

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZALTI BORU HATLARI İNŞAASI ÖNCESİ
FİZİBİLİTE ÇALIŞMALARI

Ömer DOĞAN

Ağustos, 2005
İZMİR

DENİZALTI BORU HATLARI İNŞAASI ÖNCESİ FİZİBİLİTE ÇALIŞMALARI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Kıyı Mühendisliği Bölümü

Ömer DOĞAN

Ağustos, 2005

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ÖMER DOĞAN, tarafından **Prof. Dr. GÜNAY ÇİFÇİ** yönetiminde hazırlanan
**“DENİZALTI BORU HATLARI İNŞAASI ÖNCESİ FİZİBİLİTE
ÇALIŞMALARI”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından
bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....

Danışman

.....

Jüri Üyesi

.....

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında, bana her türlü desteği sağlayan, görüşlerinden ve fikirlerinden sürekli yararlandığım sayın hocam Prof. Dr. Günay ÇİFÇİ'ye , yardımlarını araştırmam boyunca esirgemeyen Öğr. Gör. Dr. Gündüz GÜRHAN'a, bu süreçte her konuda görüşlerinden faydalandığım Öğr. Gör. Dr. Derman DONDURUR'a, oşinografik çalışmalar kısmında verdiği bilgilerden dolayı Yard. Doç. Dr. Erdem Sayın'a ve desteğini hiç esirgemeyen arkadaşım İnşaat Mühendisi Bozkurt Burak ÖZHAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarakta benim bu günlere gelmemde büyük emeği olan, beni sürekli destekleyen ve yanımda olan, maddi manevi desteği esirgemeyen aileme, özellikle anneme teşekkürü bir borç bilirim.

Ömer DOĞAN

DENİZALTI BORU HATLARI İNŞAASI ÖNCESİ FİZİBİLİTE ÇALIŞMALARI

ÖZ

Denizaltı boru hatları inşaatları, olabilirlik çalışmalarından boru hattının döşenmesine kadar birçok bilim ve mühendislik dalını ilgilendirir. Bu çalışmada ilk olarak denizaltı boru hatları inşası öncesi yapılan olabilirlik çalışmaları anlatılmıştır. Bu çalışmalar anlatılırken Karadeniz’de 2230 metre maksimum su derinliğine döşenmiş olması nedeniyle dünyada ilk örnek olan Mavi Akım doğalgaz boru hattı projesi örnek olarak alınmış ve bu projede kapsamında yapılan fizibilite çalışmaları içinde yer alan araştırmalar, deneyler ve ölçümler detaylı olarak anlatılmıştır. Çalışmanın diğer bölümünde günümüzde uygulanan denizaltı boru hattı döşeme yöntemleri, bu yöntemlerin nerelerde hangi koşullar altında uygulandığı ve Mavi Akım doğal gaz boru hattı projesinde boru hattı döşenmesinde uygulanan S Lay ve J Lay döşeme yöntemleri de anlatılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Fizibilite, Mavi Akım, Denizaltı Boru Hatları

THE FEASIBILITY STUDIES PRIOR TO THE INSTALLATION OF SUBMARINE PIPELINES

ABSTRACT

Submarine pipeline installations relate to many branches of science and engineering beginning from the possibility studies to the construction of pipe lines. In the present work, the feasibility studies carried out before the construction of pipelines were firstly described. While describing the studies, the Blue Stream natural gas pipeline project was given as a sample due to the fact that it would be the first because of its depth of 2230 m where it would be constructed in Black Sea. Also the researches, tests and measurements involved in the feasibility studies performed in the scope of this project were explained in detail. In the subsequent part of the work, the recently applied submarine pipeline settlement methods, the regions where and under what conditions these methods were executed and also the S Lay and J lay methods practiced in the pipe installation within the scope of the Blue Stream natural gas pipeline project were explained.

Keywords: Feasibility, Blue Stream, Submarine Pipelines.

İÇİNDEKİLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v

BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
1.1 Genel Bakış	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2

BÖLÜM İKİ – DÜNYANIN EN DERİN DENİZALTI BORU HATTI İÇİN YAPILAN FİZİBİLİTE ÇALIŞMALARI.....	3
2.1 Genel	3
2.2 Fizibilite Çalışmaları	3
2.2.1 Oşinografik Çalışmalar	5
2.2.2 Jeofizik Çalışmalar	13
2.2.1 Jeoteknik Çalışmalar.....	24

BÖLÜM ÜÇ – DENİZALTINDA BORU HATTI DÖŞEME YÖNTEMLERİ .	39
3.1 Genel	39
3.2 Uygulanacak Yöntemin Seçilmesi	39
3.3 Yapım Yöntemlerinin Sınıflandırılması	41
3.4 Yapım Yöntemleri.....	42
3.4.1 Mobil Bir Kriko Platformu İle Boru Hattı Döşeme Yöntemi	42
3.4.2 Demir Köprüler Aracılığıyla Boru Hattı Döşeme Yöntemi	42
3.4.3 Dipte Monte Etme Yöntemi	44
3.4.4 Vinçli Bir Döşeme Gemisi İle Boru Hattı Döşeme Yöntemi	44
3.4.5 Dibe Çekme Yöntemi	47
3.4.6 Şamandıra Zincir Yöntemi	50
3.4.7 Kısa Boru Hatlarının Dipte Birleştirilmesi Yöntemi	51
3.4.8 Yüzdürme Yöntemi	51

3.4.9 Makaralı Döşeme Gemisi İle Boru Hattı Döşeme Yöntemi.....	54
3.4.10 S Lay Döşeme Yöntemi.....	55
3.4.11 J Lay Döşeme Yöntemi	60
3.5 Yapım Yöntemlerinin Olabilirlik Açısından Değerlendirilmesi	62
BÖLÜM DÖRT – SONUÇLAR.....	64
4.1 Sonuçlar.....	64
KAYNAKLAR.....	66

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Genel Bakış

Dünyamızda son yıllarda açık deniz endüstrisi ve okyanuslarda yapılan araştırmalar çoğalmaktadır. Petrol ve doğalgaz alanlarının çoğalması ve gelişimi yapılan araştırmaların ve çalışmaların önemini daha da arttırmıştır. Yeryüzünde çıkarılan bu petrol ve doğal gazın çıkarıldıkları doğal şekilde ve çıkarıldıkları yerde kullanılmaları imkansızdır. Çıkarılan bu petrolün ve doğal gazın rafinerilere gönderilip işlenmesi ve tüketilmeye hazır bir duruma getirilmesi gerekir. Dünyamıza bakıldığında genel olarak petrolün ve doğal gazın üretildiği ve tüketildiği yerler arasında mesafeler olduğunu görülmektedir. Bu da bir taşıma ve ulaştırma işlemini gerektirir. Bu taşıma işlemi için genelde karada tanker kamyonları denizde ise tanker gemileri kullanılmaktadır. Diğer bir taşıma yöntemi ise boru hatları yardımıyla taşımaktır. İşte bu boru hatları, bu problemi ortadan kaldırmak için uygulanan yöntemlerin başında gelir ve en başarılı yöntemdir. Dünyanın çeşitli ülkelerinde ve ülkemizde değişik uzunluklarda döşenmiş boru hatları bulunmaktadır. Özellikle petrol ve doğalgazın su altına döşenmiş boru hatları ile taşınması yoluna gidilmeye başlanmıştır. Yapılan bu denizaltı boru hatları inşaatı öncesi ve döşenmesi sırasında birçok farklı mühendislik dalından yararlanılmaktadır.

Denizaltı boru hattı döşenmesi işlemi yapılmadan önce yapılan fizibilite çalışmaları başarılı ve sorunsuz bir boru hattı döşeme işleminin gerçekleşmesini sağladığı için büyük önem taşımaktadır. Yapılan olabilirlik çalışmaları sayesinde boru hattı döşenmesi esnasında karşılaşılabilecek sorunlara önceden çözümler getirebilir ve boru hattı için olası yer tehlikelerini ortaya koyabiliriz. Bu sayede boru hattının döşenmesi için en güvenli boru hattı güzergahını ortaya çıkartabilir ve bize en uygun boru hattı döşeme yöntemini seçebiliriz.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada doğal gaz ve petrol taşımacılığında büyük rol oynayan denizaltı boru hatlarının döşenmesinden önce en güvenli boru hattı güzergahını belirlemek amacıyla yapılan fizibilite çalışmaları, bu çalışmalar kapsamında teknik çalışmalar ve günümüzde boru hattı döşenmesinde uygulanan döşeme yöntemleri incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı en güvenli boru hattı güzergahını belirlemek amacıyla yapılan teknik fizibilite çalışmalarını tanımak, bu çalışmaların hangi aşamalarda, ne zaman ne hangi koşullar altında yapıldığını anlatmak ve boru hattı güzergahı belirlendikten sonra uygulanabilecek yöntemleri tanıtmaktır.

Bu amaçla çalışma kapsamında dünyamızda en derin denizaltı boru hattı projesi olarak bilinen Mavi Akım doğalgaz boru hattı projesi çerçevesinde yapılan oşinografik, jeofizik ve jeoteknik çalışmalar incelenmiştir. Ayrıca denizaltı boru hattı inşaatı konusunda dünyamızda bugüne kadar uygulanan boru hattı döşeme yöntemleri de incelenmiştir.

BÖLÜM İKİ

DÜNYANIN EN DERİN DENİZALTI BORU HATTI İÇİN YAPILAN FİZİBİLİTE ÇALIŞMALARI

2.1 Genel

Denizaltı boru hatları inşası öncesi yapılan fizibilite çalışmalarının başarılı bir boru hattı döşenmesi için büyük bir önemi vardır. Denizaltı boru hattı olabilirlik çalışması, boru hattının döşenmesi ve daha sonrası için özellikle bakımında kullanılmak üzere gerekli bilgilerin toplanması amacıyla yapılmakta olup boru hattı için en uygun güzergahın belirlenmesidir. Yapılan bu çalışmalar sayesinde boru hattı şartlara göre seçilen en uygun yöntemle, en uygun zamanda ve en güvenilir şekilde döşenir. Olabilirlik çalışmaları sayesinde en uygun boru hattı güzergahı önerilir ve bu güzergah üzerinde olası yer tehlikeleri belirlenir.

2.2 Fizibilite Çalışmaları

Dünyamız da bugüne kadar yapılan en büyük denizaltı boru hattı projesi Karadeniz’de uygulanmış olan Mavi Akım projesidir. Mavi Akım Projesi Güney Rusya’dan Ankara, Türkiye’ye uzanan yaklaşık 1250 km’lik bir doğalgaz boru hattı sisteminin bir kısmıdır. Rusya- Türkiye Mavi Akım doğal gaz boru hattı güzergahı 4 km genişlikte ve yaklaşık olarak 400 km uzunluğa sahiptir. Mavi Akım projesinde Karadeniz havzasında yaklaşık 2230 m maksimum su derinliğine boru hattı döşenmiştir. Dünyada başka hiçbir yerde bu kadar derinliğe boru hattı döşenmemiştir. Bu yüzden Mavi Akım projesinin denizaltı boru hatları inşası olayında ayrı bir yeri ve önemi vardır. Bu kadar fazla bir derinliğe boru hattı döşenecek olmasından dolayı boru hattı inşası öncesi yapılan olabilirlik çalışmaları daha da önem kazanmıştır. Mavi Akım projesi uygulanan yöntem, boru hattının döşendiği su derinliği ve yapılan detaylı olabilirlik çalışmaları bakımından dünyada örnek gösterilecek olan bir projedir. Bu proje tasarımı, yapımı, organizasyonu ve lojistiği açısından ortaya koyduğu zorluklar nedeniyle şüphesiz şimdiye kadar yapılmış en zor derin su boru hattı projesidir. Bu yüzden yapılan olabilirlik

çalışmaları bu projede daha da önemlidir. Bu çalışmalarda genel olarak denizaltı boru hatlarının içinden geçeceği bölgelerin jeoteknik, jeomorfolojik, jeofiziksel ve batimetrik karakteristiklerini ortaya koymaktır. Mavi Akım projesinde denizaltı boru hatlarının içinden geçeceği bölgelerin özellikleri çok değişken ve zorluklar içermektedir. Boru hattı koridoru boyunca maksimum su derinliği, H₂S ortamı, deniz dibi eğimlerinin durumları ve değerleri, jeolojik tehlikeler, depremler nedeniyle tetiklenen ve potansiyel olarak boru hatlarının döşenmesini engelleyen su altı toprağının durumu, aktif ve potansiyel tehlike oluşturan fayların yerleri ve durumu, olası yer tehlikelerinin durumu olabilirlik çalışmaları esnasında incelenir.

