - Bina

Proje Kurgusu: Uzay ve su altı yapılarında uzman olan Mimar Jacques Rougerie, ilk su altı müzesini tasarladı. İskenderiye kıyılarında sfenks, heykel, roma ve yunan gemi enkazı ve Pharos deniz fenerinden olduğuna inanılan kalıntılar yıllar önce keşfedildi. Bu kalıntıların taşınması tarihi eserlere zarar verebilir düşüncesiyle uygulanmamıştır. Bunun yerine su altında ve su üstünde tasarlanacak bir müze içinde eserlerin sergilenmesi fikri kabul görmüştür. Körfez derinliği 5-6 metre arasında olduğundan, müze duvarlarının su altı bölümü için makul bir su basıncıyla karşı karşıya kalınmıştır. Politik sürecin çözülmesi durumunda inşaatın başladığı tarihten itibaren üç yıl içinde bitmesi planlanmıştır [144].



Şekil 5.83 İskenderiye Su Altı Müzesi hava görseli üzerinde proje konumu [145]



Şekil 5.84 İskenderiye Su Altı Müzesi, kesitler ve görünüşler [145]



Şekil 5.85 İskenderiye Su Altı Müzesi, 3D görseller [144]

Proje Adı: Lilypad

Tasarımcı: Belçika, Vincent Callebaut

Proje alanı: Okyanus

Ölçek: XXL - Büyük kurulum

Proje Kurgusu: Lilypad, 50.000 nüfusu barındırabilen karma kullanımlı yüzen yerleşim birimlerinden oluşmaktadır. Biyolojik çeşitliliğini, yağmur sularını toplayan ve temizleyen merkezi bir yumuşak su lagosu çevresinde geliştirmeye davet eden gerçek bir amfibidir. Tasarımcı, insanlarla doğanın uyumlu birlikteliğini yaratmak için yaşam alanını organik tasarıma sahip caddeler ve geçitler ağıyla planlamıştır. Çok fonksiyonlu proje; çalışma, alışveriş ve eğlence için planlanmış üç marina ve üç dağın entegre olmasına dayanıyor. Üç dağ; ekolojik nişler oluşturarak, su ürünleri tarlalarıyla ve biyolojik koridorlar ortaya çıkarmıştır. Üç marinaya sahip olan ana güverte, denizaltı sahne sanatları merkezi ve bitki yetiştirme bahçelerinden oluşmaktadır [146].

Lilypad, yenilenebilir enerjilerin (güneş, termal ve fotovoltaik enerjiler, rüzgar enerjisi, hidrolik, gelgit enerji santrali, ozmotik enerjiler, fitopürifikasyon, biyokütle) entegrasyonu ile sıfır karbon emisyonu ile pozitif bir enerji dengesine ulaşması düşünülerek ve tükettiğinden daha fazla enerji üretmesi amaçlanmıştır [146].

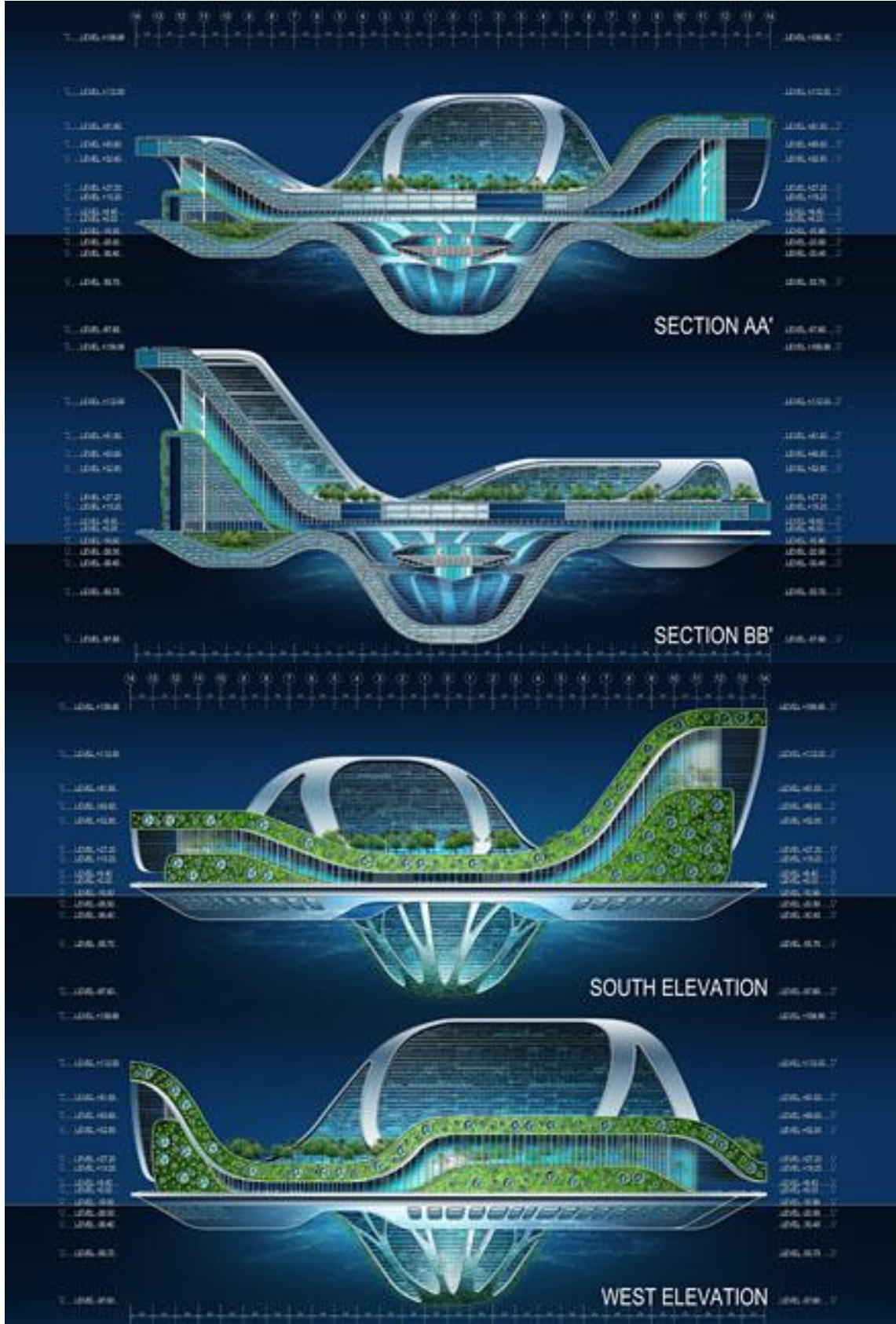
Yüzen yapı, Amazonia Victoria Regia'nın dev lilyadinin damarlı izinden esinlenen Ecopolis'in "dalları" dır. Ecopolis'in yüzer yapısı, Amazonia Victoria Regia'nın büyük zambaklarının nervürlü izinden doğrudan esinlenmiştir [146].



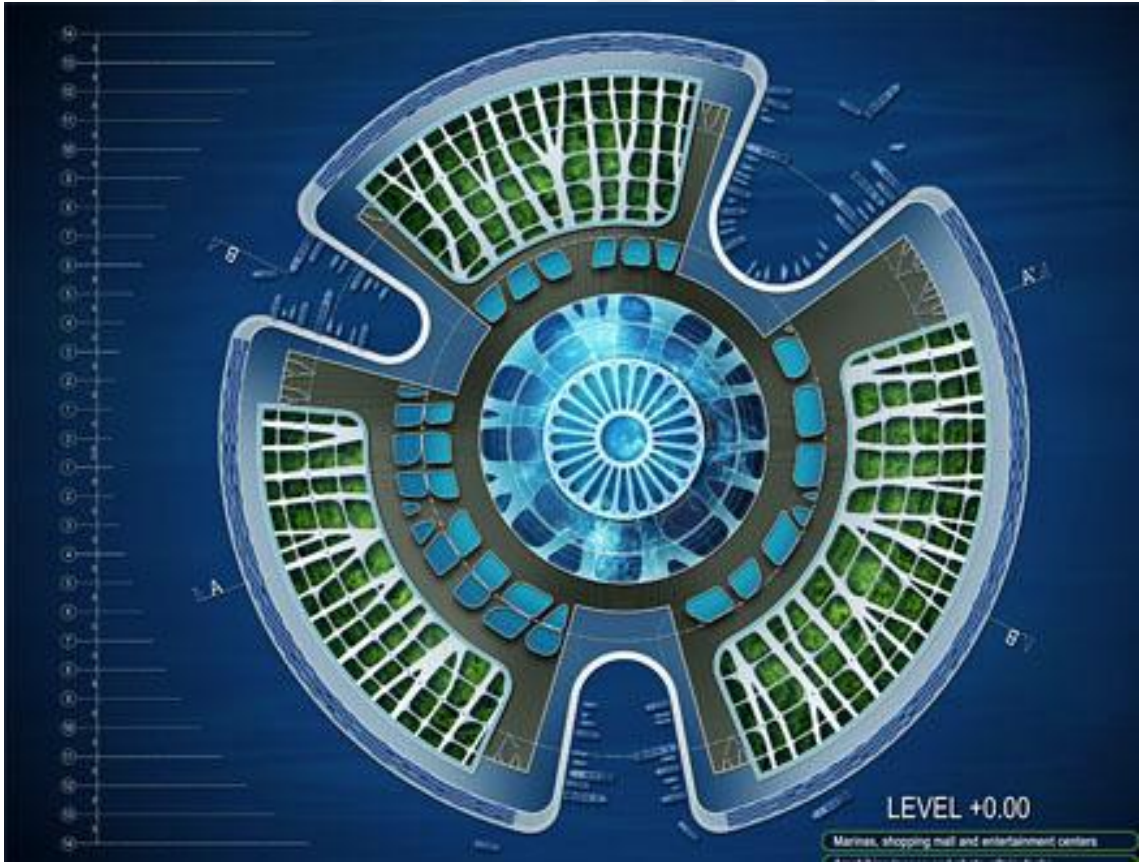
Şekil 5.86 Lilypad, yapı formunun esin kaynağı [147]



Şekil 5.87 Lilypad 3D görseller [147]



Şekil 5.88 Lilypad kesitler ve görünüşler [147]



Şekil 5.89 Lilypad kat planları [147]