Yapılan olabilirlik çalışmalarında asıl amaç, boru hattı için en uygun güzergah seçimini yapmak, boru hattı koridoru boyunca yer tehlikelerini ortaya koymak, boru hattı güzergahı için veri toplamak, jeofizik ve jeoteknik çalışmalar yapmak, oşinografik ölçümler gerçekleştirmektir. Mavi Akım boru hattı projesi için birçok jeofizik ve jeoteknik çalışmalar ayrıca birçok oşinografik ölçümler yapılmıştır. Boru hattı için olası yer tehlikeleri belirlenerek en uygun güzergah belirlenmiştir. Şekil 2.1’de Mavi Akım doğal gaz boru hattı güzergahı görülmektedir.



Şekil 2.1 Rusya -Türkiye Mavi Akım doğal gaz boru hattı güzergahı. (Çifçi, Dondurur ve Oral, 2002).

Denizaltı boru hatları olabilirlik çalışmaları Mavi Akım projesinde en detaylı ve en geniş biçimde yapılmıştır. Aşağıda başlıklar halinde Mavi Akım projesinde yapılan olabilirlik çalışmaları anlatılmaktadır.

2.2.1 Oşinografik Çalışmalar

Oşinografik çalışmalar, olabilirlik çalışmaları arasında büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen değerler ve veriler borunun döşenmesi ve döşendikten sonraki bakım çalışmaları için önemlidir. Yapılan çalışmalar arasında oşinografik ölçümler büyük yer tutar. Oşinografik ölçümlerde deniz suyuyla ilgili karakteristik özellikler, o bölgedeki dalga boyu, dalga yüksekliği, rüzgar hızı gibi değerler ölçülmekte ve incelenmektedir. Deniz suyunun sıcaklığı, tuzluluk oranı, deniz suyunun yoğunluğu ve deniz suyunun hidrojen iyonu konsantrasyonu derinliklere göre ölçülmektedir. Yapılan bu oşinografik ölçümlerin yanı sıra denizden şekil 2.8’de görülen araçla su örneklemeleri de yapılmıştır. Su örneklemelerinin sonucunda su ve deniz tabanı tortullarının pH değeri, deniz tabanı tortullarının hidrojen sülfid (H_2S) konsantrasyonu ve toplam sülfat konsantrasyonu belirlenmektedir. Bu örneklemelerdeki ve ölçümlerdeki asıl amaç, boru hattında kullanılacak borunun malzemesinin belirlenmesi ve daha sonra korunmasında uygulanacak katodik koruma yönteminin belirlenmesidir. Boru malzemesi bu ölçümlerden çıkan sonuçların değerlendirilmesi sonucunda seçilmelidir. Su örneklemelerindeki amaç ise tortullardaki hidrojen sülfid içeriğini belirlemek, borunun malzemesini seçmek ve boru malzemesi üzerindeki korozyonu belirlemek ve katodik koruma için performans çalışmaları yapmaktır. Okyanuslardaki tuzluluk seviyesi genellikle yüzde 34 ile 38 arasında değişiklik gösterir.(Öztürk, 1996). Fakat iç denizlerde ve sahil sularında tuzluluk tatlı sularla karışım oranına bağlı olarak değişim gösterir. Deniz suyunun tuzluluğu derinlik değiştiğinde de değişim gösterir. Bu değişim açık denizlerde fazla önemli değildir fakat sahil kısımlar yani kıyı bölgelerde değişim çok açıktır. Kıyı kesimlerde üst kısımlardaki sular alt kısımlara nazaran daha az tuz içerir. Tuzluluk değerleri mevsimlere göre de değişebilir. (Öztürk, 1996).

Karadeniz’de ise Akdeniz’den gelen tuzlu sulardan dolayı giderek bir tuzluluk katmanlaşması oluşmaya başlamıştır. Yapılan ölçümlerde Karadeniz’de deniz seviyesinden aşağı ilk 30-40 m’lik bölüm tipik olarak 0,018 tuzluluğa ve mevsimlere göre değişen 5 ile 25 °C arası bir sıcaklığa sahip olduğu görülmüştür. Karadeniz’de yüzey tabakasının en çarpıcı özelliği de 8 °C ‘den daha soğuk ve “Karadeniz Ara Tabaka Suyu” olarak tanımlanan bir su kütesinin varlığıdır. Bu ara tabaka suyu, karadan gelen soğuk havanın bölgeyi etkilemesi sonucu yüzey sularının soğuması ve yoğunluklarının artması sonucu ortaya çıkar. Böylece yüzey suları kendi yoğunluklarına ulaşınca kadar batarlar ve buradaki su kütesini karıştırarak homojen bir yapıya dönüştürürler. Karadeniz’de sabit ara yüzeyin altındaki suların sıcaklığı derinliğe göre çok az değişmektedir. 200 m derinlikte 8,7 °C, 500 m derinlikte 8,9 °C ve 1000 m derinlikte 9,0 °C’ye yükselmektedir. 1000 m’den daha fazla derinliklere inildikçe sıcaklık 9,2 °C’ye ve tuzluluğunda binde 22,35’e çıktığı görülmektedir. (Oğuz ve Tuğrul, 1998). Tablo 2.1’de Mavi Akım boru hattı güzergahı boyunca ölçülen deniz dibi sıcaklıkları görülmektedir.

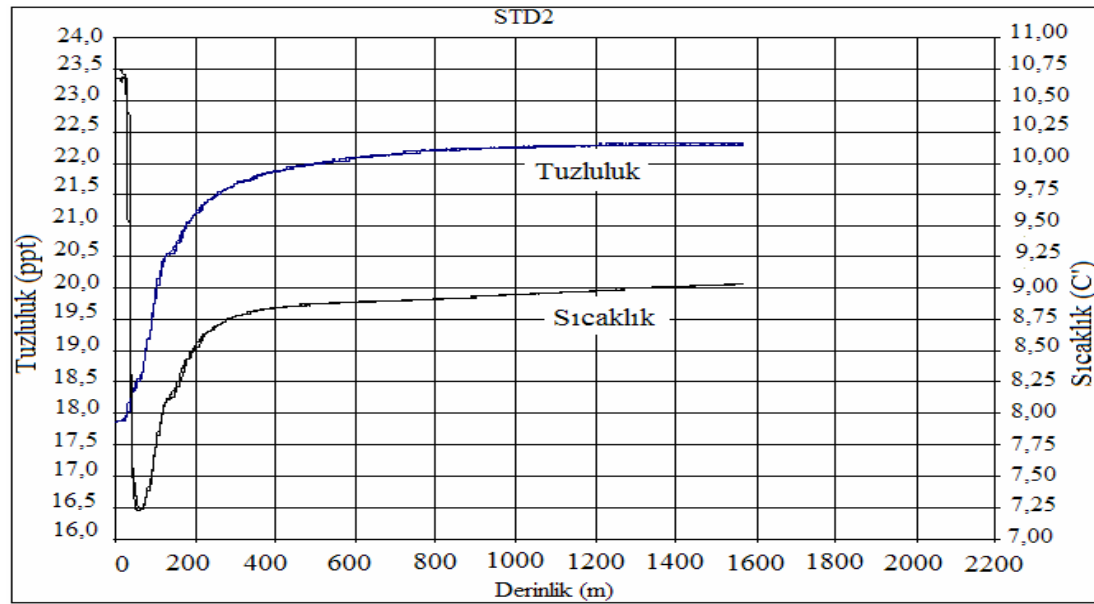
Tablo 2.1 Mavi Akım doğalgaz boru hattı güzergahı boyunca ölçülen deniz dibi sıcaklık değerleri. (Petergaz B.V., Vol.2, 1998).

km	Sıcaklık T (°C)	km	Sıcaklık T (°C)	km	Sıcaklık T (°C)	km	Sıcaklık T (°C)
1,2	9,1	3,4	7,7	9,8	8,4	362,2	8,2
1,3	9,0	3,7	7,6	9,9	8,5	369,4	8,0
1,3	8,9	4,2	7,5	10,0	8,6	369,8	7,8
1,4	8,8	4,7	7,4	10,5	8,7	369,9	7,7
1,5	8,7	7,2	7,4	11,0	8,8	370,0	7,6
1,7	8,6	8,1	7,5	12,0	8,9	371,0	7,6
1,8	8,5	9,0	7,6	18,0	9,0	371,3	7,7
1,8	8,4	9,3	7,7	57,0	9,1	371,6	7,8
1,9	8,3	9,5	7,8	256,0	9,1	372,5	7,9
2,0	8,2	9,6	7,9	324,0	9,0	373,1	8,0
2,3	8,1	9,6	8,0	327,0	8,9	373,6	8,1
2,5	8,0	9,7	8,1	333,5	8,8	374,0	8,2
2,7	7,9	9,7	8,2	359,2	8,6		
3,1	7,8	9,8	8,3	360,5	8,4		

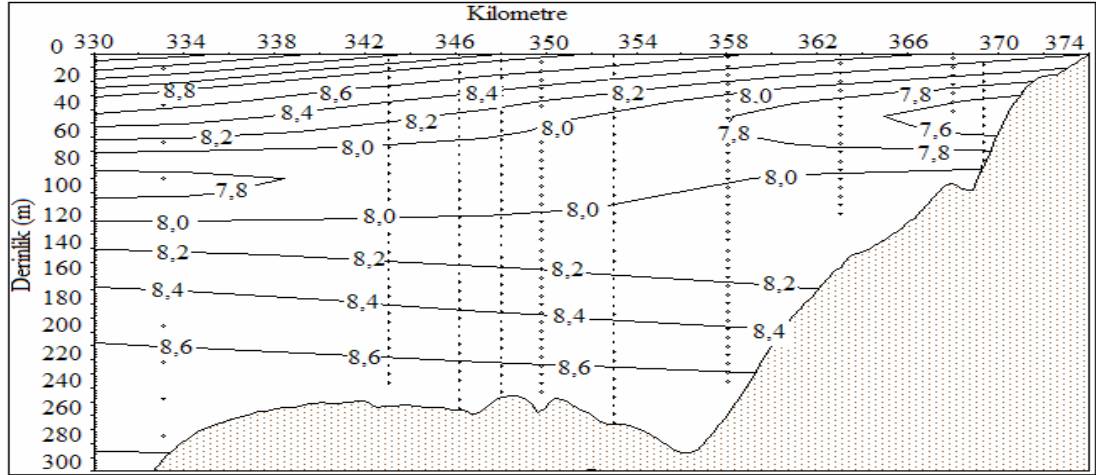
Mavi Akım projesi kapsamında boru hattı güzergahı boyunca on noktada deniz suyu özellikleri ölçülmüştür. Aşağıda tablo 2.2’de bu noktalara ait bilgiler verilmektedir. Yapılan bu ölçümlerde deniz suyunun sıcaklığı ve tuzluluk oranı ölçülmüştür. Şekil 2.2’de std2 noktasında yapılan ölçüm sonucu elde edilen tuzluluk ve sıcaklık değerleri görülmektedir. Şekil 2.3’de ise 300 m derinliğe kadar olan Türkiye şelf bölgesindeki sıcaklık değişimi görülmektedir.

Tablo 2.2 Deniz suyu örneklemelerinin yapıldığı noktalara ait bilgiler (Petergaz B.V., Vol.2, 1998).

Nokta Adı	Kilometre	Tarih	Koordinat	
			Doğu	Kuzey
std2	24.693	05-Temmuz-98	456113	4887085
std3	45.836	06-Temmuz-98	446300	4868044
std4	68.474	06-Temmuz-98	439771	4851714
std5	88.489	06-Temmuz-98	432285	4833125
std6	108.413	06-Temmuz-98	424867	4814609
std7	128.309	15-Temmuz-98	417107	4796241
std8	148.296	15-Temmuz-98	409702	4777654
std9	168.337	15-Temmuz-98	402149	4759060
std12	333.118	20-Temmuz-98	337840	4610908
std15	353.059	20-Temmuz-98	320824	4600471
std19	363.085	21-Temmuz-98	315296	4592429

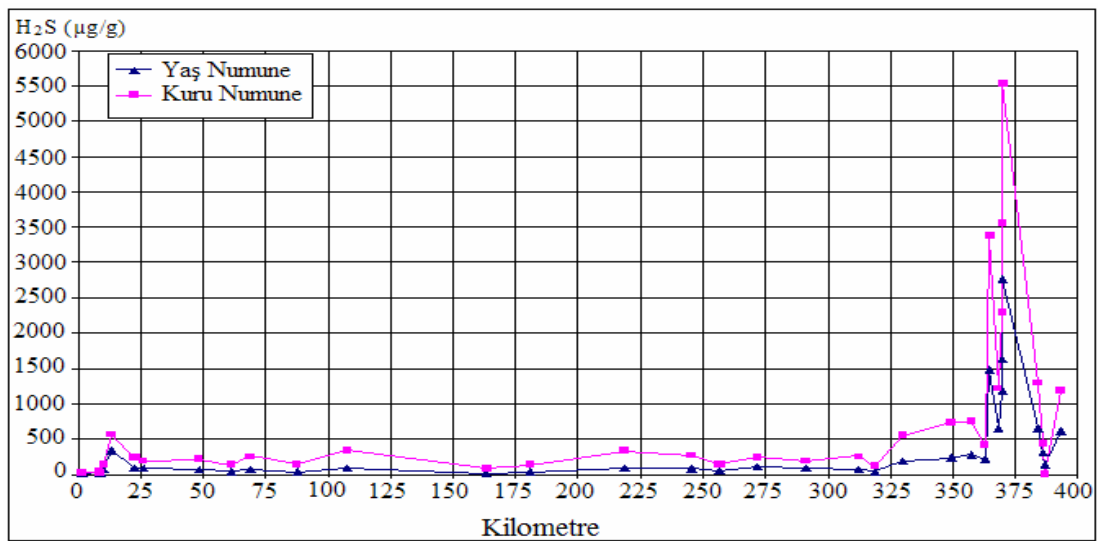


Şekil 2.2 Std02 noktasında yapılan ölçümler sonucu elde edilen tuzluluk ve sıcaklık değerleri (Petergaz B.V., Vol.2, 1998).



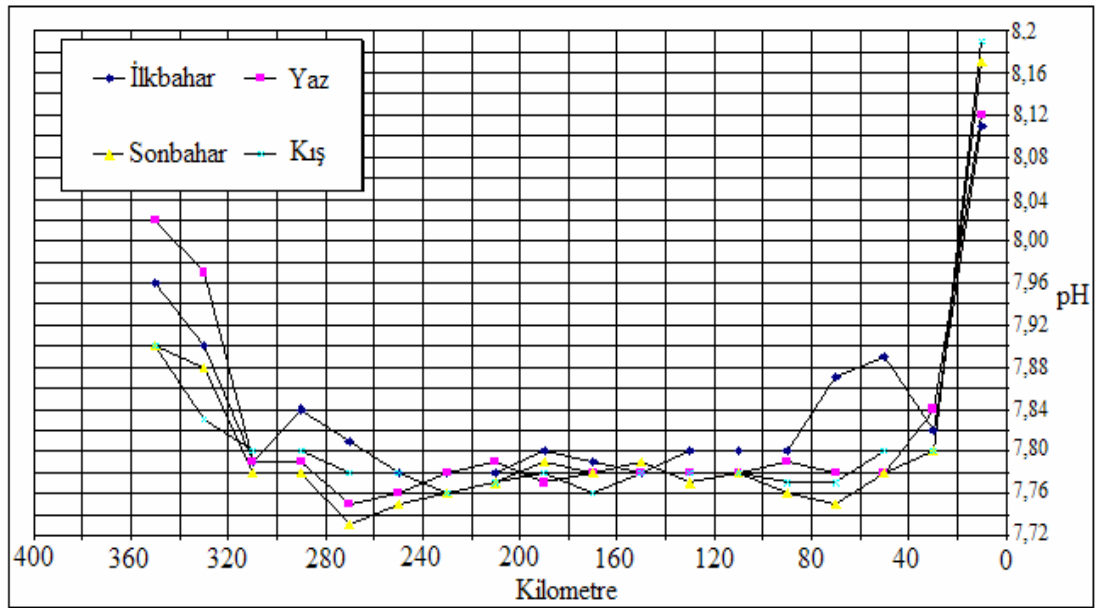
Şekil 2.3 300 metre derinliğe kadar olan Türkiye şelf bölgesindeki sıcaklık değişimi (Petergaz B.V., Vol. 2, 1998).

Karadeniz kimyasal açıdan büyük bir özelliğe sahiptir. Bu özellik, yüzey tabakasının altındaki suların oksijensiz ve tamamen hidrojen sülfür (H_2S) ile kaplı olmasıdır. (Oğuz ve Tuğrul, 1998) Şekil 2.4'te Mavi Akım boru hattı güzergahı boyunca yaş ve kuru numuneler üzerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilen hidrojen sülfür değerleri görülmektedir. Yapılan araştırmalar ve ölçümler sonucu bu hidrojen sülfürlü tabakanın, Karadeniz'in iç kesimlerinde 100 m ile 120 m'de, kıyısıl kesimlerde ise 160 m ile 180 m arası derinliklerde başladığı görülmüştür. (Petergaz B.V., Vol. 5, 1998).



Şekil 2.4 Mavi Akım boru hattı güzergahı boyunca yaş ve kuru numuneler üzerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilen H_2S değerleri (Petergaz B.V., Vol. 5, 1998).

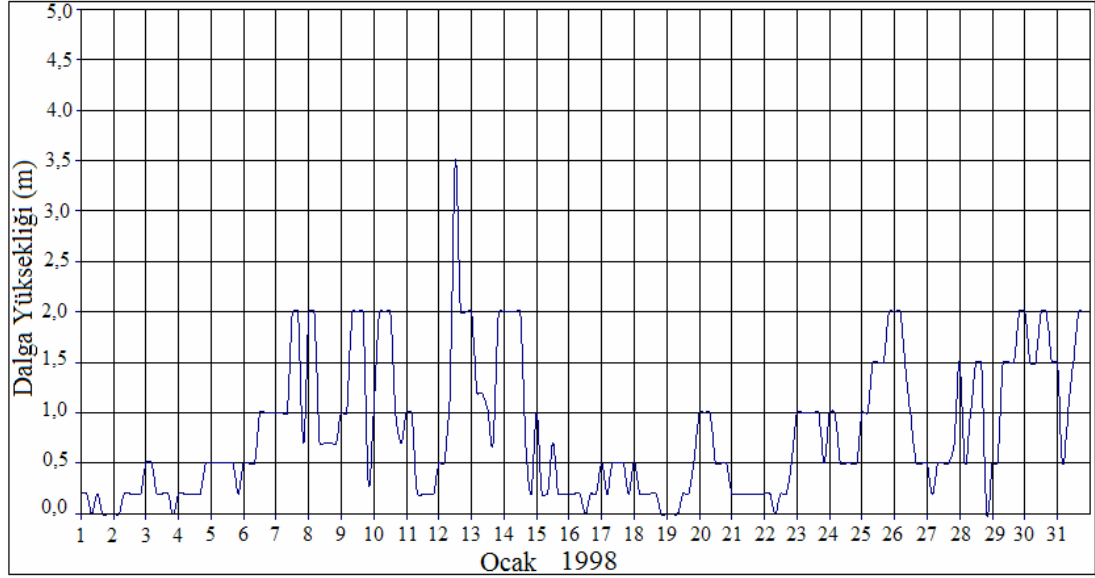
Deniz suyunun yoğunluğu ise gerçekte sıcaklık, basınç ve tuzluluğa bağlı olarak değişim gösterir. Özellikle Mavi Akım projesinde boru hattının tasarımı için yıl boyunca mevsimlere göre yoğunluk değişimleri ölçülmüştür. Boru hattını ilgilendiren diğer bir parametre ise pH parametresidir. Şekil 2.5'te dört mevsim boyunca Mavi Akım projesi içerisinde Karadeniz'de ölçülen pH değerleri görülmektedir Hidrojen iyonu içeriği deniz suyundaki tuz ve karbondioksit oranına bağlı olarak değişir. (Öztürk, 1996).



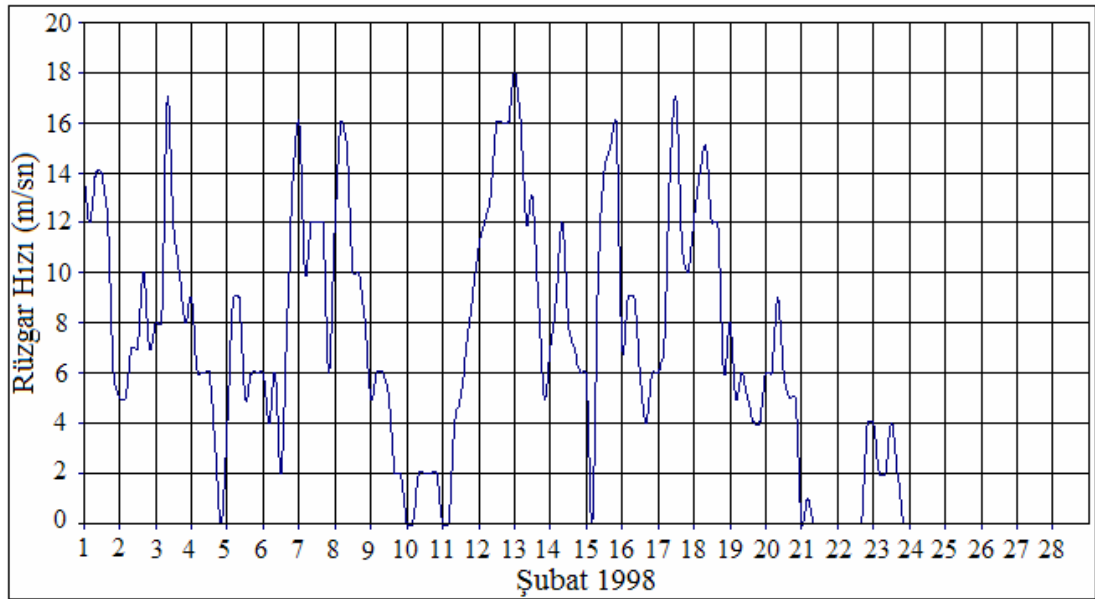
Şekil 2.5 Karadeniz'de dört mevsim boyunca ölçülmüş olan pH değerleri (Petergaz B.V., Vol. 4, 1998).

Deniz altı boru hatları inşası öncesi yapılan oşinografik çalışmalar kapsamında dalga yüksekliği, dalga hızı, dalganın periyodu, rüzgar hızı gibi parametrelerde ölçülmektedir. Dalga yüksekliği ve dalga boyunun fazla olduğu bölgelerde boru hattı döşenme işlemi zorlukla gerçekleştirilir. Örnek verecek olursak kötü hava ve deniz koşullarının olduğu bölgelerde ileride bahsedeceğimiz deniz altı boru hattı döşeme yöntemlerinden olan yüzdürme ve dibe çekme yöntemleri ile boru döşemek imkansız hale gelmektedir. Yüzdürme yöntemiyle boru hattı döşenirken güçlü bir dalga etkisiyle yüzdürülen boru hattı güzergahından çıkar ve boru hattını tekrar güzergahına getirmek büyük zaman kaybına neden olur. Bu yüzden deniz altı boru hattı döşenmesi için uygulayacağımız yöntemi seçmeden önce mevsimlere göre

bölgedeki hava ve deniz koşullarını dikkate almalıyız. Mavi Akım projesinde de yukarıda bahsettiğimiz kriterler için ölçümler ve araştırmalar yapılmıştır. Örneğin şekil 2.6'da Karadeniz'de 1998 yılının Ocak ayında boru hattı güzergahı boyunca yapılan dalga yüksekliği ve şekil 2.7'de ise aynı yılın Şubat ayındaki rüzgar hızı ölçümlerinin değerleri görülmektedir.



Şekil 2.6 1998 yılının Ocak ayında Karadeniz'de boru hattı güzergahı boyunca ölçülen dalga yüksekliği değerleri (Petergaz B.V., Vol. 2, 1998).



Şekil 2.7 1998 yılının Ocak ayında Karadeniz'de güzergah boyunca yapılan rüzgar hızı değerleri (Petergaz B.V., Vol. 2, 1998).