Proje Adı: H₂O Scraper

Tasarımcı: Malezya, Sarly Adre Sarkum

Yıl :2010

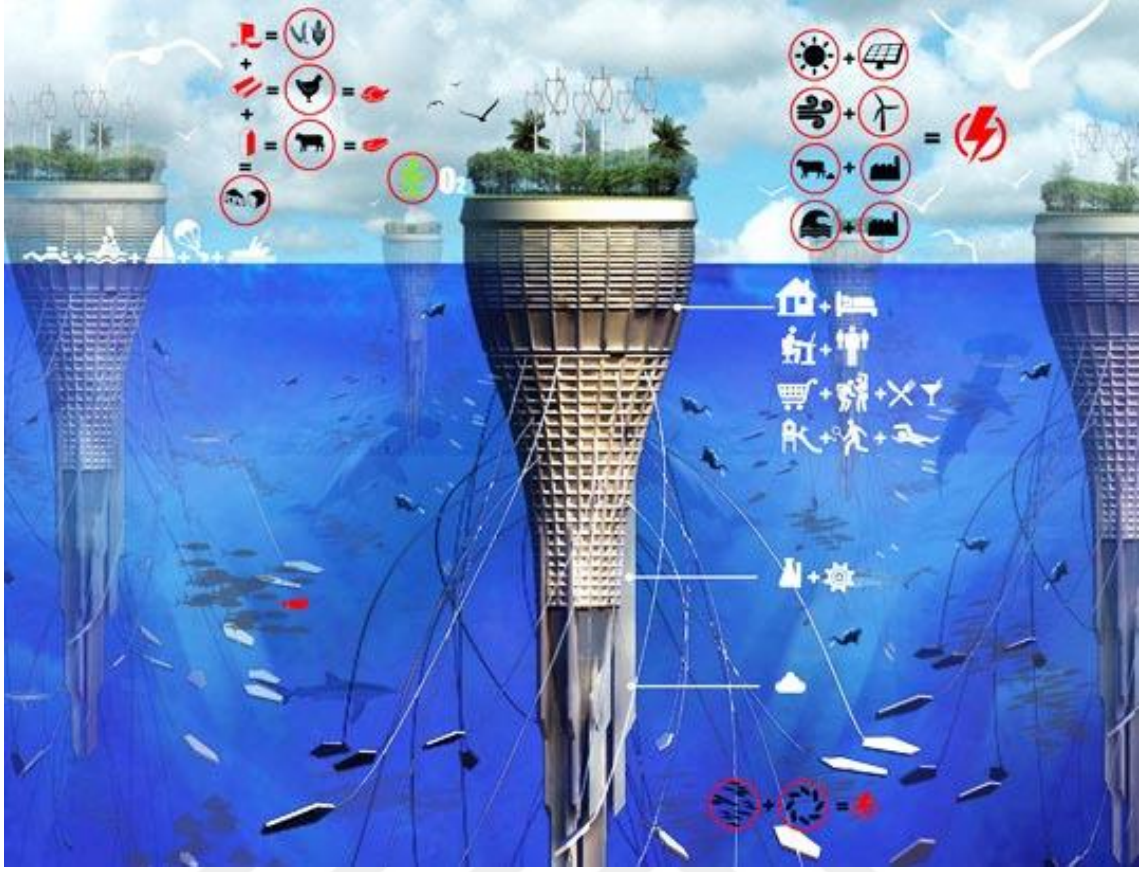
Proje alanı: Deniz, Okyanus

Ölçek: XL - Kentsel

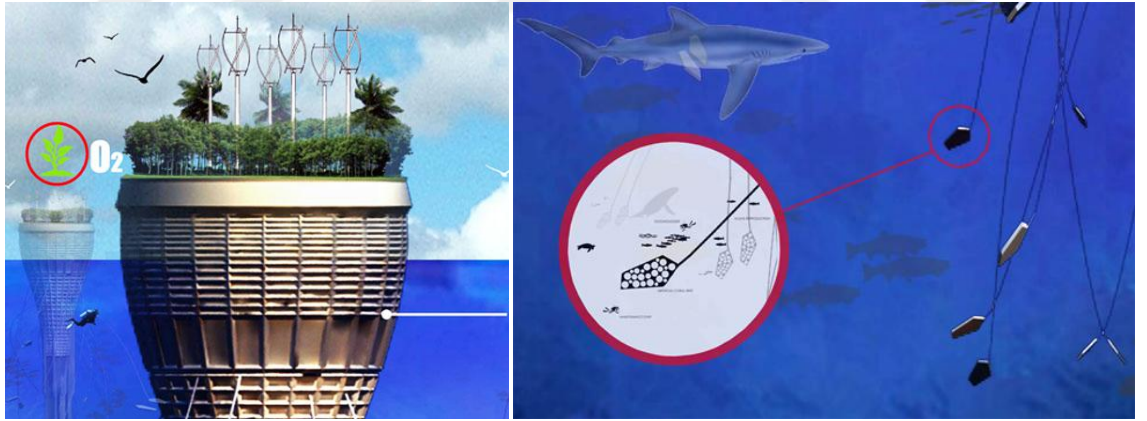
Proje Kurgusu: Sarkum, sürekli tüketen modern gökdelenlere bir tepki olarak güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve dalga gücü kullanılarak kendi elektriğini kendi üretebilecek, yüzeyinde ise küçük bir orman ve yiyeceklerin yetiştirilebileceği bir çiftlik bulunduran kendi kendine yeten konseptte su altı gökdeleni tasarlamayı amaçlamıştır. Gökdelen, kent dokusundan ayrı kolektif bir biçimde yüzen bir şehir olarak işlev görecektir özerk, yaşanabilir, işlevsel ve kendi kendine yeten bir alan birimidir. Dalga, rüzgar, akım, güneş yoluyla kendi gücünü ürettiği için kendi kendine yeterlidir ve tarım, su ürünleri, su bitkileri ile kendi besinini üretmektedir. Su üstü bölümünde küçük bir ormanlık alan tasarlanmıştır. Biyoluminesan dokunaçları, deniz faunasına kinetik hareketleriyle enerji toplarken yaşayacakları ve toplanacakları bir yer sağlar. Bu projede sürdürülebilirlik stratejileri ile çevreye olumsuz etkileri olmayan bir habitat yaratılması amaçlanmaktadır [148].

Tasarımın ana bileşenleri, enerji kaynağı üretimi (güç, yiyecek, hava vb.), yaşam, iş, oyun, atık arıtma ve bakımdan oluşmaktadır. Çatı bahçesi adasına rüzgar jeneratörleri ve hayvancılık bileşenleri yerleştirilerek, yaşam alanları doğal ışığın bulunduğu deniz seviyesinin hemen altına konumlandırılmıştır. Binanın kendisi balast sistemi ve dengeleme tankları kullanılarak dik tutulmaktadır. Dokunaçlar aynı zamanda, güçlerini oluştururken gelgit ritmiyle sürekli hareket ettiklerinden, dengeleme öğeleri olarak da işlev görmektedirler [148].

Doğayı tüketmeyen bir şehir olarak yeni bir metapolis yaratmak amacıyla tasarlanan H₂O Scraper projesi, su şehirleri oluşumunu desteklemektedir [148].



Şekil 5.90 H₂O Scraper, kentsel ölçekte yerleşim modeli [148]



Şekil 5.91 H₂O Scraper, ekolojik tasarım [148]