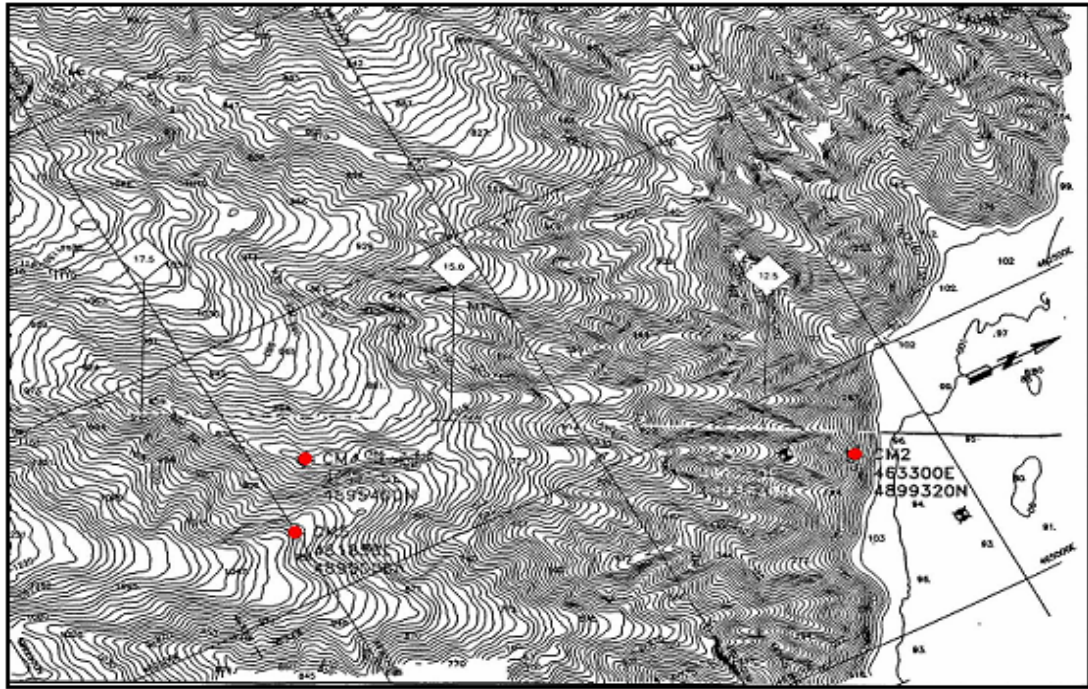
Deniz altı boru hatları inşası öncesi yapılan oşinografik çalışmalarda boru hattının geçtiği bölgedeki akıntıların durumu önemli bir yer tutar. Bu çalışmalar esnasında deniz tabanındaki ve su kolonundaki akıntı hızını, doğrultusunu ve güzergah boyunca deniz tabanına yakın olan turbulent akımlarını ölçmek, bu akıntıların nasıl kaynaklandığını bulmak gerekmektedir. Şekil 2.8’de görmekte olduğumuz akıntı ölçerler deniz dibine indirilerek bu ölçümler yapılmaktadır.

Mavi Akım projesinin uygulandığı Karadeniz’de iki tabakalı bir dolaşım sistemi kullanılmaktadır. Derinliği 100 m ile 150 m arası olan derinlikteki yüzey tabakası içinde oldukça karmaşık ve değişken bir dolaşım sistemi vardır. Bu sistemin en temel ögesi Karadeniz havzasını çevreleyen kıyı boyunca topoğrafik eğim kuşağı üzerindeki Karadeniz kıyusal akıntı sistemidir. Bu sistem kıyusal bölgeyi saatin tersi yönünde dolaşmaktadır. Karadeniz kıyusal akıntı sistemi içindeki akıntıların şiddeti mevsimlere göre değişim göstermektedir. İlkbahar aylarında bu akıntıların hızının 50 cm/san’dan fazla ve kimi zaman 100 cm/san olduğu ölçülmüştür. 100 m ile 150 m arasındaki derinliklerde ise 30 cm/san hıza sahip olan akıntıların varlığı tespit edilmiştir. 200 m ile 500 m arasındaki orta tabakada ise orta ölçekli döngülerden oluşan karmaşık bir akıntı sistemi vardır. (Oğuz ve Tuğrul, 1998).

Mavi Akım projesi kapsamında Karadeniz’e akıntı ölçerler yerleştirilmiştir. Şekil 2.9’da Karadeniz’deki yamaç kanyonlarını gösteren bir harita görmekteyiz. Bu harita üzerindeki siyah noktalar Karadeniz’e yerleştirilen akıntı ölçerlerin yerini göstermektedir. Bu çalışmanın yanında deniz tabanına korozyon ölçerler yerleştirilmiştir. Korozyon ölçerlerin amacı güzergah boyunca boru kaplamasındaki korozyon oranını elde etmektir. Yapılan diğer bir oşinografik çalışma ise deniz suyu örneklemeleridir. Su ve deniz tabanı tortullarının pH değerlerinin, deniz tabanı tortullarının hidrojen sülfür (H_2S) konsantrasyonunun ve toplam sülfür konsantrasyonunun belirlenmesi, yapılan su örneklemeleri yapılarak belirlenmiştir. Deniz suyunun karakteristik özellikleri de bu çalışmalar sonucunda saptanmaktadır. Şekil 2.10’da su örneklemesi için kullanılan araç görülmektedir. Bu ölçümler özellikle borunu katodik korumasının nasıl yapılacağı açısından önemlidir.



Şekil 2.8 Karadeniz’de kullanılan akıntıların hızlarını ölçen akıntı ölçer (Çifçi, Ergün ve Dondurur, 2000).



Şekil 2.9 Karadeniz’deki yamaç kanyonuna yerleştirilen akıntı ölçerler (Çifçi, Ergün ve Dondurur, 2000).



Şekil 2.10 Karadeniz’de yapılan su örneklemelerinde kullanılan araç (Çifçi, Ergün ve Dondurur, 2000).

2.2.2 Jeofizik Çalışmalar

Denizaltı boru hattı inşası öncesi yapılan olabilirlik çalışmalarının ikinci önemli basamağı jeofizik çalışmalardır. Mavi Akım projesinde de yapılan bu jeofizik çalışmaların birincil amacı boru hattı koridoru boyunca boru hattına zarar verebilecek olası yer tehlikelerini ortaya koymak ve belirlemektir. Bu çalışmalarda çok açılı echosounder, yanal tarama sonarı, subbottom profiler ve sığ-derin sismik sistemler kullanılmıştır. Jeofizik çalışmalar; batimetrik verileri, yanal tarama, subbottom profiler verilerini ve deprem risk analizleri ile ilgili verileri kapsamaktadır. (Çifçi, Dondurur ve Oral, 2002).

Boru hattı güzergah seçiminde yapılan jeofizik çalışmalar ve diğer çalışmalar için öncelikle çalışmaların yapılacağı boru hattı koridorunun seçimine dikkat etmeliyiz. Jeofizik ve jeoteknik çalışmaların yapılacağı boru hattı koridorunda öncelikli olarak hızlı derinlik değişimlerinden kaçınılmalıyız. Bu sayede hem olabilirlik çalışmaları daha rahat sürdürülür hem de boru hattı döşenmesi işlemi daha kolay yapılmış olur. Dikkate alınması gereken diğer bir unsurda kablo kesişimleri, yer çöküntüleri ve diğer tehlikelerden kaçınılması gerektiğidir. Ayrıca boru hattı koridorunu seçerken deniz kompresörlerinin yerlerini ve kıyıya yakın kayma

bölgelerinin konumlarını da göz önünde bulundurmalıyız. Sonuç olarak bu saydığımız şartları sağlayacak olan en kısa rotayı seçmeliyiz.

Jeofizik çalışmalarda yüksek ve çok yüksek ayrımlı sismik çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların amacı, derin jeolojik yapıları haritalamak ve aktif olan fayların durumunu ve yer değiştirmelerini belirlemek için yüksek ayrımlı sismik veri elde etmektir. Diğer bir amaç ise deniz tabanının ilk 100 m 'si için sıg gaz birikimini değerlendirmek amacıyla çok yüksek ayrımlı sismik veri elde etmektir. (Çifçi, Dondurur ve Oral, 2002).

Denizaltı boru hattı olabilirlik çalışmaları kapsamında kullanılan jeofizik yöntemlerin başında çok açılı echosounder batimetri sistemleri gelmektedir. Echosounder batimetri sistemleri deniz tabanı derinliğinin ölçülmesinde ve batimetrik profilin çıkarılmasında kullanılan akustik sistemlerdir. Bu sistemle yapılan batimetrik çalışmalar jeofizik ve jeolojik çalışmaların önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Denizaltı boru hatları inşası, belirli ve kesin su derinlikleri için tasarlanıp yapıldıklarından dolayı su derinliği saptanmasındaki bir hata önemli sorunlara yol açabilir. Çok bimli echosounder sistemleri birden fazla ışın kullanarak, sadece geminin altındaki batimetrisinin değil, aynı zamanda geminin her iki yanında uzanan deniz tabanının da derinliğinin elde edilmesine olanak sağlar. Jeofizik çalışmalarda çok açılı echosounder batimetri sistemleri ile yapılan incelemeler sonucunda boru hattı güzergahı boyunca batimetrik profil elde edilmektedir. Ayrıca buna ek olarak kıtasal yamaçlar, kaymalar, denizaltı kanyonları ve deniz tabanı yamaçları gibi büyük jeomorfolojik elemanlar tanımlanmakta ve mutlak batimetrik konturların belirlenmesi için doğru su derinlikleri elde edilmektedir.

Boru hattı güzergahı boyunca yüzey tortullarının kalınlığı ve farklı tabakaların ayırt edilmesi de dahil olmak üzere güzergah boyunca sıg jeolojinin elde edilmesinde ve sıg yer tehlikelerini belirlemek için yanal tarama sonarı ve subbottom profiler sistemler kullanılır. Yanal tarama sonarı, geminin rotasının her iki yanında uzanan alandan yüksek ayrımlı veri temin etmek için kullanılan akustik bir sistemdir. Deniz

tabanının akustik bir görüntüsünün elde edilmesinde kullanılan en pratik ve önemli yöntem yanal tarama sonarı ile yapılan çalışmadır. Yanal tarama sonarı ile yapılan çalışmalar sonucunda kayma, çamur akışı ve pockmarklar gibi küçük jeomorfolojik yapılar belirlenir. Yanal tarama sonarı sistemlerinde gravity core ile birlikte farklı tortul birimlerini ayırt edebiliriz. Ayrıca enkaz, denizaltı kabloları gibi yapay denizaltı oluşumlarını belirlemekte de yanal tarama sonarını kullanırız.

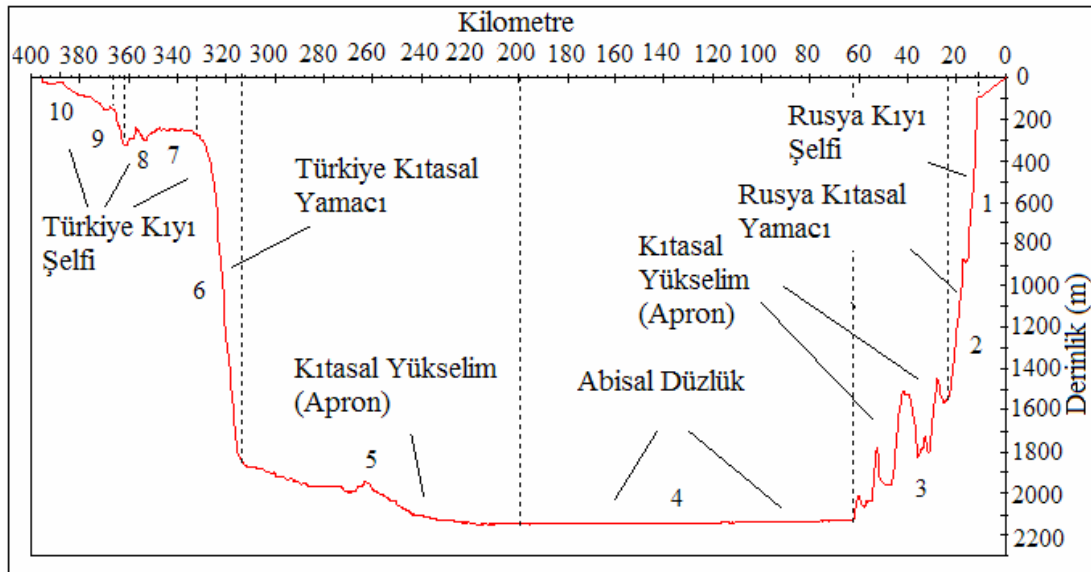
Subbottom profiler sistemi de jeofizik çalışmalarda kullanılan diğer bir yöntemdir. Bu sistemler, deniz tabanından itibaren ortalama 30 m derinliklere kadar olan üst tortul katmanın yüksek ayrımlı sismik görüntüsünün sürekli şekilde elde edilmesini sağlarlar. Yüksek ayrımlı deniz tabanı araştırmalarda kullanılan ana yöntemlerden biri de subbottom profiler yöntemidir. subbottom profiler sistemleri, deniz tabanı ve su kolonuna olan gaz sızıntılarının belirlenmesine de olanak tanır. Uygun kalibre edildiğinde subbottom profiler verisi, sürekli batimetrik profilin elde edilmesinde de kullanılabilir. Subbottom profiler sistemi, boru hattı güzergahı boyunca sığ jeolojiyi belirlemek, tabaka kalınlıklarını ayırt etmek ve geçişlerini belirlemektedir. Ayrıca sığ gaz, çamur diyapiri, fay, kayma, sürüklenmeler ve diğer sığ yer tehlikelerini belirlemek için de subbottom profiler sistemleri kullanılır.