Proje Adı: Bloom Aquatic

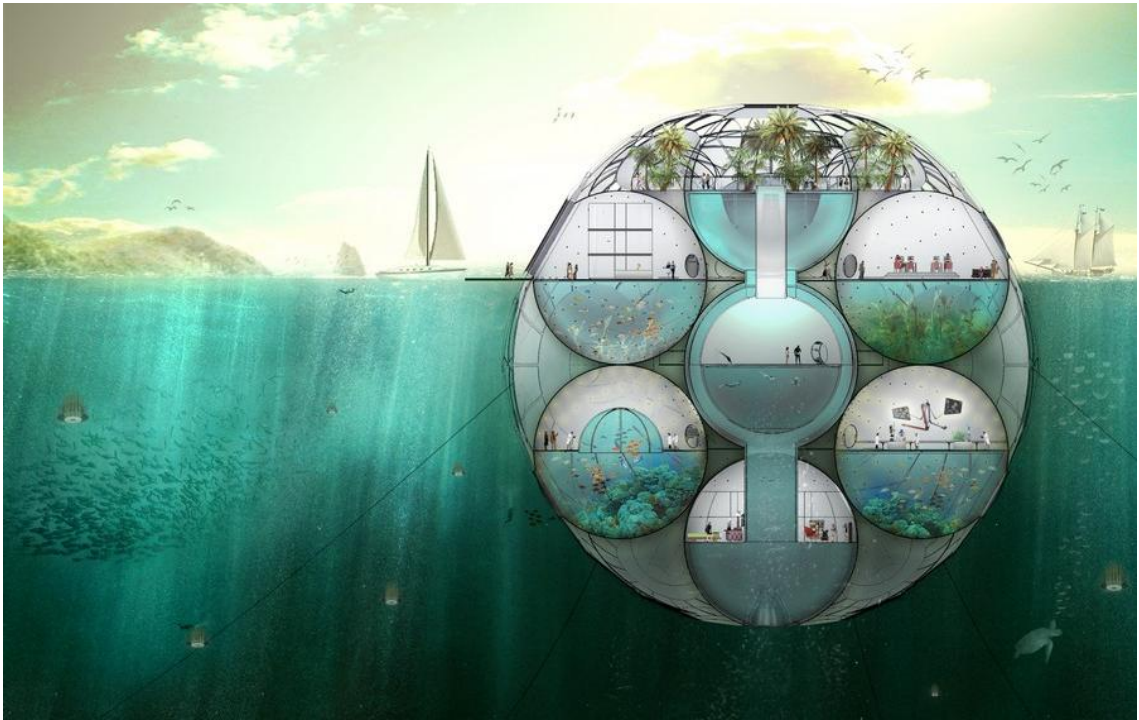
Tasarımcı: Fransa, Sitbon Architectes

Yıl :2012

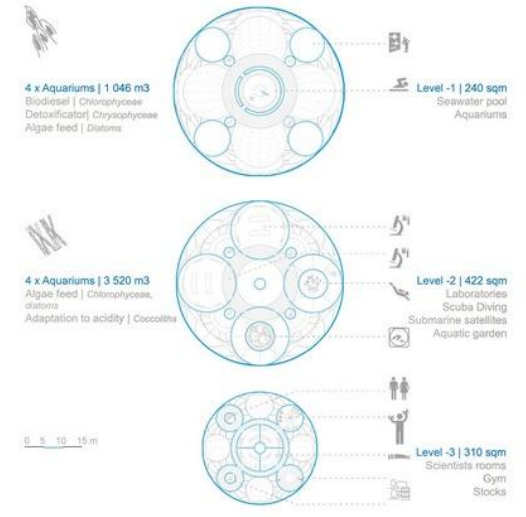
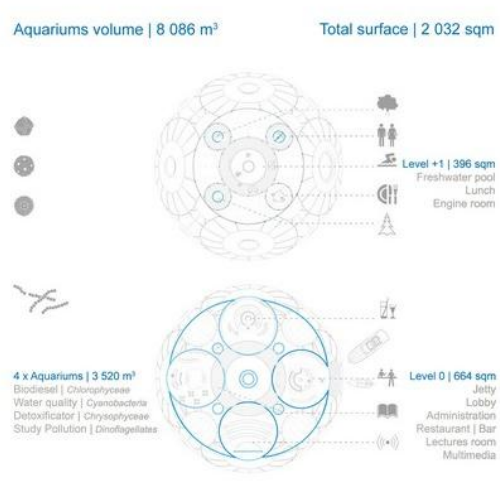
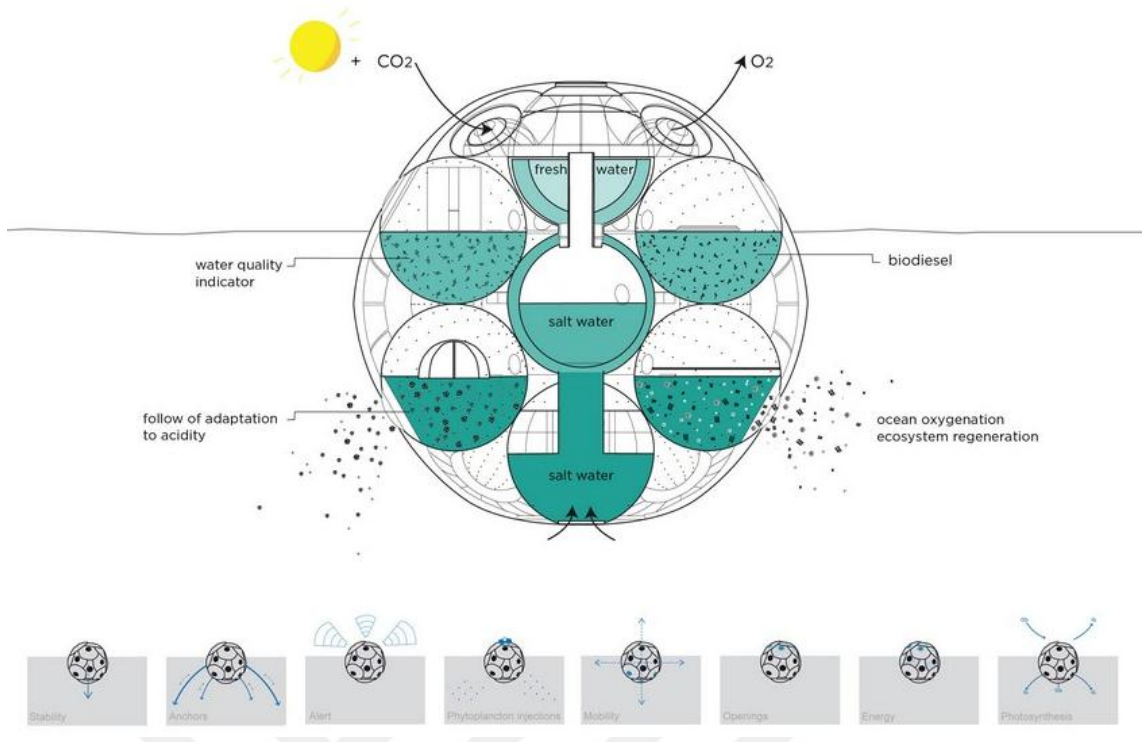
Proje alanı: Hint Okyanusu

Ölçek: S - Bina

Proje Kurgusu: Fitoplankton kültürü için tasarlanmış su çiftliği konsept tasarım projesidir. 45 metre yüksekliğinde 5 kattan oluşan yapı, alüminyum ve metakrilat malzemeleri kullanılarak tasarlanmıştır. Projenin kavramı, ortamdaki CO² fazlalığına karşı O² yaratan fitoplankton kültürünü uygulamaktır. Fitoplanktonlarla fotosentez yaparak oksijen üretimi gerçekleştirmeyi hedefleyen tasarım grubu, yeryüzündeki karbon salınımını azaltarak sürdürülebilir bir çevre yaratmak istemiştir. Proje, bilim adamlarının daimi personeli ve fitoplanktonlar için bir yaşam ortamı sunmaktadır. CO² üreten her fabrikanın, çevreye olan ilgisinin kanıtı olarak kendi Bloom'una sahip olmaları gerektiğini savunmaktadırlar. Bu şekilde insanların ekolojik denge üzerindeki etkisine dikkat çekerek CO² üretimi ile ilgili farkındalık yaratması amaçlanmıştır [149].



Şekil 5.92 Bloom Aquatic, kesit [149]



Şekil 5.93 Bloom Aquatic, kesit çalışması, plan şemaları ve 3D görseller [149]