Jeofizik çalışmalar kapsamında yapılan diğer bir çalışma da sığ ve derin sismik yansıma çalışmalarıdır. Sığ ve derin sismik yansıma çalışması ile denizaltı jeolojisi, faylanma durumu, aktif ve derin fayların konumları belirlenir. Daha ayrıntılı jeofizik çalışmalar ROV uzaktan kumandalı araç olarak adlandırılan ve deniz tabanına kadar inebilen robotla gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.11’de ROV adı verilen uzaktan kumandalı aracı görmekteyiz. ROV video çalışmasının birincil amaçları boru hattı güzergahı üzerindeki telefon kablolarını belirlemek ve kritik bölgelerde deniz tabanını denetlemektir. Ayrıca ROV grab örnekleme sayesinde jeoteknik çalışmalar yapılırken ölçümler ve analizler için deniz tabanından kayalık örnekleri alınmaktadır. Bunun yanında daha önce bahsettiğimiz gibi ROV adlı robot güzergah boyunca yapılan jeoteknik çalışmalar kapsamındaki boru yerleştirme testleri esnasında teste tabi tutulan boruyu gözlemlemek için kullanılmıştır.

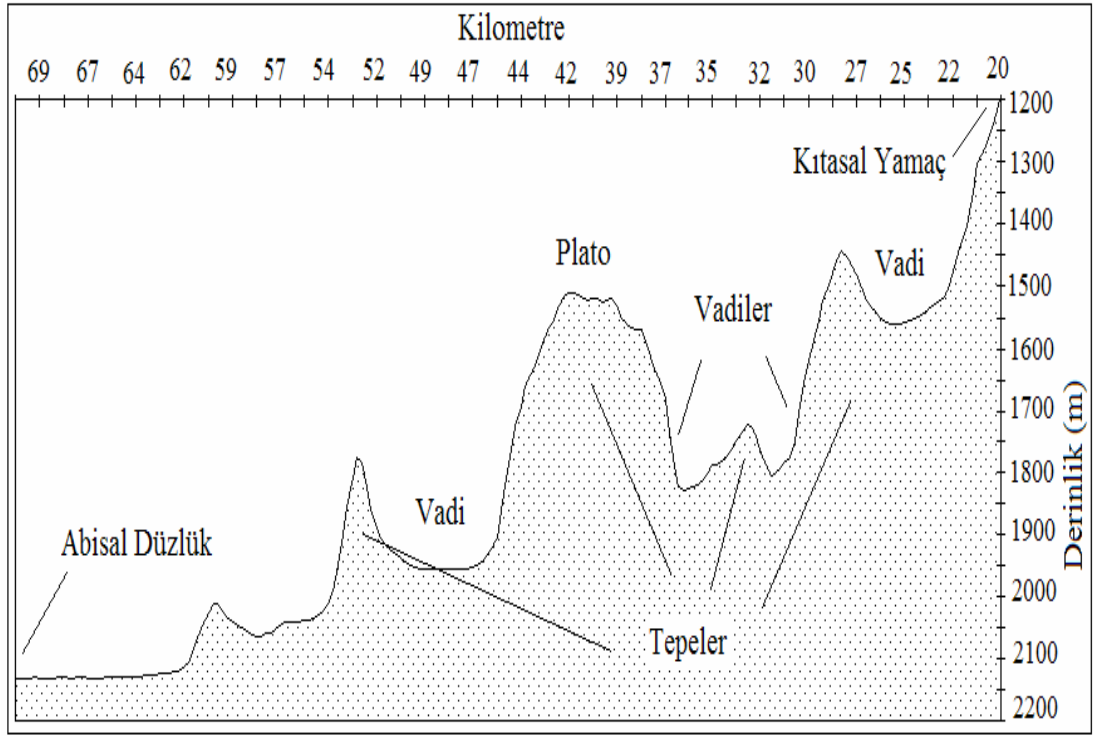


Şekil 2.11 ROV adı verilen uzaktan kumandalı robot (Çifçi, Dondurur ve Oral, 2002).

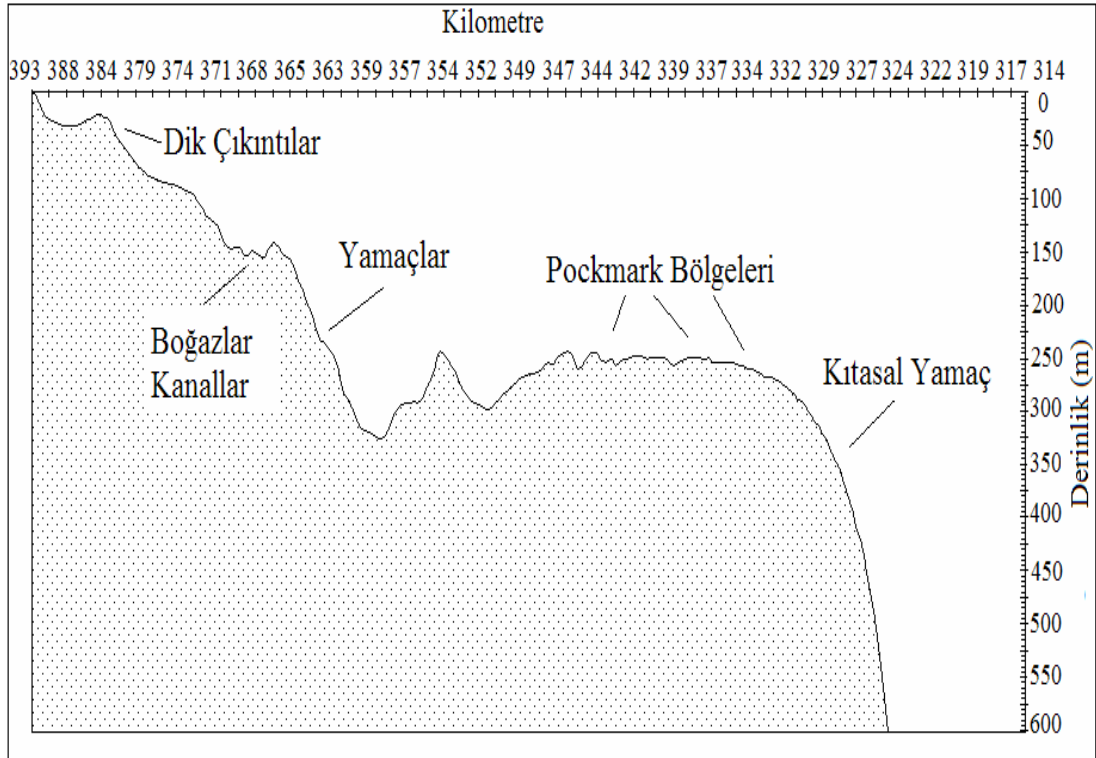
Yukarıda anlattığımız bütün jeofizik çalışmaların hepsi Rusya-Türkiye Mavi Akım doğal gaz boru hattı için uygulanmıştır. Şekil 2.12’de bu çalışmalar sonucu elde edilen boru hattı güzergahının batimetrik profilini görmekteyiz. Şekil 2.13’te Rusya kıyı şelfi ve abisal düzlüğe kadar olan kısmın batimetrik kesitini görmekteyiz. Şekil 2.14’te ise Türkiye kıyısından kıtasal yamaca kadar olan kısmın batimetrik profilini görmekteyiz.



Şekil 2.12 Mavi Akım doğal gaz boru hattı güzergahı boyunca batimetrik profil (Petergaz B.V., Vol. 4, 1998).

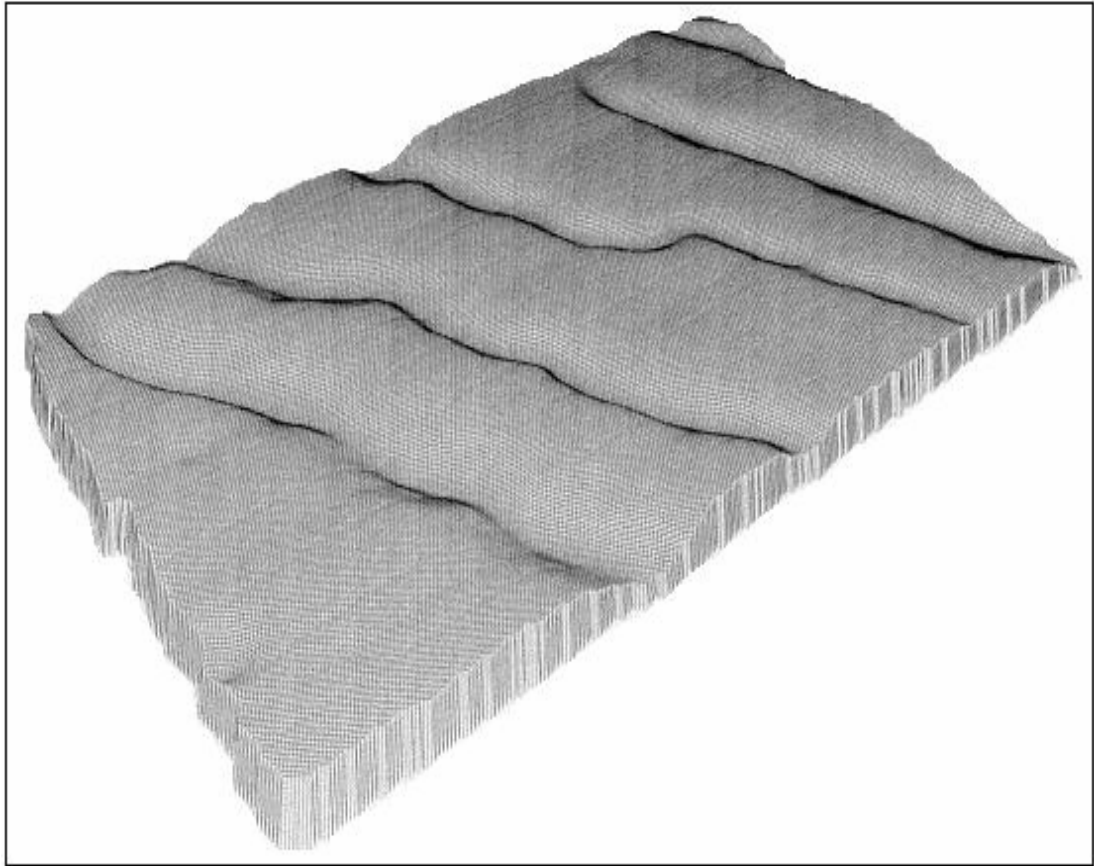


Şekil 2.13 Rusya kıyı şelfi bölgesi ve abisal düzlüğe kadar olan kısmın batimetrik profili (Petergaz B.V., Vol. 4, 1998).



Şekil 2.14 Türkiye kıyısından kıtasal yamaca kadar olan kısmın batimetrik profili (Petergaz B.V., Vol. 4, 1998).

Yapılan ayrıntılı çalışmalar sonucunda Rusya-Türkiye Mavi Akım doğal gaz boru hattı için batimetri haritaları çıkarılmış ve olası yer tehlikeleri ortaya konulmuştur. Abisal düzlükler üzerinde sürekli bir gaz çıkışının olduğu tortullar bulunmaktadır. Bu tortullar kaynayan tortullar olarak da adlandırılırlar. Türkiye şelf alanı sık gaz birikiminin fazla olduğu bir bölgedir. Bu sık gaz birikimleri tortulların dayanımını azaltmakta ve boru hattı için tehlike oluşturmaktadırlar. Bu bölgelerde deniz tabanına sızan metan bileşimli gazlar gaz çıkış yapıları oluştururlar. Bu gaz çıkış yapıları pockmark olarak adlandırılır. Mavi Akım boru hattı güzergahı boyunca özellikle Türkiye şelfinde çapları 10 m ile 30 m arasında değişen, pockmark adını verdiğimiz bu biyogenik ve hidrotermal gaz çıkış alanlarına rastlanmıştır. Türkiye yamacının üst kısmında bulunan yükselim yapısının kıyısı tarafında, enlemesine uzanan, 15 m derinlikte, 250 m ile 300 m genişlikte ve 2 km uzunlukta olan pockmark yapıları olduğu gözlenmiştir. (Çifçi, Dondurur ve Oral, 2002). Şekil 2.15’de bu pockmark yapılarına ait bir kesit görmekteyiz.



Şekil 2.15 Pockmark yapılarına ait bir kesit (Çifçi, Dondurur ve Oral, 2002).

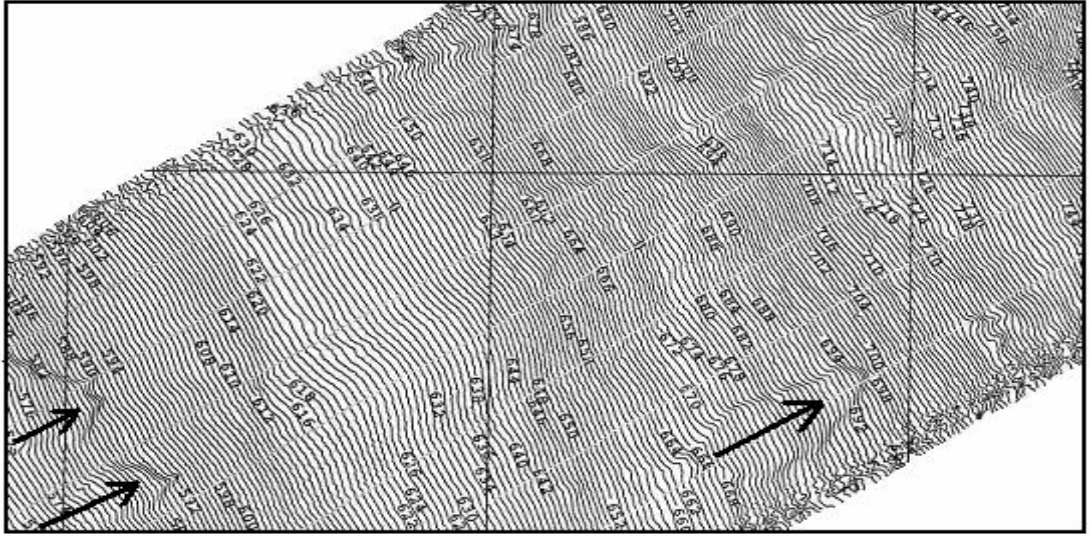
Boru hattı güzergahı için, dik kıta yamaçları, boruların altında oluşan açıklıklar, genellikle kıtasal yamaç bölgelerinde oluşan kaymalar, kopmalar, yamaçlarda kaymalara ve heyelanlara yol açan gaz hidrat birikimleri, sürüklenmeler ve akımlar, kanyonlarda oluşan yamaç kaymaları, her türlü faylanma ve yumuşak tortullar, şelf bölgelerinde gaz sızıntıları ve faylanmadan kaynaklanan tortulların duyarsızlaşması, gaz kaçırlarının meydana getirdiği kabarcık ve çöküntüler ve abisal düzlük bölgesinde yüzey tortullarının duyarsızlığı ve düşük taşıma kapasitesi deniz altı yer tehlikelerinin başında gelir. (Çifçi, Dondurur ve Ergün, 2002).

Boru hattı güzergahı boyunca boru hattına zarar verecek birçok tehlike yer alabilir. Olabilirlik çalışmaları sonrası bu olası yer tehlikeleri saptanır. Bu yer tehlikelerinin başında çok derin sularda veya delta alanlarında döşenmiş olan boru hatlarının çamur volkanlarından kaynaklanan çökmelere ve turbiditik akıntılara maruz kalması yer alır. (Çifçi, Dondurur ve Oral, 2002). Kıyıya yakın bölgelerde ise boru hattı yüksek hidrodinamik kuvvetlerin etkisi altında olabilir.

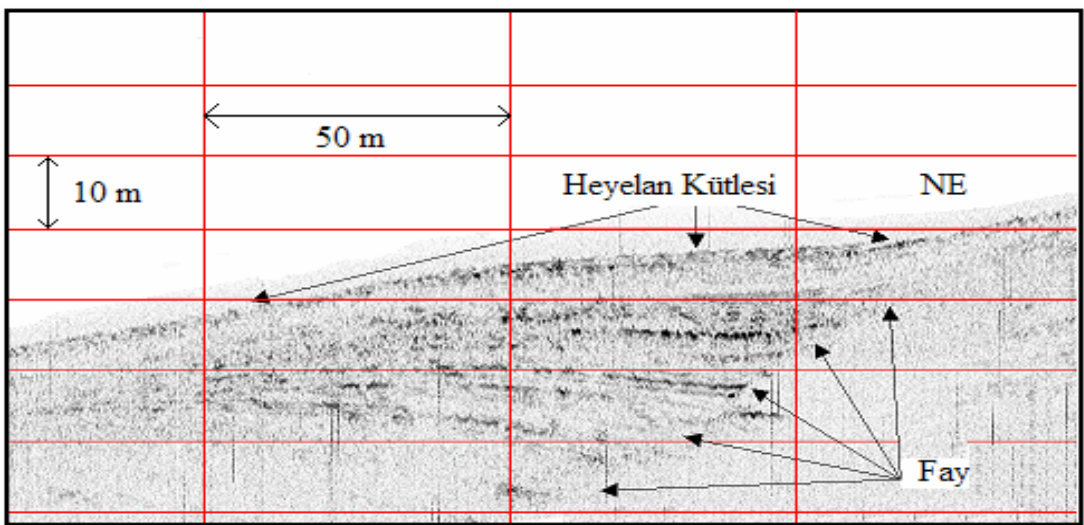
Boru hattının güzergahı faylanma ve aktif fay hatlarının durumuna bağlıdır. Heyelanlar ve kum kaymaları boru hattının stabilitesi açısından önemlidir. Ayrıca dik eğimli kompleks alanlarda boru hatları için önemli bir tehlikedir. Boru hatlarını mümkün olduğunca buralardan geçirmemeliyiz.

Bu tehlikelerden en önemlileri düşme, sürüklenme ve kayma olaylarıdır. Deniz dibi düşme ve sürüklenmeleri esasen 2 dereceden fazla eğime sahip dik yamaçların olduğu alanlarda ortaya çıkar. Düşme esnasında bir sediment kütlesi bir deniz dibi eğiminden kopar ve yokuş aşağı hareket eder. Sürüklenme sedimentin yerçekimine karşı koyamayıp yamaçtan aşağı doğru görülemeyen fakat sürekli bir hareketidir. Bu sürüklenme olayı, içerisinde dahili ve kalıcı bir deformasyon olan viskoz bir akış şeklidir. Sürüklenme olayında toprak kohezyonunu ve sürekli gerilime karşı direnç gösterme kabiliyetini kaybeder. (Petergaz B.V., Vol. 4, 1998). Kaymada ani bir sediment hareketi söz konusu iken, sürüklenme yerçekimi etkisi nedeni ile sürekli bir kayma şeklinde oluşmaktadır. (Çifçi, Dondurur ve Oral, 2002). Şekil 2.16'da Mavi Akım boru hattı projesi kapsamında yapılan çalışmalarda elde edilen

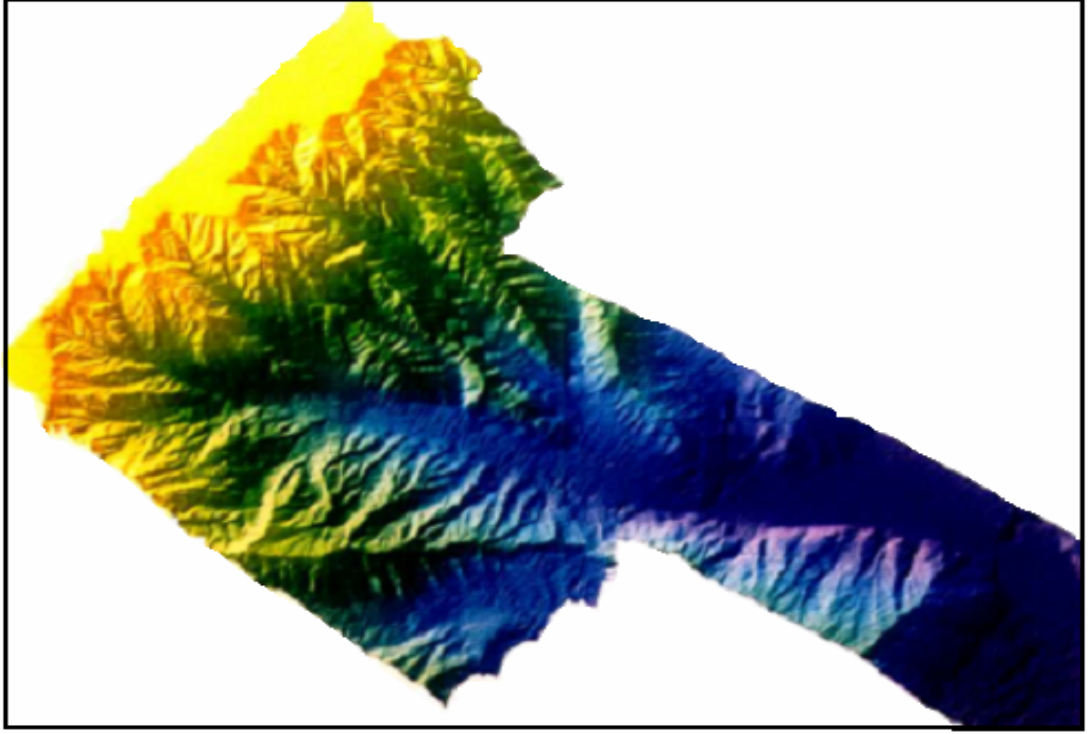
kayma ve akma yapılarını gösteren bir echosounder haritası görmekteyiz. Şekil 2.17’de ise Türkiye yamacında meydana gelen ve bir tortul yer değiştirmesini gösteren subottom profiler haritasını görmekteyiz. Bu kayma ve sürüklenme ve yer değiştirme olayları, kıtasal yamaç bölgelerinde tekrarlanan turbiditik akıntılardan dolayı gelişmiş olan kanyon duvarları üzerinde de etkili olmaktadır. Şekil 2.18’de Rusya kıtasal yamacından elde edilen ve iyi gelişmiş bir kanyon sistemini gösteren bir echosounder verisi görülmektedir.



Şekil 2.16 Karadeniz’deki kayma ve akma yapılarını gösteren echosounder haritası (Çifçi, Dondurur ve Oral, 2002).



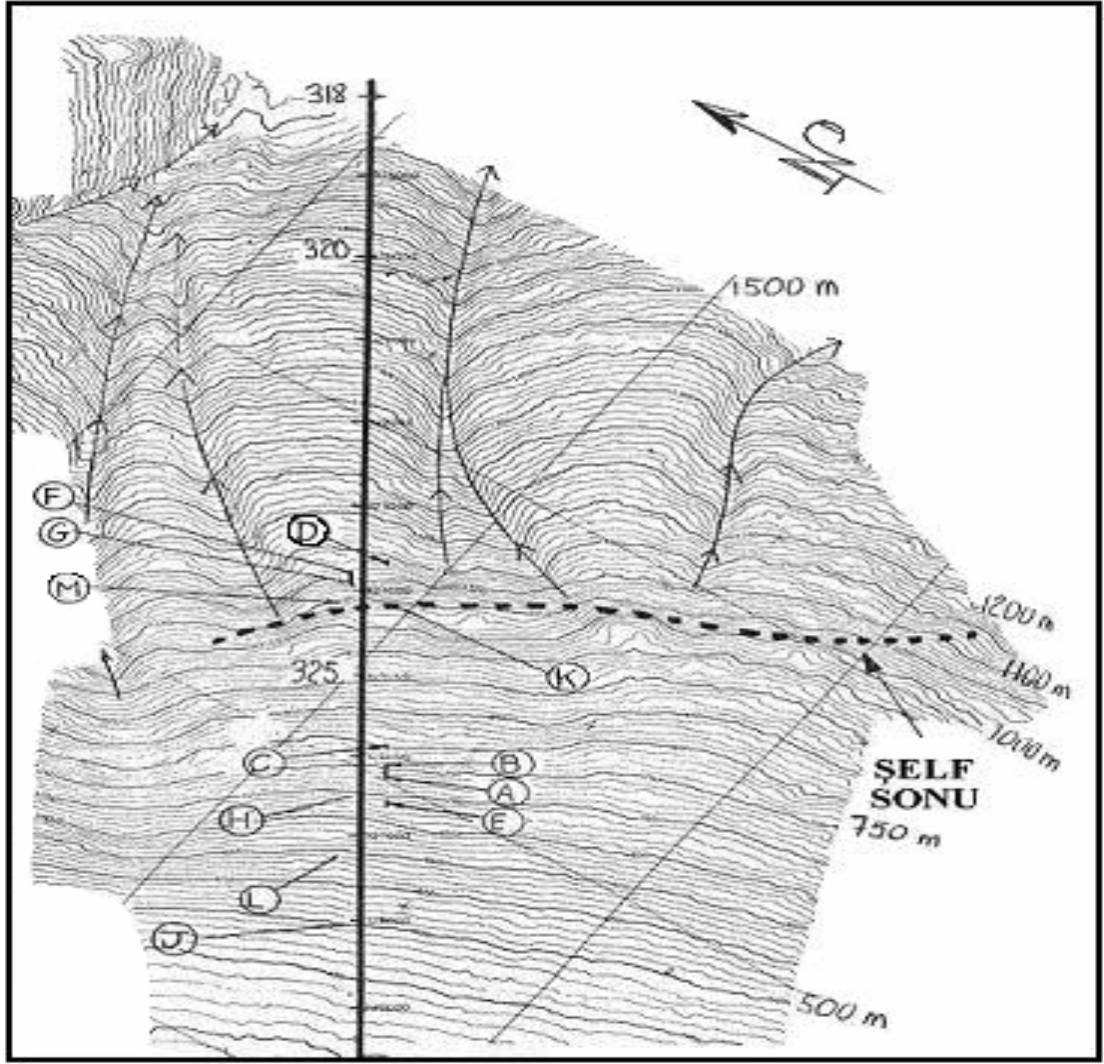
Şekil 2.17 Türkiye yamacında meydana gelen bir tortul ve bu tortulun yer değiştirmesini gösteren subottom profiler haritası (Çifçi, Ergün ve Dondurur, 2000).