Proje Adı: Yüzen Adalar, Arctic Kültür Merkezi

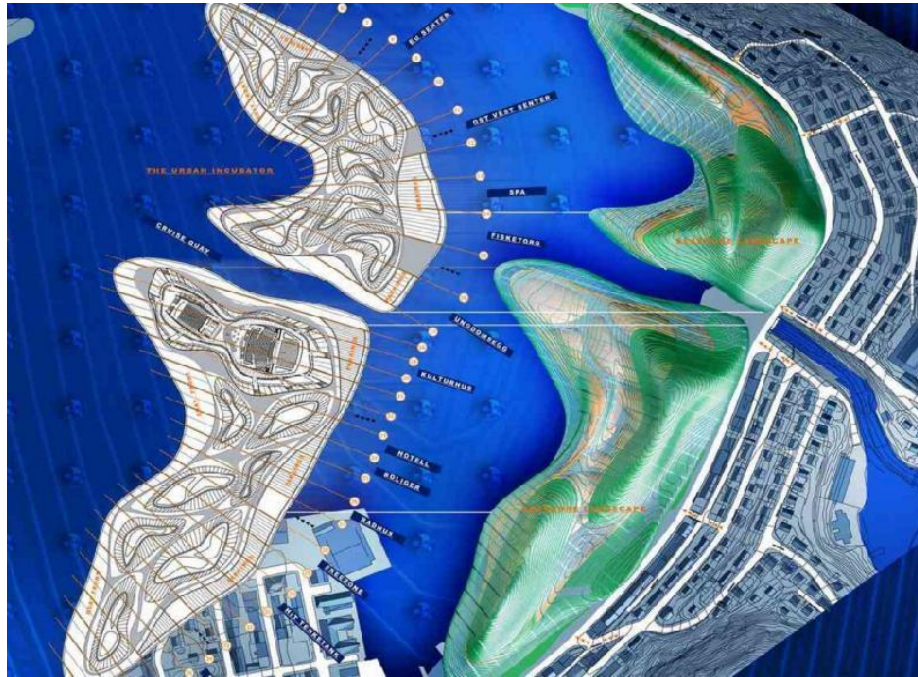
Tasarımcı: Belçika, Vincent Callebaut

Proje alanı: Norveç

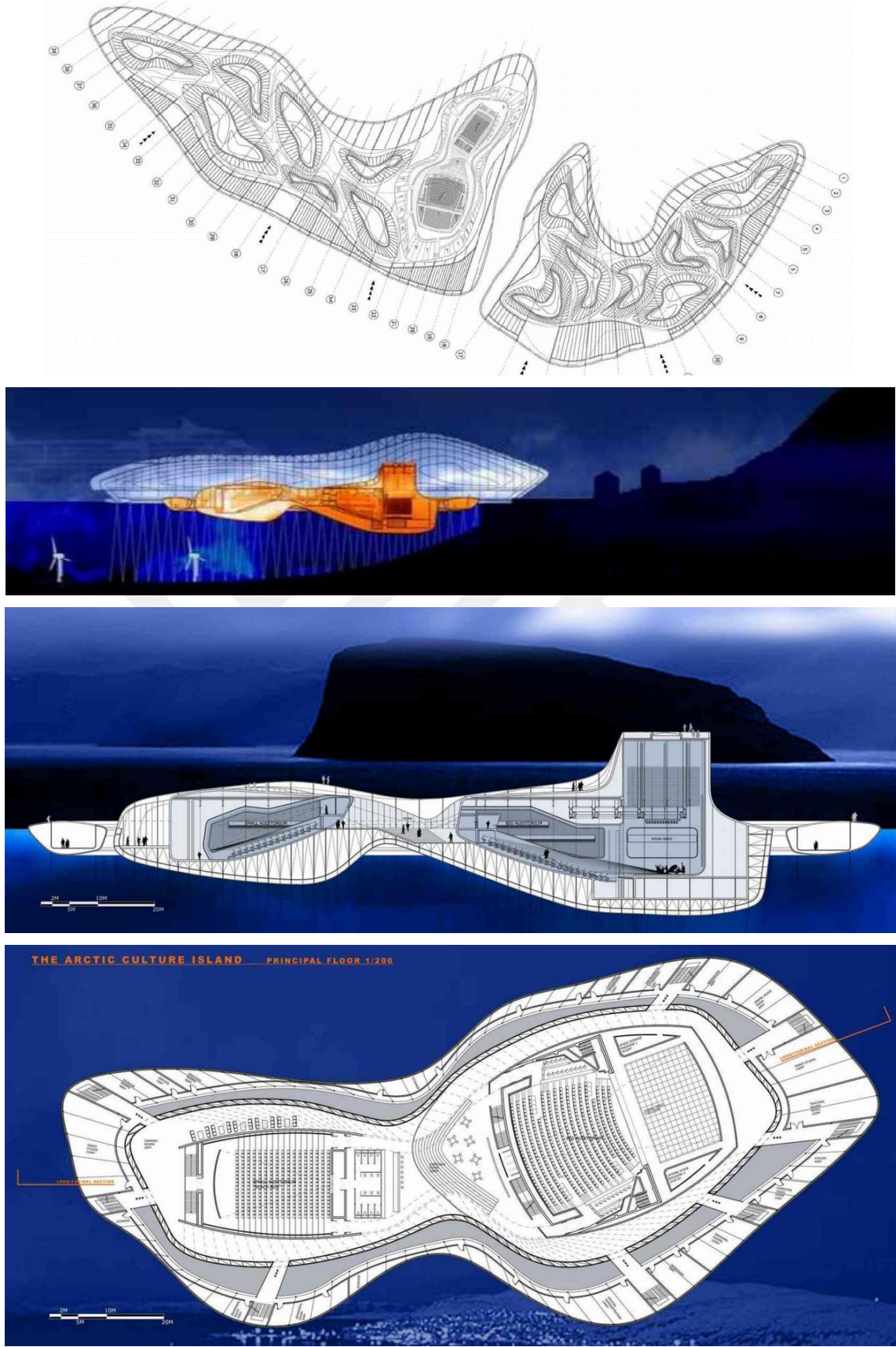
Yıl: 2004

Ölçek: XL - Kentsel

Proje Kurgusu: Proje Findus bölgesinin değişim sürecinin bir parçası olarak tasarlanmıştır. Croisette tarafından kapatılarak oluşturulan yapay bir fiyortta yüzen deniz şeridinin bir uzantısı olmuştur. Amaç, "programatik bir coğrafya" inşa ederek bölgenin yeni görüntüsünü geliştirmektir. Şehir ve deniz arasında dinamik bir bağlantı kurmak için, Arctic Kültür Merkezi dahil 16 yüzen ada üzerinde otel, parklar, ticari bölgeler ve eğlence alanları tasarlanmıştır. Adalar, gemilerin gövdeleri gibi inşa edilmiş yüzen yapılardır. Deniz yüzeyine konan büyük su damlalarının metaforu, yeni bir kıyı planlaması oluşumuyla bölgeye hareketlilik getirmektedir. Kültür merkezinde bulunan iki geniş oditoryum ve etrafında eş merkezli olarak planlanan kültür okulu, bölgesel müzik grubu ve bölgesel dans okulu gibi ek kullanımlarla birçok fonksiyonu içinde barındıran maksimum işlevsellik planlanmıştır [150].



Şekil 5.94 Yüzen Adalar, vaziyet planı [150]



Şekil 5.95 Arctic Kültür Merkezi, vaziyet planı, kesitler ve kat planı [150]

Proje Adı: H₂OME

Tasarımcı: U.S. Submarine Structures LLC.

Proje alanı: Deniz, Okyanus

Yıl: 2009

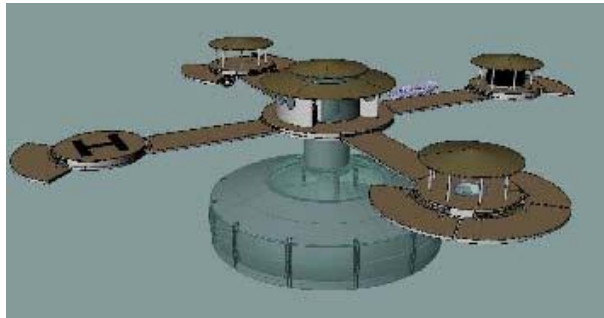
Ölçek: S - Bina

Su altı bölümü kat planına göre tamamı panoramik su altı manzarasına hakim şekilde tasarlanmış olan salon, yemek odası, kütüphane, bar, ofis ve büyük yatak odası bulunmaktadır. Alt katın tasarımına uygun olarak üst kat planı da, su altı manzarasına hakim tavan bölümünden ve özel banyolu açık salona açılan iki yatak odası tasarımından oluşmaktadır. Yapının merkezinde bulunan döner merdiven ve asansör ile katlar arasındaki erişim sağlanmaktadır [118].

Su altı konutu kıyı ile bağlantı gerektirmeyen, kendi enerjisini ve suyunu üretebilen, tamamen özerk bir yapıdır. Erişim bot, denizaltı ya da helikopter ile sağlanmaktadır. Tüm yapı yüzey basıncında tasarlandığı için kullanıcılar dekompresyon tehdiyle karşılaşmamaktadırlar [151].



Şekil 5.96 H₂OME, iç mekan görselleri [151]



Şekil 5.97 H₂OME, su üstü ve su altı bölümü görseli [151]



Şekil 5.98 H₂OME, su altı bölümü kat planları [151]

Proje Adı: Water Discuss (WD)

Tasarımcı: Deep Ocean Technology (DOT) Polonya

Proje alanı: Dubai

Ölçek: S - Bina

Water Discus otelinin uyarlanabilirliği ve erişilebilirliği: WD modüler olarak tasarlanmış bir yapıdır ve bu özelliğiyle herhangi bir yerde inşa edilebilme özelliğini taşımaktadır. Projenin kapasitesinde, sudaki mercan resif derinliği, kıyı şeridi şekli ve kullanıcı gereksinimlerine göre değişiklikler yapılabilmektedir. Water Discuss kompleksi, helikopter, gemi ve deniz uçağı kullanılarak nakliye ve lojistik hizmetlerine izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Kompleksin üst katları helikopterlerle ulaşımı desteklemektedir [152].

Su üstü bölümündeki diskler yaklaşık 1.500 m² kullanım alanına sahiptir. Ana üst diskin merkezinde çok işlevli bir lobi, restoran, bahçe, spa, dinlenme alanının yanında, büyük bir üst teras yüzme havuzu, dört metre derinliğinde bir eğitim havuzu ve cam tünelle erişimin sağlandığı bir yüzme havuzu bulunmaktadır. Su altı diski, her birinde iki kişi barındırabilecek 21 odadan oluşan yapıyla 1.000 m² alanı kapsamaktadır. Su yüzeyinin 10 m altına konumlanan yatak odalarında farklı şeffaflık seviyelerine sahip perdelerle gizlilik sağlanmaktadır. WD projesi esnek yapıyla her biri 1.000 m² ile 1.500 m² arasında olan farklı büyüklüklerdeki birkaç ayrı disk modülünün entegre edilmesiyle 2000 m² den büyük olabilecek bir otel kompleksine dönüşebilmektedir [152].

Güvenlik: Water Discus oteli, en yüksek güvenlik standartlarını karşılamak üzere tasarlanmıştır. Su üstü diski, tsunamilere ve taşmalara dayanacak şekilde su yüzeyinin üzerinde yükebilirken, su altı diskleri de tehlike anında yüzey üzerinde otomatik olarak yükselmektedirler. Üst diskin ana gövdesinden ayrıldıklarında, can kurtarma gemileri gibi davranabilme özelliği de bulunmaktadır [152].

WD projesinin gelişim sürecindeki önemli araştırma konuları şunlardır [153]:

- Ziyaretçilerin, çalışma ekibinin ve personelin zihinsel rahatlığı için araştırma gerektiren psikolojik konular.

- Enerji toplama, dönüştürme ve depolama için sistemin optimizasyonu.
- Güvenliği en üst düzeye çıkarmak ve uzun vadeli işletme maliyetlerini azaltmak için su altı pencerelerinde kullanılması gereken malzeme ve yapı formu seçimi.

WD kıyı bölgesindeki sığ su alanları için tasarlanmış yeni tip su altı konaklama birimidir. Su altındaki konaklama bölümü (Su Diski), su seviyesinin üzerinde bulunan bölüm (Hava Diski) ile sürekli bir bağlantıya sahiptir. Bu şekilde, sürekli atmosferik havalandırma ve birkaç bağımsız kaçış yolu sağlamaktadır. WD kavramının arkasındaki ana fikir, kullanıcıların sınırsız bir süre su altında kalmasını ve panoramik pencerelerden çevresindeki deniz yaşamı manzarasının keyfini çıkarmasını sağlayacak bir ortam yaratmaktır. Ayrıca, WD çeşitli su altı araştırma faaliyetleri için olanaklar sunmayı amaçlamaktadır [153].

WD kompleksi üç temel bileşenden oluşmaktadır [153]:

1. Su Diski adı verilen, su altı konaklama yeri içeren hareketli bir birim,
2. Hava Diski adı verilen, su üstünde bulunan sabit bir birim,
3. Temel yapısına sabitlenmiş birkaç ayaktan oluşan hava diskinin destek yapısı.

Su Diski: WD konseptinin temel su altı elemanıdır. Su Diski, merkezi bir dikey iletişim şaftı ve bir balast tankından oluşmaktadır. Su balastı, Su Diskinin yüzdürme kabiliyetini aşması için gerektiği kadar ağırlık eklemek amacıyla kullanılarak deniz dibine batmasını sağlamaktadır. Su Diski, balast tankındaki su miktarına bağlı olarak yüzeyde kalabilir veya suya batırılabilir. Gerektiğinde, su balastının serbest bırakılması, Su Diskini pozitif yüzer hale getirerek otomatik olarak yüzeye yükselmesini sağlar. WD konseptinde ele alınan bir diğer yenilikçi ve ilginç konsept ise, su altı diskini 360° dönebilmesidir. Dönme kabiliyeti, su diskinde kalanlar tarafından hissedilmeyecek seviyede olup, konaklama birimlerinin her kullanıcıya, su altının değişen manzaralarını sunmak amacıyla planlanmıştır [153].

Temel konfigürasyonda, iki katlı olan Su Diski yaklaşık 30 m dış çapa sahiptir. Ele alınan örnekte, su altı otel odaları, günlük ziyaretçi alanı, lobi, barlar ve sergisi

alanı yer almaktadır. Su Diski yapısının merkezinde, iletişim kulesinin silindirik bir kabuğu vardır. Deniz tabanının 3 m altında (keson yapısının içinde) başlar ve deniz tabanının 30 m üzerinde ve yani yaklaşık olarak su yüzeyinin 20 m üzerinde kadar uzanır [153].

İletişim kulesinin yapısı mekanik bağlantı ve Su Diski ile balast tankının dikey olarak ayrılmasını sağlamaktadır. Kule yapısı, iki personel asansörü ve iki ayrı spiral merdivenle, Hava Diski ile Su Diski arasında insanların geçişi için alan sağlarken aynı zamanda mekanik ve elektrik ile ilgili teknik gereksinimler için gerekli olan kanalların geçişine de olanak sağlamaktadır [154].

Hava disk: Hava diskinin temel işlevi su diskinin çalışmasını desteklemektir. Hava Diski ayaklar üzerinde asılı durmakta ve seçili bir konumda su diskinin dengelenmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda su diski için gereken personel odaları ve teknik hacimlerin çoğunu barındırmaktadır. Hava diskine bağlı çeşitli tesisleri (bar, restoran, spa) barındırabilen daha küçük disklerin uygulanmasıyla temel yapıya ilave hacimler eklenebilir [153].