Şekil 2.18 Rusya kıtasal yamacından elde edilen ve bir kanyon sistemini gösteren echosounder haritası (Çifçi, Dondurur ve Oral, 2002).

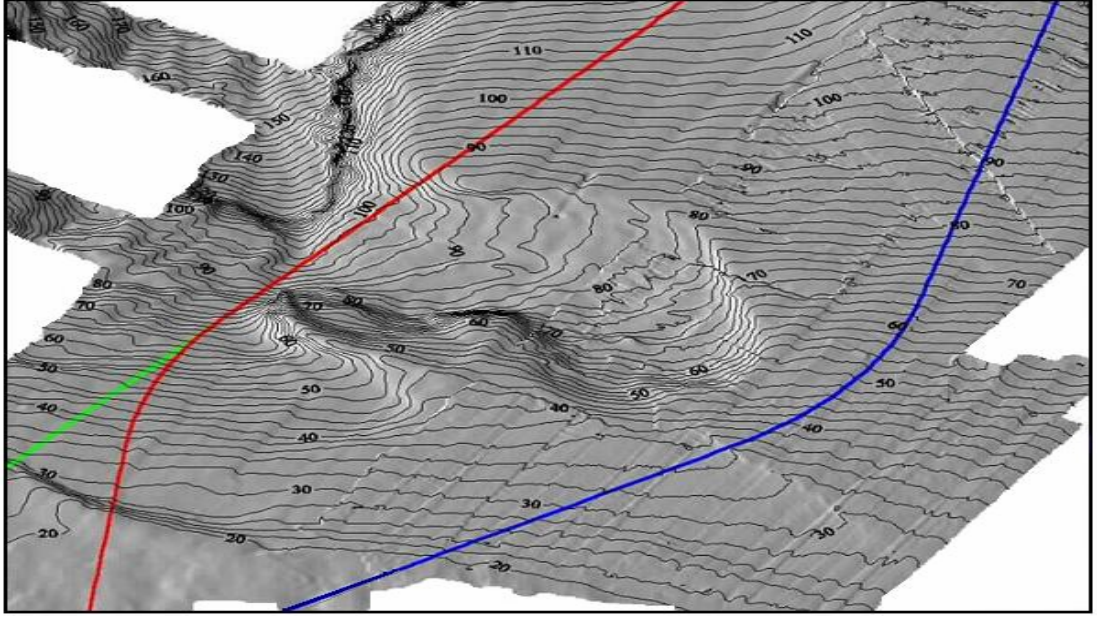
Kayma ve sürüklenmeye bağlı olarak boru hattına zarar verebilecek bir tehlikede tortul taşınım kanallarıdır. Şekil 2.19'da şelf kenarından kıtasal yamaca geçişi gösteren batimetrik bir harita görmektedir. Bu batimetrik haritada tortul taşınım kanalları açıkça görülmektedir.

Diğer bir tipik tehlike ise çukurlar ve çöküntü alanlarıdır. Bu çukurlar, sıvıların deniz dibindeki yavaş hareketi sonucu sedimentlerde ortaya çıkan çukurlardır. Tortulların dayanımını azaltan sıkı gaz birikimleri de boru hattını tehdit eden tehlikelerdir. Bu alanlarda deniz tabanına sızan gazlar , pockmark adı verilen gaz çıkış yapılarını oluştururlar. Bu gaz kaçışları çöküntülere neden olurlar. Aktif çukurlar ve çöküntü alanları üzerine boru hatları döşemekten kaçınılmalıdır. Şekil 2.20'de Türkiye şelfindeki geniş çöküntü alanının echosounder batimetri haritasını görmektedir. Çünkü gaz çıkışı tehlikeli olabilir. Hareketsiz olduğu düşünülen çukurlar boru hattının sadece çukur etrafında yayılmasına sebep olur. Çukurların yan duvarları özellikle eni oluşmuş olanlar, dik ve hareketli olabilir. Bu yüzden boru hattını çukurlar üzerinden geçirmemeliyiz. (Petergaz B.V., Vol. 4, 1998).



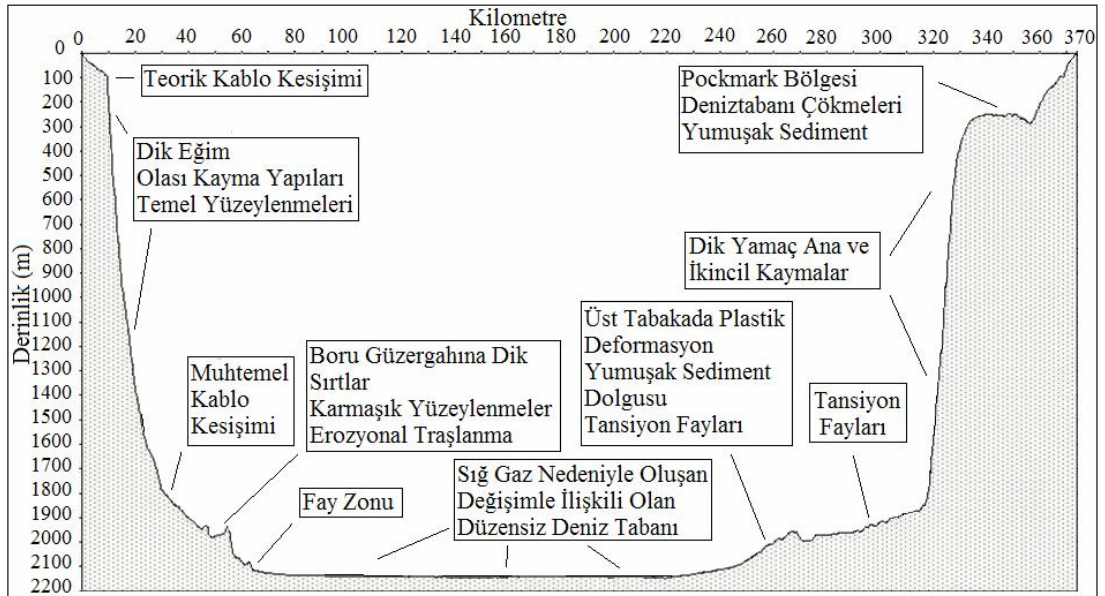
Şekil 2.19 Şelf kenarından kıtasal yamaca geçişi gösteren harita (Çifçi, Dondurur ve Oral, 2002).

Deniz suyunun şelften aşağı doğru akmasından dolayı taşınım olayı meydana gelir. Ancak bu koşulları belirlemek kolay değildir ve birbirlerine bağlı olabilirler. Mavi Akım boru hattı güzergahının geçtiği kıtasal yamaç bölgelerindeki taşınım olayı bölgedeki şelf topoğrafyasına, zamana ve yere bağlı olarak değişmektedir. Turbiditik akıntılarda boru hatları için tehlike yaratabilir. Turbiditik akıntıları yerçekimi etkisiyle dengesiz tortullardaki kayma ve ortamda bulunan asılı olarak tabir edilen tortulların hareketiyle oluşurlar. Bu akıntılar ilk kez deniz altı kablolarını koparmalarıyla fark edilmişlerdir. (Çifçi, Dondurur ve Oral, 2002). Turbiditik akıntılarının hızları bazen yamaç aşağı 90 km/s 'i bulmaktadır. (Çifçi, Dondurur ve Ergün, 2002). Bu yüzden boru hatları için tehlike oluşturmaktadırlar.



Şekil 2.20 Türkiye şelfindeki geniş çöküntü alanlarını gösteren echosounder batimetri haritası (Çifçi, Ergün ve Dondurur, 2000).

Yapılan ayrıntılı çalışmalar sonucunda Rusya - Türkiye Mavi Akım doğal boru hattı projesi için olası yer tehlikeleri ortaya çıkarılmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda en uygun boru hattı güzergahı önerilmiştir. Şekil 2.21'de Mavi Akım boru hattı güzergahı boyunca olası yer tehlikeleri gösterilmektedir.



Şekil 2.21 Mavi Akım boru hattı güzergahı boyunca olası yer tehlikeleri (Çifçi, Ergün ve Dondurur, 2000).

2.2.3 Jeoteknik Çalışmalar

Denizaltı boru hatları inşası öncesi yapılan olabilirlik çalışmaları kapsamında önemli bir çalışma da jeoteknik çalışmalardır. Yapılan jeoteknik çalışmalar içerisinde birçok örnekleme, deney ve test yapılmaktadır. Bu jeoteknik çalışmalar içerisinde yerinde yer penetrasyon deneyleri, kesme deneyleri, zemin ve sediment örneklemeleri belirli noktalarda boru hattı döşeme testleri, yer almaktadır. (Çifçi, Dondurur ve Oral, 2002). Ayrıca ROV adı verilen robotla yapılan grab örnekleme sayesinde jeoteknik çalışmalar ve analiz için deniz tabanından kayaç örnekleri alınmaktadır.

Mavi Akım projesi, boru hattının döşeneceği su derinliği açısından önemli bir projedir. Bu yüzden bu projede inşa öncesi yapılan olabilirlik çalışmaları ayrı bir önem taşımaktadır. Yapılan bu jeoteknik çalışmalar denizaltı boru hattı inşaatı öncesi yapılan çalışmaların önemli bir basamağını oluşturmaktadır. Çünkü bu çalışmalar, deneyler, testler, araştırmalar, örneklemeler ve yedi noktada yapılan boru yerleştirme testleri sayesinde boru hattının döşeneceği koridor boyunca zeminin jeolojik özellikleri hakkında bilgi ve değerler elde edebiliriz.

Jeoteknik çalışmaların içerisinde sedimantolojik çalışmalar yani zemin örneklemeleri de yapılmaktadır. Bu sedimantolojik çalışmalar kapsamında, boru hattı güzergahı boyunca Grab Sampler, Gravity Core, Mega Core, Piston Core ve ROV Sampler kullanılarak deniz tabanı örneklemeleri yapılmıştır. Yukarıda saydığımız bu sistemler kullanılarak boru hattı güzergahı boyunca yapılan deniz tabanı örneklemelerindeki asıl amaç, deniz tabanı tortullarını sınıflandırmak, sınıflandırılan bu tortulların jeoteknik durumlarını belirlemek ve daha önceden yapılmış olan jeofizik çalışmalarda kullandığımız yanal tarama sonarı ve subbottom profiler sistemlerinden elde ettiğimiz verilerin yorumunu kolaylaştırmak ve çöküntü alanlarındaki yüzey tortullarının veya kayaçlarının çökme olasılığını belirlemektir. Ayrıca yapılan jeofizik ve jeoteknik çalışmalardan elde ettiğimiz bilgileri karşılaştırarak daha kesin bilgilere ulaşabiliriz. Boru hattı döşenmesi esnasında karşılaştığımız olası yer

tehlikelerini daha önceden tanımlamış oluruz. Bu sayede uygulanan proje daha sağlıklı yürütülmüş olur.