Projenin teknik formu, çevresel limitlere göre güvenli ve ekonomik bir şekilde tasarlanıp işletilmesi ile tanımlanmaktadır. Denizin altında yaşayıp çalışmayı göz önünde bulundurarak, bu tür faaliyetleri uygun maliyetle, insanlar üzerinde tehdit ve rahatsızlığa sebep olmadan uygulanabilir kılan makul çevresel koşullar yelpazesi bulmak önemlidir.

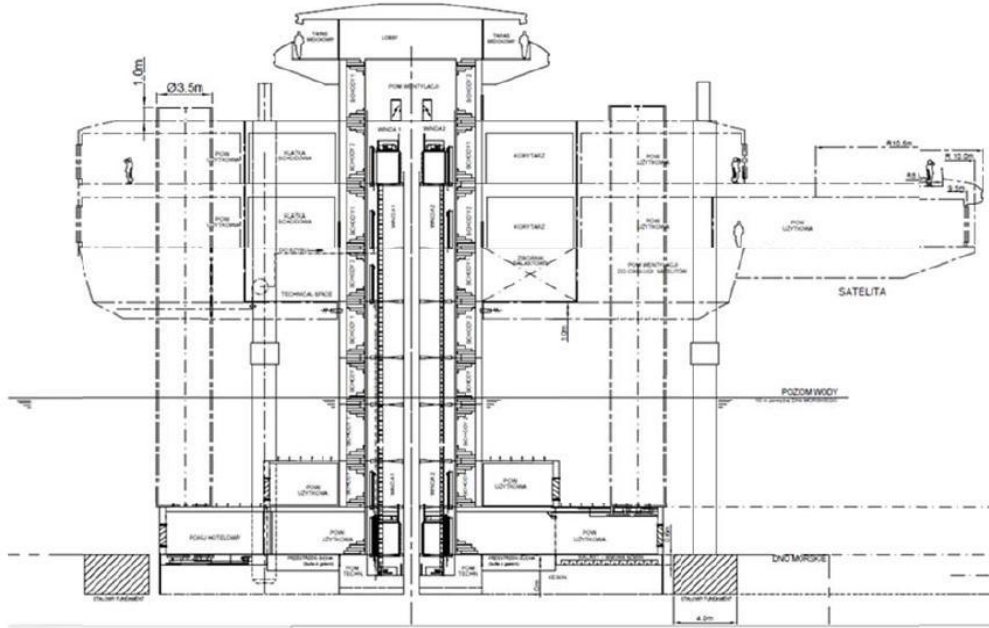
WD projesi için tanımlanmış olan çevresel parametrelerin aralıkları aşağıdaki gibi sınırlandırılmıştır [153]:

“Su derinliği aralığı 8 - 30 m , Su sıcaklığı aralığı 0 - 36 C°, Hava sıcaklığı aralığı -20 ile 40 C° arası, Maksimum deniz akımı hızı 1 m/sn, Maksimum dalga yüksekliği (yüz yıllık dalga) 6 m, Maksimum gelgit genliği 2 m, Maksimum rüzgar hızı 250 km/sa”

Yukarıda listelenen parametreler, minimum uygulanabilir boyutları tanımlamaktadır. Teknolojiyi bu sınırlar dışında da kullanmak mümkündür, ancak maliyet ticari olarak kabul edilebilir seviyenin üzerine yükseleceğinden, belirlenen sınırlar göz ardı edilmemelidir.



Şekil 5.99 WD, cephe ve iç mekan görselleri [154]



Şekil 5.100 WD, kesit çalışması [153]

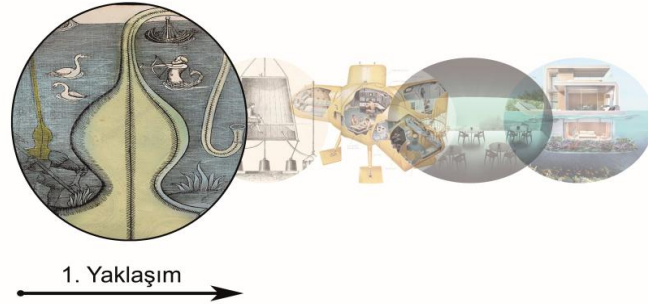


Şekil 5.101 WD, 3D görseller [154]

İnsanoğlu tarafından su altı dñnyası keşfinin tam olarak ne zaman başladığı bilinmemektedir. Ancak ilkel insanın bile bedensel özelliklerinin ona sağladığı esnekliği kullanarak, çok sınırlı da olsa deneyimlerde bulunduğunu varsayabiliriz. Nefes tutma ile başlayan insanın su altındaki macerası, teknolojinin gelişmesiyle birlikte günümüzde su altı villalarında kalıcı yaşam alanlarına kadar evrilmiştir. Araştırmalar sonucunda bu gelişim sürecinin beş aşamada özetlenebileceği görölmüştür.

1. Aşama - İç Gñdñsel Yaklaşım

Tarih öncesi dönemde su altındaki inci ve sünger arayışlarında karşılaşılan ilk fizyolojik problem olan “nefes almak”, yüzey destekli ekipmanların keşfi ile su altı teknolojisinin başlangıcı olmuştur. Dalgıçlar suyla tamamen temas halindedirler. Daha sonra ekipmanın vücuda eklenmesi ile (dalış kaskı) su altında geçirilen zaman artmış ve mobilitede daha özgür bir alan yaratılmıştır.

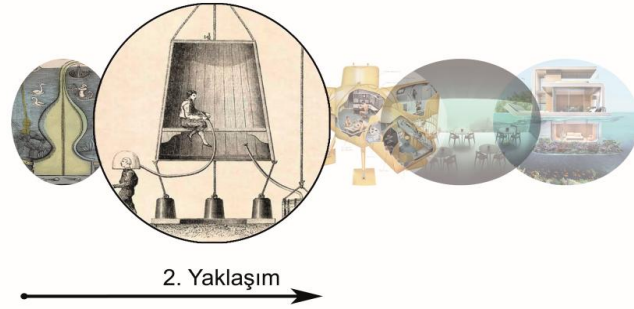


Şekil 6.1 Su altı kullanımının gelişim süreci yaklaşımları - İç gñdñsel yaklaşım
(Kurgu: G. Gñndođan, 2019)

2. Aşama - Teknik Yaklaşım

Dalış çanlarının icat edildiği dönemdir. M.Ö. 332 yılında yazılı kaynaklarla var olduğu bilinen ilk dalış çanları kullanımı, 17. yüzyıla kadar çeşitli şekillerde geliştirilmiş örneklerle karşımıza çıkmaktadır. Dalgıç, tamamen veya kısmen,

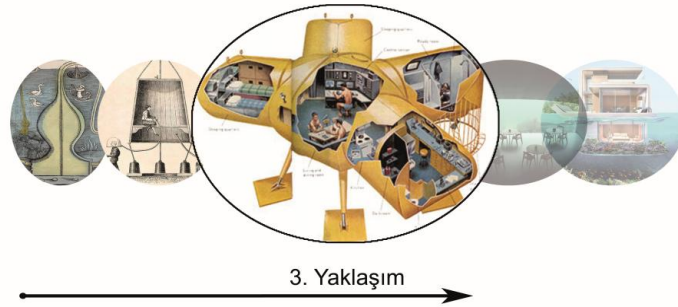
serbest hareket için kapasitesini sınırlayan, ancak suya batırıldığında iş yapma yeteneğini ve su altında kalma süresini arttıran bir yapı içinde bulunmaktadır.



Şekil 6.2 Su altı kullanımının gelişim süreci yaklaşımları - Teknik yaklaşım
(Kurgu: G. Gündoğan, 2019)

3. Aşama - Askeri ve Bilimsel Yaklaşımlar

20. yüzyılda su altı dünyasıyla ilgili bilimsel çalışmaların yaygınlaştığı, askeri denizaltıların ve araştırma laboratuvarlarının icat edildiği dönemdir. Özellikle II. Dünya Savaşı döneminde artan askeri faydaların belirginleşmesiyle savunma/saldırı amaçlı kullanılmak üzere sayısız denizaltı aracı üretilmiştir. Bu dönemde su altında günlerce yaşayabilmeyi mümkün olduğu ispatlanmıştır.

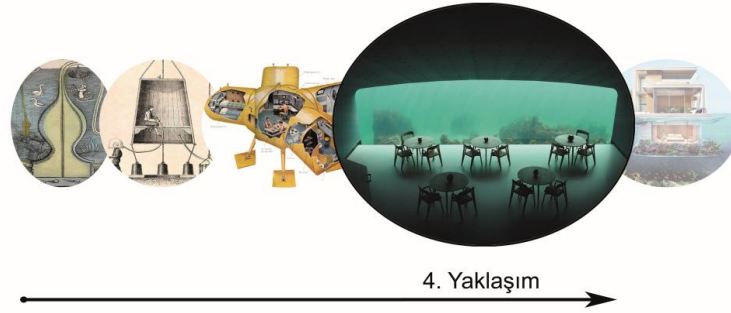


Şekil 6.3 Su altı kullanımının gelişim süreci yaklaşımları - Askeri ve bilimsel yaklaşımlar (Kurgu: G. Gündoğan, 2019)

4. Aşama - Turizmde Rekabetçi Yaklaşım

1986 yılında eski bir araştırma laboratuvarının su altı oteline dönüştürülerek turizm sektöründe kullanılmaya başlanması yeni bir girişimin başlangıcı olmuştur. Daha sonra bu durumu, gerçekleştirilen modern su altı otel projeleri ve su altı restoranları takip etmiştir. İnsanların su altı mekanlarına gösterdikleri ilgi

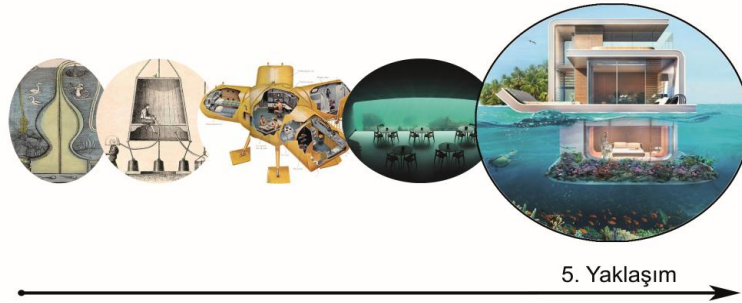
karşısında turizm sektörü kayıtsız kalmamıştır ve bu alandaki gelişmeler yaratıcı mekan örnekleriyle halen devam etmektedir.



Şekil 6.4 Su altı kullanımının gelişim süreci yaklaşımaları - Turizmde rekabetçi yaklaşım (Kurgu: G. Gündoğan, 2019)

5.Aşama - Yaşam Biçimi Yaklaşımı

21. yüzyılda başlayan, diğer yaklaşımlara köken olarak bağlı olmasına rağmen sosyolojik açıdan farklı bir bakış açısıyla yoğunlaşmış su altı yaşam alanlarında sürekli yaşam biçiminin söz konusu olduğu yaklaşımdır. Bu yaklaşım günümüzde her kesimden insanın ilgisini çekmektedir. Ancak, yüksek maliyetlerle üretilen su altı villaları şimdilik sadece üst gelir grubuna hitap etmektedir.



Şekil 6.5 Su altı kullanımının gelişim süreci yaklaşımaları - Yaşam biçimi yaklaşımı (Kurgu: G. Gündoğan, 2019)

Teknolojideki gelişmelerin ilerlemesiyle birlikte hiç şüphesiz konut yaklaşımını takip eden tasarımlar, su altı yerleşim projeleri olacaktır. Bu yerleşim projeleri su altı teknolojisini kullanma sürecinde enerjisini sudan üretebilen, tarımını sudan sağlayabilen, atık maddelerini geri dönüştürebilen ekolojik farkındalıkla tasarlanmış su altı yerleşim birimleridir. Hayata geçirilmiş konut örnekleriyle

birlikte, günümüzde planlanmış olan su altı yerleşim birimlerinin gelecekte gerçekleştirilmesi, altıncı aşama olarak karşımıza çıkacaktır.

Günümüze kadar gerçekleştirilmiş örnekler incelendiğinde, çoğu zaman su altı birimlerinin su üstü birimleriyle doğrudan ya da dolaylı şekilde bağlantılı olduğunu görmekteyiz. Bu durum elbette avantajlı bir yaklaşımdır. Ancak, bilindiği gibi açık sulara sıklıkla karşılaşılabilen kötü hava şartlarıyla oluşan doğa olayları da dikkate alınmalıdır. Su altı yaşam birimlerine ait konsept proje örnekleri incelendiğinde, değişen doğa olaylarına karşı bir çözüm önerisi olarak hareketli kütlelerin tasarlandığı görülmüştür. Kopan fırtınalar gibi kötü hava şartlarında, su altına batırılarak sığınmayı sağlayabilen ya da su altındayken güvenliği riske atan bir tehdit karşısında su üstüne çıkarılarak güvenli alana geçiş yapabilen hareketli kütleler tasarlanmıştır. Ayrıca hareketli kütleler, istenilen su seviyesine entegre olabilme esnekliğiyle, yapı biriminin mobilitesine göre konumlandırılacak herhangi bir su altı bölgesinin derinliğini önemsiz kılmaktadır.

Su altında yapı tasarlama isteğini arttıran birçok sebep vardır. Merak duygusu, askeri çalışmalar, bilimsel yaklaşımlar, deniz tarımları, eğlence, spor, turizm ve son yıllarda oluşan kalıcı yaşam birimleri anlayışıyla statü belirleme durumundan bir ya da daha fazlası tercih edilebilmektedir. Su altı yapılaşmasıyla deniz canlılarını doğal ortamından uzaklaştırmadan, bu canlıların avlanma ve barınma koşullarına tanıklık edebilmek mümkündür. Ayrıca, farklı deneyimler sunan mekanların her zaman insanların ilgisini çekmiş olması durumu turizm sektörüne katkı sağlamaktadır. Su altı otel ve restoran tasarımları bölge/ülke turizmini canlandırarak ekonomiyi güçlendiren bir etkidir. Bu açıdan bakıldığında, su altı otelleri ve restoranları dünya çapında uyandırdığı merak duygusuyla turizm sektöründe önemli bir rol oynamaktadır.

Her ortamın kendi kuralları ve karakteristik yapısı vardır. Özellikle, su altında form ve geometriyi belirleyen ana kriter su basıncıdır ve bu arazide ya da boşlukta yapı tasarlama kriterlerinden tamamen farklıdır. Bu tez, deniz ve okyanusla ilgili turistik/sanatsal faaliyetler ve bilimsel araştırmaları destekleyip, mimarlık alanında su altında yapı yapabilmek için gerçekleştirilen araştırma faaliyetlerinin

geliştirilmesi ve bunun bilinen mimarlık meslek alanına entegrasyonuna dikkat çekmektedir.

Su altında yapı tasarımının sadece bir mühendislik etkinliği olarak düşünülmemesi gerektiği savunularak, mimarların ve eğitimcilerin yapması gerekenler üzerine bir farkındalık oluşturulmaya çalışılmıştır. Su altı yapılarına karşı artan farkındalıkla birlikte, mimarların bilinci ve rolü de artarak bu konu mimarlık okulları müfredatında yer alabilecek bir olguya dönüşecektir. İşin temelinden alınan eğitim ile gelişen teknoloji sayesinde tekil su altı yapılarının bütüncül yerleşim birimlerine kadar evrilmesi yolunda öncü adımlar atılması öngörülmektedir.



- [1] Smith, Y., NASA, The Blue Marble, (2017). <https://www.nasa.gov/image-feature/apollo-17-blue-marble>, 3 Ocak 2019.
- [2] NASA, NASA's Earth Observatory, (2002). https://www.nasa.gov/images/content/704690main_20121105_Rosa-GOES_full.jpg, 3 Ocak 2019.
- [3] Schwenk, T., (1976). Sensitive Chaos, Schocken Books, New York.
- [4] Guillermo, R., (1982). Underwater Dwelling and Sea Born Structures As Paradigms of Design, Master of Science in Architecture Studies, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA.
- [5] Project AWARE Foundation, (2009). "Aware Our World Our Water", California.
- [6] Koyuncu, D., (2007). Inquiry into the Underwater Structures: Architectural Approaches to Design Consideration, Master of Science, ODTÜ, Ankara.
- [7] Moore, C., W. ve Lidz, J., (1994). Water and Architecture, Harry N. Abrams, Inc., New York.
- [8] Wilford, J., N., NY Times, Geologists Link Black Sea Deluge To Farming's Rise, (1996). <https://www.nytimes.com/1996/12/17/science/geologists-link-black-sea-deluge-to-farming-s-rise.html>, 3 Ocak 2019.
- [9] Sloss, P., W., Sites, Black Sea map showing various study areas and submerged shoreline, National Geophysics Data Center, <https://sites.google.com/site/geomorphologyofdamsgeog323/home/social-political-economic/noah-the-black-sea-flood?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>, 3 Ocak 2019.
- [10] Öztürk, Ö., "Nuh Tufanı Karadeniz'de mi oldu?", (2017). <https://ozhanozturk.com/2017/08/31/nuh-tufani-karadeniz-tufani/>, 5 Ocak 2019.
- [11] Yalçın, A., C. ve Ersoy, Ş., (2005). "Depreşim Dalgası (Tsunami) Tanım ve Korunma Yöntemleri", Türkiye Mühendislik Haberleri, no. 438, İstanbul.
- [12] Gedik, N., İrt, E. ve Kabdaşlı, M. S., (2005). "Tsunaminin geçirimli kıyılardaki tırmanma yüksekliğinin deneysel," İTÜ Dergisi, Cilt 4, Sayı 1, İstanbul.
- [13] Tartar, A., Işık, B. ve Ünsan, Y., (2017). "Yüzen Mimari Tasarım Süreç Modellemesinde Kural Tabanlı Karar Verme Destek Modeli-pg3," GİDB, Sayı 8, İstanbul.
- [14] Clad Global, Architecture and Design News, (2017) <http://www.cladglobal.com/architecture-design-features?codeid=32493&source=home&p=4>, 5 Mart 2019.

- [15] Nelson, A., (2005). "Stockholm, Sweden", City of Water, Stockholm.
- [16] Koekoek, M., (2010). Connecting Modular Floating Structures, Delft University of Technology, Delft.
- [17] Burchard, C. ve Flesche, F., (2005). Water House, Prestel Verlag, Munich.
- [18] Davis, M., (2006). Planet of Slums, Verso Books, London.
- [19] Siem Reap, Floating Villages, (2017). <https://www.siemreap.net/visit/attractions/sightseeing/floating-villages/>, 12 Şubat 2019.
- [20] Wikipedia, Titikaka Gölü, (2006). https://tr.wikipedia.org/wiki/Titikaka_G%C3%B6lü, 12 Şubat 2019.
- [21] University of Kentucky, Floating Islands of Uros, <https://www.uky.edu/Ag/Horticulture/Geneve/HortClub/FloatingIslands.pdf>, 13 Şubat 2019.
- [22] Lundberg, S., (2017). "Living On The Edge", Degree Project in Architecture, LTH, İsveç.
- [23] Blecher, M., M., (2016). "Waterworlds: A survey of floating communities around the world," Journal Series, Avustralya.
- [24] Gaiga Dergi, Kamıştan Cennet: Irak'ın Yüzen Evleri, (2017). <https://gaiadergi.com/kamistan-cennet-irakin-yuzen-evleri/>, 10 Ocak 2019.
- [25] YouTube, Lagos Nigeria - 4K drone video, (2019). <https://www.youtube.com/watch?v=7cn1KXRTXdY>, 8 Ocak 2019.
- [26] Pambazuka News, Why don't the poor rise up? A book review, (2017). <https://www.pambazuka.org/democracy-governance/why-dont-poor-rise-book-review>, 1 Şubat 2019.
- [27] Nigeria Real Estate Hub, The Formation of Slums in a Rapidly Urbanizing World, (2017). <https://nigeriarealestatehub.com/slum-formation-rapidly-urbanizing-world.html/>, 3 Şubat 2019.
- [28] Owen, G., (1991). "Advances and Challenges of Working in Inner Space", West European Graduate Education Marine Technology, Helsinki University of Technology, Espoo, 32-51.
- [29] British Library, Online Gallery Leonardo Da Vinci, (2005). <http://www.bl.uk/onlinegallery/features/leonardo/leonardo.html>, 13 Şubat 2019.
- [30] YouTube, Leonardo, el Inventor: Agua - Snorkel, <https://www.youtube.com/watch?v=YHlj-AFCI6o>, 14 Şubat 2019.
- [31] Science Photo Library, 1532 a medieval dive helmet aqualung, <https://www.sciencephoto.com/media/720139/view>, 14 Şubat 2019.

- [32] Hernandez, F., A., (2002). Underwater Farming Colonies: A New Space For Human Habitation, Master of Building Science, University Of Southern California.
- [33] Diving Almanac, Edmond Halley improves the diving bell, (2019). <https://divingalmanac.com/edmond-halley-improves-diving-bell/#!>, 22 Şubat 2019.
- [34] Diving Heritage, Augustus Siebe, (2013). <http://www.divingheritage.com/siebe.htm>, 22 Şubat 2019.
- [35] Patten, T., (1991). "The Exploitation Of Marine Resources", Wegemt School Of Underwater Technology, Scotland, 4-27.
- [36] Üçgül, İ. ve Elibüyük, U., (2016). "Okyanus Termal Enerji Dönüşüm (OTEC) Sistemi," Erzincan Üniversitesi Fen Bilim leri Enstitüsü Dergisi, Cilt 9, Sayı 1, 87-94.
- [37] Miller, J., M., ve Koblick, I., G., (1995). Living and Working in the Sea, Plymouth: Five Corners Publications Ltd., 2. Baskı, London.
- [38] History, 9 Groundbreaking Early Submarines, (2016). <https://www.history.com/news/9-groundbreaking-early-submarines>, 5 Ocak 2019.
- [39] Mercan, E., (2008). "Osmanlı Bahriyesi'nde İlk Denizaltılar: Abdülhamid ve Abdülmecid", Güvenlik Stratejileri, Sayı 15, 163-184.
- [40] Bilgin, S., YouTube, World's First Submarine "Tahtelbahir", (2018). <https://www.youtube.com/watch?v=xhTLgrLIISo>, 5 Mart 2019.
- [41] Red Search, Gemiler Ve Denizaltılar Nasıl Yüzer, <https://tr.redsearch.org/images/2094560>, 6 Mart 2019.
- [42] Armchair General, Royal Naval Submarine Museum, (2004). <http://armchairgeneral.com/royal-navy-submarine-museum.htm>, 7 Mart 2019.
- [43] Denizaltıcı, Denizaltı hakkında, <http://www.denizaltici.com/aboutus-submarine-sec1.htm>, 9 Mart 2019.
- [44] Wikipedia, Longitudinal and cross section of Argonaut (Submarine), [https://en.wikipedia.org/wiki/Argonaut_\(submarine\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Argonaut_(submarine)), 7 Mart 2019.
- [45] The San Diego Union Tribune, Trieste Laboratuvar, <https://www.sandiegouniontribune.com/sdut-trieste-took-two-men-worlds-deepest-site-2010jan16-htmlstory.html>, 8 Mart 2019.
- [46] Wikipediada, Bathyscaphe Trieste, (2002). https://en.wikipedia.org/wiki/Bathyscaphe_Trieste, 8 Mart 2019.
- [47] Wikipedia, Underwater Habitats, https://en.wikipedia.org/wiki/Underwater_habitat, 9 Mart 2019.
- [48] Messy Nussy Chic, Remains of an Underwater Habitats Left by 1960s Sea Dwellers, <https://www.messynussychic.com/2013/05/27/remains-of-an-underwater-habitat-left-by-1960s-sea-dwellers/>, 9 Mart 2019.

- [49] Boater Exam, The History of Deep-Sea Exploration, (2011). <https://www.boaterexam.com/blog/2011/06/history-of-deep-sea-exploration.aspx>, 20 Aralık 2018.
- [50] Imgrum Posts Viewer, Conshelf III, <https://www.imgrum.pw/media/1201167376198456831>, 5 Nisan 2019.
- [51] Wikipedia, Helgoland Habitat, https://en.wikipedia.org/wiki/Helgoland_Habitat, 4 Mart 2019.
- [52] Wikipedia, Joachim Wendler, https://en.wikipedia.org/wiki/Joachim_Wendler, 4 Mart 2019.
- [53] National Oceanic and Atmospheric Administration, (2017). The NOAA Diving Manual, "Underwater Support Systems", U.S. Department of Commerce, Virginia, 11/1-13.
- [54] Medium, Historical Underwater Habitat Showcase: Aegir, (2018). <https://medium.com/predict/historical-underwater-habitat-showcase-aegir-e50827c13de>, 5 Mart 2019.
- [55] Wikimedia, La Chalupa Research Laboratory, (2008). https://commons.wikimedia.org/wiki/File:La_Chalupa_research_laboratory.jpg, 6 Mart 2019.
- [56] Koblick, I., Jules' Undersea Lodge, Wellcome to Jules' Undersea Lodge <https://jul.com>, 3 Aralık 2018.
- [57] Marine Resources Development Foundation, Marine Lab Undersea, <https://www.mrdf.org/MUL.html>, 21 Ocak 2019.
- [58] Diving Almanac, Underwater Habitats in Service, (2018). <https://divingalmanac.com/underwater-habitats/>, 23 Ocak 2019.
- [59] Canadian Space Agency, Aquarius Underwater Laboratory, <http://www.asc-csa.gc.ca/eng/missions/neemo/aquarius.asp>, 12 Mart 2019.
- [60] Florida International University, Aquarius Undersea Laboratory, <https://aquarius.fiu.edu/dive-and-train/facilities-and-assets/aquarius-undersea-laboratory/index.html>, 15 Mart 2019.
- [61] NASA, About Aquarius, (2006). https://www.nasa.gov/mission_pages/NEEMO/facilities.html, 16 Mart 2019.
- [62] Wikipedia, Aquarius Reef Base, https://en.wikipedia.org/wiki/Aquarius_Reef_Base, 16 Mart 2019.
- [63] Bsac, Underwater Habitat, <http://www.bsac.sg/stamps/nc2001.html>, 17 Mart 2019.
- [64] Günerigök, A., İ., (2018). "Denizaltı Tıbbı ve Uygulamaları," 11. Ulusal Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2-10.
- [65] Diving Medical Officer Student Guidel, (1977). "Mechanical Effects of Hydrostatic Pressure", U.S. Government Printing Office, 1/1-29.

- [66] National Oceanic and Atmospheric Administration, (2017). The NOAA Diving Manual, "Physics of Diving", U.S. Department of Commerce, Virginia, 2/1-16.
- [67] Şevik, A., (2014). Profesyonel Sualtıadamı (Sanayi Dalgıcı) Olma Yöntemlerinden "Aday Dalgıcılık" Uygulamasının Eksikleri, Neden Olduğu Sektörel, Bireysel Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Denizcilik Uzmanlık Tezi, Deniz ve İçsular Düzenleme Genel Müdürlüğü Eğitim ve Belgelendirme Daire Başkanlığı, Ankara.
- [68] Turgay, O., (1991). "Su Altı Çalışmalarında Otorinolarenolojik Sorunlar", Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Uzmanlık Tezi, İstanbul.
- [69] National Oceanic and Atmospheric Administration, (2017). The NOAA Diving Manual, "Diving Physiology", U.S. Department of Commerce, Virginia, 3/1-35.
- [70] Diving Medical Officer Student Guidel, (1977). "Decompression Sickness", U.S. Government Printing Office, 3/72-111.
- [71] Diving Medical Officer Student Guidel, (1977). "Decompression Procedure", U.S. Government Printing Office, 4/126-226.
- [72] Ercan, E., (2018). "Havacılık ve Dekompresyon Hastalığı", 11. Ulusal Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp, İstanbul, İstanbul Üniversitesi, 12-19.
- [73] National Oceanic and Atmospheric Administration, (2017). The NOAA Diving Manual, "Mixed-Gas and Oxygen Diving", U.S. Department of Commerce, Virginia, 16/1-15.
- [74] Uzunoğlu, U., (2019). "Satürasyon Dalışının Uzun Dönem Fizyolojik Etkileri", <http://www.derin.boun.edu.tr/?p=1995>, 6 Mayıs 2019
- [75] Allwood, R., L., (1991). "Diving", Underwater Technology, Cranfield Institute of Technology, England.
- [76] Elbüken, M., E., 2000 "Deniz ve Sualtı Hekimliği," GATA H.paşa Eğt. Hastanesi brifing, İstanbul.
- [77] National Oceanic and Atmospheric Administration, (2017). The NOAA Diving Manual, "Diving From Seafloor Habitats", U.S. Department of Commerce, Virginia, 17/1-17.
- [78] Diving Medical Officer Student Guidel, (1977). "Underwater Diving Apparatus", U.S. Government Printing Office, 2/44-67.
- [79] Kaji-O'Grady, S. ve Raisbeck, P., (2005). "Prototype Cities In The Sea", The Journal of Architecture, Cilt 10, Sayı 4, 459-477.
- [80] Brophy, P., Wikipedia, Starfish: Caswell Bay, (2007). <https://tr.wikipedia.org/wiki/Denizyıldızı>, 3 Mayıs 2019.
- [81] Hobgood, N., Wikipedia, Denizkestanesi, (2010). <https://tr.wikipedia.org/wiki/Denizkestanesi>, 3 Mayıs 2019.
- [82] Heyde, M., Wikipedia, Deniz Kabuğu, (2008). <https://tr.wikipedia.org/wiki/Denizkabuğu>, 3 Mayıs 2019.

- [83] Orbital Vector, Underwater Habitats, (2010). <http://orbitalvector.com/Aquatic/Underwater%20Habitats/UNDERWATER%20HABITATS.htm>, 6 Ekim 2018.
- [84] Geelhoed, J., (2015). "Materials and Shape of Underwater Structures", Architectural Engineering, Delft University of Technology, Delft.
- [85] Nasıl Çalışır, Denizaltı çalışma sistemi, (2007). <http://nasilcalisir.blogspot.com/2007/09/denizalt.html>, 8 Mart 2019.
- [86] Michel, J., L., ve Nokin, M., (1991). "State of the Art on Autonomous Underwater Vehicles," Underwater Technology, Finland.
- [87] Shell Buckling, Typical pressure hull, <http://shellbuckling.com/index.php>, 9 Mayıs 2019.
- [88] Shell Buckling, Various wall concepts for the submarine pressure hull, https://shellbuckling.com/presentations/compoundStructures/pages/page_104.html, 10 Mayıs 2019.
- [89] Hacıfazlıoğlu, H., (2015). "Akışkanlar Mekaniği", İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fak. Maden Mühendisliği Böl., İstanbul.
- [90] Wikipedia, Gelgit, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Gelgit>, 15 Mayıs 2019.
- [91] Makaleler, Medcezir gelgit, <https://www.makaleler.com/medcezir-gelgit-nedir>, 15 Mayıs 2019.
- [92] Soysal, U., (2014). "Gelgit ve Gelgit Akıntılarında Yelken," 3 Yıldız Yelkenci Makalesi, Boğaziçi Üniversitesi Yelken Takımı, İstanbul.
- [93] National Imagery And Mapping Agency, (2015). "Tides and Tidal Currents," 9/129-150.
- [94] Billingham, J., (1991). "Materials In The Environment- Products and Range of Properties Available", Underwater Technology, Cranfield Institute of Technology, England.
- [95] Asan, A., (2018). "Korozyon nedir?", Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi/Kimya Mühendisliği ders bilgisi, Çorum.
- [96] Merus, Corosion Rate, <https://www.merusonline.com/mpy-mils-per-year/#>, 16 Mayıs 2019.
- [97] Kent Harita, Su Altı Betonu Nedir, (2018). <https://www.kentharita.com/su-alti-betonu-nedir/>, 16 Mayıs 2019.
- [98] Sarıbiyık, M., (2017). "Çimentolar", Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- [99] Akman, M., S., (1996). "Deniz Yapılarında Beton Üretim Teknikleri", Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 381.
- [100] Özturan, T., (2013). "Özel Betonlar", Hazır Beton Kongresi, İstanbul, 70-83.
- [101] Mustafa, A., (2016). "Underwater Facilities Building Technology", Architecture and Building Science, University of Nairobi, Nairobi.

- [102] Bijker, R., (1991). "Subsea Environment - Characteristics of the Seabed", Underwater Technology, Espoo.
- [103] Jensen, S., B., (1991). "Risk and Reliability Analysis Methods", Laboratory of Naval Architecture and Marine Engineering, Helsinki University of Technology, Espoo.
- [104] World Health Organization, Design of plumbing systems for multi-storey buildings, https://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/plumbing14.pdf, 71-84, 16 Mayıs 2019.
- [105] Shannon, H., C., Wikipedia, (2017), https://en.wikipedia.org/wiki/Jules%27_Undersea_Lodge, 12 Mart 2019.
- [106] Koblick, I., Jules' Undersea Lodge, <https://jul.com/dive-the-lodge/>, 30 Aralık 2018.
- [107] World Architecture, Red Sea Star, (2008), <https://worldarchitecture.org/architecture-projects/hgvv/red-sea-star-project-pages.html>, 25 Aralık 2018.
- [108] Kiriaty, J., Kiriaty Architects, Red Sea Star, (2013), http://www.kiriatyarchitects.com/Info.aspx?txtParam=CT_PROJECTS, 02 Ocak 2019.
- [109] Red Sea Star, Underwater Bar Structure, (2003), <https://www.redseastar.com/underwater-bar>, 02 Ocak 2019.
- [110] Wikimedia Commons, Red Sea Star Drawing, (2006), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Red_Sea_Star_Drawing.jpg, 14 Şubat 2019.
- [111] Sampson, A., Sweden, Utter Inn, (2015), <https://www.sweden.org.za/utter-inn.html>, 15 Ocak 2019.
- [112] Wikipedia, Utter Inn, (2005), https://en.wikipedia.org/wiki/Utter_Inn, 15 Ocak 2019.
- [113] RVCJ Digital Media, Underwater Hotel Utter Inn, (2015), <https://www.rvcj.com/10-underwater-hotels-will-crave-visit-least/underwater-hotel-utter-inn/>, 16 Ocak 2019.
- [114] Wikipedia, Ithaa, (2005), <https://en.wikipedia.org/wiki/Ithaa>, 15 Şubat 2019.
- [115] Conrad Maldivler, Ithaa Undersea Restaurant, (2018) <https://www.conradmaldives.com/dine/ithaa-undersea-restaurant/>, 15 Şubat 2019.
- [116] MJ Murphy Ltd., Undersea Restaurants, (2007), <http://www.mjmurphy.co.nz/Projects/UnderwaterRestaurants/tabid/300/Default.aspx>, 15 Şubat 2019.
- [117] Elegant Resorts and Villas, The Top 5 Overwater Villas For The Perfect Getaway, (2018), <https://www.elegantresorts.com.au/>, 16 Şubat 2019.

- [118] Jones, L., B., (2009). "Technical Considerations in the Design, Engineering, Construction and Installation of the Poseidon," U.S. Submarine Structures, L.L.C.
- [119] Poseidon Resorts, Undersea Resorts, (2005). <http://www.poseidonresorts.com/overview.html>, 03 Mart 2019.
- [120] Poseidon Undersea Resorts, Poseidon II, (2013). <http://tritonsubs.com/poseidonresorts/index.php#resortSlider>, 05 Mart 2019.
- [121] The Manta Resort, Pemba Island Tanzania, (2016). <http://www.themantaresort.com/galleries/image-gallery-underwater-room/>, 20 Mart 2019.
- [122] New Atlas, Manta Resort, <https://newatlas.com/manta-resort-underwater-room/29852/#gallery>, 23 Mart 2019.
- [123] Arch20, Floating Seahorse, (2016). <https://www.arch2o.com/floating-seahorse-kleindeinst-architects/>, 25 Mart 2019.
- [124] Time Out Dubai, Floating Seahorse villas in Dubai, (2016). <https://www.timeoutdubai.com/aroundtown/features/70954-floating-seahorse-villas-in-dubai-a-complete-guide>, 25 Mart 2019.
- [125] Yuji Yamazaki Architects, The Muraka, (2018). <http://yyany.com/the-muraka.html>, 12 Nisan 2019.
- [126] Conrad Maldives, The Muraka, (2018). <https://www.conradmaldives.com/stay/the-muraka/>, 20 Mart 2019.
- [127] xTR Large, Maldivler'de dünyanın ilk sualtı villası, (2018). <https://www.xtrlarge.com/2018/04/19/maldivler-ilk-sualti-villa-conrad-muraka/>, 25 Mart 2019.
- [128] Under, Restaurant, (2019). <https://under.no/>, 2 Nisan 2019.
- [129] Snohetta, "Under" Europe's First Underwater Restaurant, (2019). <https://snohetta.com/projects/428-under-europes-first-underwater-restaurant>, 15 Nisan 2019.
- [130] Dezeen, Snøhetta completes Europe's first underwater restaurant in Norway, (2019). <https://www.dezeen.com/2019/03/20/underwater-restaurant-under-snohetta-baly-norway/#/>, 20 Nisan 2019.
- [131] Snohetta, "Under" Europe's First Underwater Restaurant, (2019). <https://snohetta.com/projects/428-under-europes-first-underwater-restaurant>, 30 Nisan 2019.
- [132] Snohetta, "Under"- Europe's First Underwater Restaurant, (2019). <https://snohetta.com/projects/428-under-europes-first-underwater-restaurant>, 25 Nisan 2019.
- [133] Aitken, D., "Underwater Pavilions, Parley For The Oceans, (2017). <https://www.underwaterpavilions.com/#underwaterpavilions>, 16 Şubat 2019.

- [134] Designboom, Coralarium, (2018). <https://www.designboom.com/art/jason-decaires-taylor-coralarium-fairmont-maldives-sirru-fen-fushi-underwater-art-museum-07-03-2018/>, 10 Mayıs 2019.
- [135] Underwater Sculpture, Jason deCaires Taylor Coralarium, (2018). <https://www.underwatersculpture.com/projects/coralarium/>, 20 Mayıs 2019.
- [136] Nemo's Garden, The Project, (2018). <http://www.nemosgarden.com/the-project/>, 26 Mart 2019.
- [137] Dünya, Nemo'nun bahçesi ile deniz altında tarım, (2015). <https://www.dunya.com/surdurulebilir-dunya/nemo039nun-bahcesi-ile-deniz-altinda-tarim-haberi-291064>, 28 Mart 2019.
- [138] Architecture ad Libs, Arcosanti by Paolo Soleri, (2015). <https://archilibs.org/arcosanti-by-paolo-soleri/>, 15 Ocak 2019.
- [139] Arkitera Mimarlık Merkezi, Su Altı Şehirleri, (2018). <http://m.arkitera.com/haber/13957/sualti-sehirleri>, 21 Nisan 2019.
- [140] Jacques Rougerie Architecte, Underwater Villages, (2018). <http://www.rougerie.com/eng/project/27>, 15 Mayıs 2019.
- [141] Jacques Rougerie Database, Sea Projects, (2015). <https://jacquesrougeriedatabase.com/Projects/sea>, 20 Mayıs 2019.
- [142] Sea Orbiter, International Oceanic Station, (2015). <http://www.seaorbiter.com/>, 12 Nisan 2019.
- [143] Jacques Rougerie Architecte, Sea Orbiter, (2015). <http://www.rougerie.com/eng/project/126>, 14 Mayıs 2019.
- [144] Basulto, D., "Archdaily, Underwater museum for Egypt," (2008). <https://www.archdaily.com/7427/underwater-museum-for-egypt-jacques-rougerie/>, 3 Şubat 2019.
- [145] Unesco, Underwater Cultural Heritage, (2017). <http://www.unesco.org/new/en/culture/themes/underwater-cultural-heritage/museums-and-tourism/alexandria-museum-project/>, 14 Şubat 2019.
- [146] Archinect Features, Lilypad A Floating Ecopolis for Ecological Refugees, (2008), <https://archinect.com/features/article/76244/showcase-lilypad-a-floating-ecopolis-for-ecological-refugees>, 5 Mart 2019.
- [147] Vincent Callebaut Architectures Paris, Lilypad, (2017). http://vincent.callebaut.org/object/080523_lilypad/lilypad/projects/user, 17 Nisan 2019.
- [148] Evolo, Water Scraper Underwater Architecture, (2010). <http://www.evolo.us/water-scraper-underwater-architecture/>, 4 Ocak 2019.

- [149] E-Architect, Bloom Aquatic Farm Concept Design, (2012), <https://www.e-architect.co.uk/concept/bloom-aquatic-farm>, 18 Mayıs 2019.
- [150] Vincent Callebaut Arcitectures Paris, The Floating Islands, (2017). http://vincent.callebaut.org/object/041201_floatingislands/floatingislands/projects/user, 9 Nisan 2019.
- [151] US Substructures, H2ome," US Submarine Structures LLC., (2009). <http://www.ussubstructures.com/h2o.html>, 2 Ocak 2019.
- [152] Design Build, Water Discus Underwater Hotel Dubai, (2018). <https://www.designbuild-network.com/projects/water-discus-underwater-hotel-dubai-uae/>, 7 Mart 2019.
- [153] Rowinski, L., (2017). "Living And Working Beneath The Sea-Next Approach," Gdansk University of Technology, Polonya, Cilt 24, Sayı 93,195-202.
- [154] Water Discus, Underwater Hotels, (2018). <http://waterdiscus.com/waterdiscus/>, 10 Mart 2019.