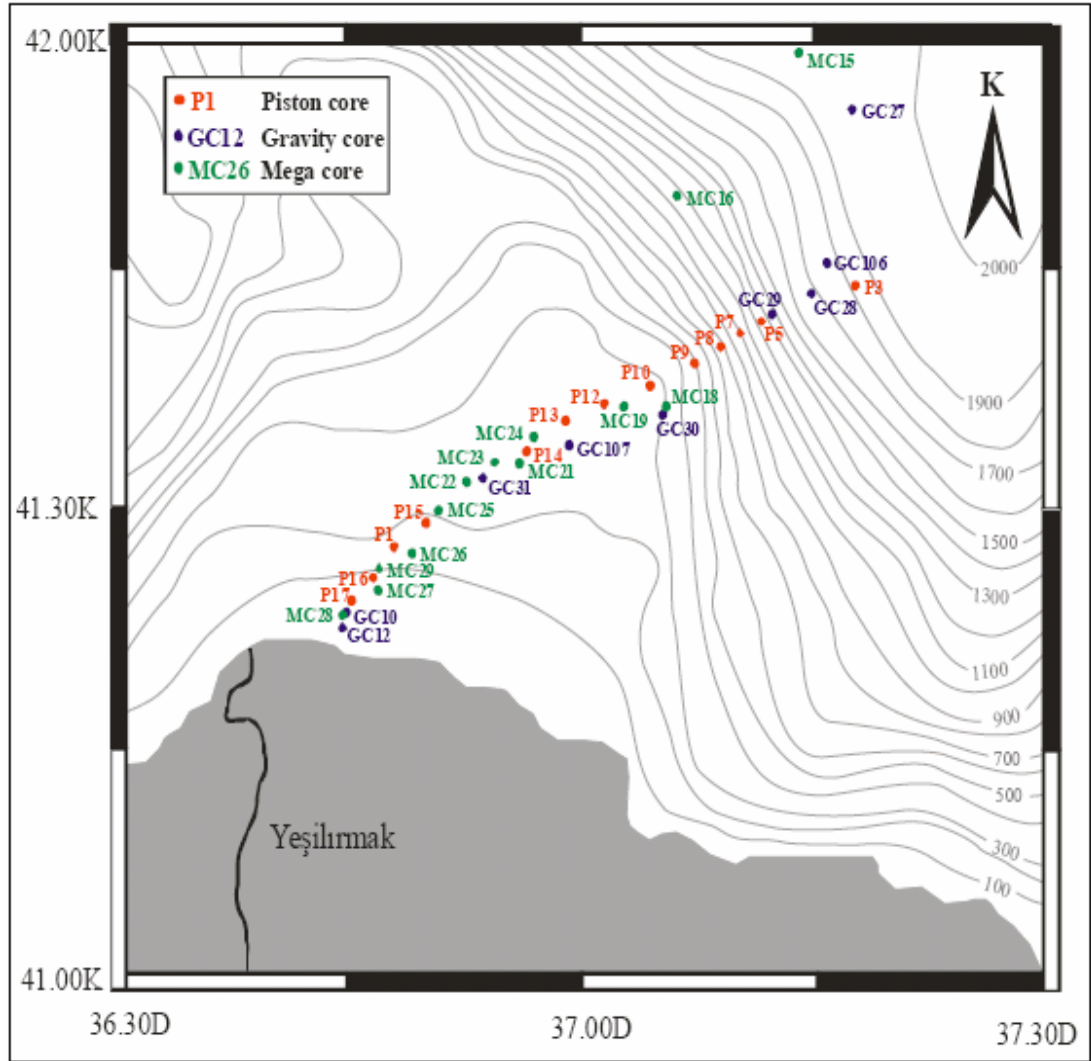
Jeoteknik çalışmalar kapsamında yapılan sedimantolojik örneklemeler yapılırken çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Mega Core yöntemi bunlardan bir tanesidir. Mega Corer yönteminde sediment örneklemeleri yapılırken bir çeşit plastik tüp kullanılır. Bu tüpe bağlı bir açılır-kapanır kapak bulunmaktadır. Bu plastik tüp sediment örnekleme yapmak için kuvvet kullanılarak deniz tabanına batırılır. Sediment örneği tüpün içine alındıktan sonra yaylı bir sisteme sahip olan kapak kapanır. Bu kapak tüpün en alt kısmında bulunur. Bu kapağın kapanmasıyla alınan sediment örneğinin dışarı çıkması önlenmektedir. Böylece sediment örneği bozulmadan alınmış olur. (Petergaz B.V., Vol. 1, 1998).

Sediment ve zemin örneklemelerinde uygulanan ikinci yöntem ise Grab Sampler yöntemidir. Mavi Akım projesinde Türkiye ve Rusya'nın kıyıya yakın kısımlarında bu yöntemle zemin örneklemeleri yapılmıştır. Bu yöntemde örnekleyici deniz dibine doğru indirilir. Örnekleyici deniz tabanına yaklaştıkça grab mekanizması açılır. Örneklemeye yapılacak deniz tabanındaki noktaya ulaşıldığında kapak açılır ve ağırlık serbest bırakılır. Ağırlık bırakıldıktan sonra zemin örneği alınır ayrıca bu şekilde örnekleyici deniz tabanından 10 cm yukarıdan itibaren düzgün ve bozulmamış bir şekilde karot numunesini alır. Bu alınan karot numunesi plastik bir koruyucu içinde testlerin ve deneylerin yapılması için saklanır. (Petergaz B.V., Vol. 1, 1998).

Mavi Akım projesinde kullanılan diğer bir örnekleme yöntemi de Gravity Core yöntemidir. Mavi Akım projesi esnasında boru hattı güzergahı boyunca Karadeniz'de Gravity Corer yöntemiyle 5m uzunluğunda ve 147 mm çapında olan sediment örnekleri alınmıştır. (Petergaz B.V., Vol. 1, 1998). Aynı operasyonlar ve prosedürler izlenerek Türkiye ve Rusya kıyılarındaki incelemelerde de aynı örneklemeler yapılmıştır. Bu yöntemlerin sonuncusu Rov Sampler yöntemidir. ROV grab örnekleme sayesinde jeoteknik analiz için deniz tabanından kayaç örnekleri alınmaktadır. Geçici örnekleyici ve depolama yeri sistemi gemin içinde imal edilmiş durumdadır. Alınan örnekleri ayrı tutmak için de alınan her bir örneğin yeri

ve derinliği kayıt edilmiştir. Bu sayede her dalış esnasında yerle ve derinlikler kaydedilmiş olmaktadır.

Yukarıda anlattığımız yöntemleri kullanarak Karadeniz’de boru hattı güzergahı boyunca zemin örneklemeleri yapılmıştır. Aşağıdaki resimde ise Türkiye kıyı şelfinde yapılan sediment örneklemeleri ve yerleri görülmektedir. Şekil 2.22’de görüldüğü gibi kıyıdan başlayarak 2000 m su derinliğine kadar bütün koridor hattı boyunca tüm örnekleme yöntemleri uygulanarak sediment örnekleme yapılmıştır. Bu da bize bir boru hattı projesinde jeoteknik çalışmalar kapsamında sediment örneklemelerinin ne kadar önemli olduğunu gösteriyor.



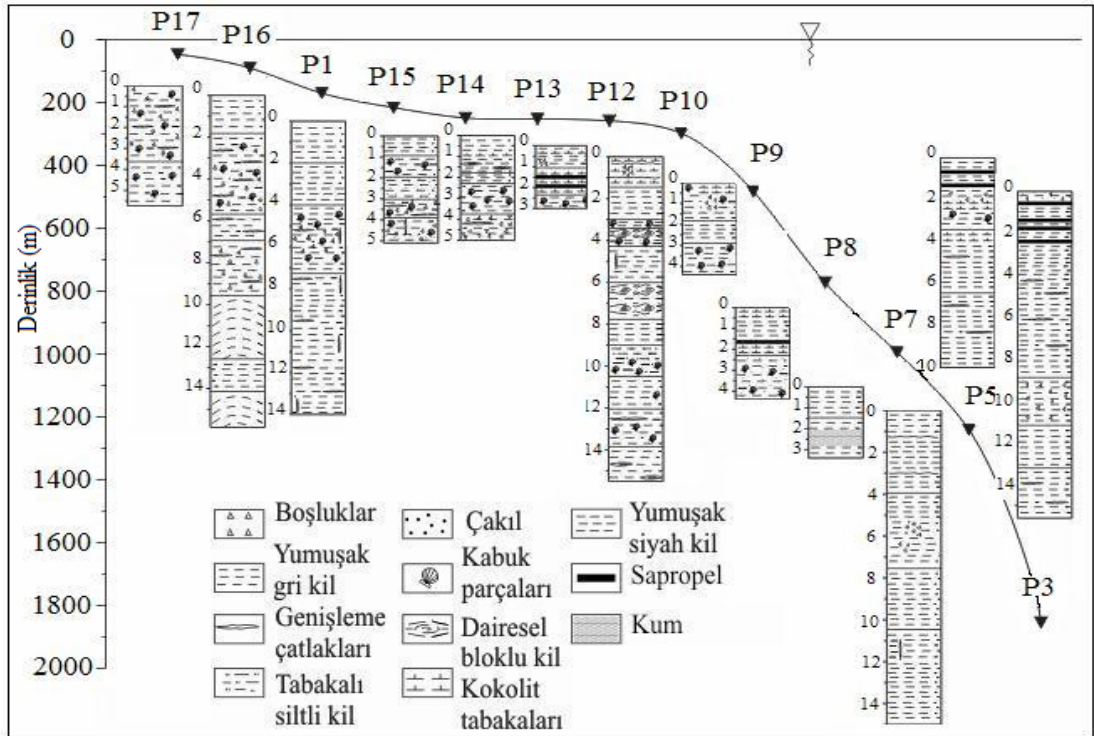
Şekil 2.22 Boru hattı koridoru boyunca zemin örneklemelerinin yapıldığı kimi noktalar (Petergaz B.V., Vol. 1, 1998).

Mavi Akım boru hattı güzergahı boyunca yapılan zemin örnekleme bize koridor boyunca deniz tabanı jeolojisi hakkında bilgi verir. Proje çerçevesinde örnekleme yapılan noktalardaki deniz tabanının jeolojik özellikleri belirlenmiştir. Tablo 2.3'te Mega Core ve Gravite Core ile alınan tortul örneklerinin tanımlamaları verilmektedir.

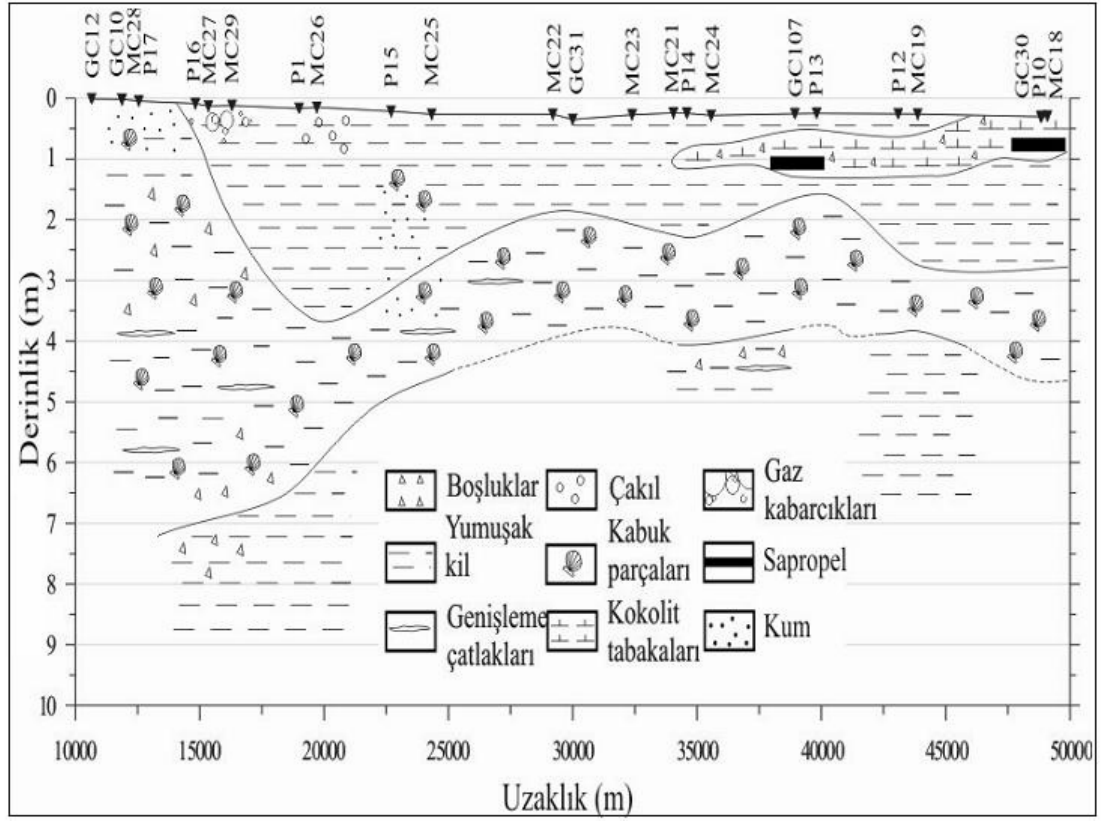
Tablo 2.3 Tortul örneklerinin tanımları (Petergaz B.V., Vol. 1, 1998).

Core	Uzunluk (cm)	Derinlik (m)	Örnek Tanımı
GC 10	10	18,4	Kum, kabuk parçaları, kumlu yumuşak kil, ince daneli kum tabakalanmaları, organik madde.
GC 12	10	11,6	Kum ve kabuk parçaları.
GC 27	380	1941	Çok yumuşak kil, sapropel, organik madde, silt.
GC 28	375	1873	Çok yumuşak kil, sapropel.
GC 29	415	1400	Çok yumuşak ve hidrolize kil.
GC 30	425	305	Çok yumuşak kil, sapropel.
GC 31	425	350	Çok yumuşak kil, sapropel, ağaç parçacıkları, organik madde.
GC106	275	1868	Çok yumuşak plastik kil ve kokolit (turbidite), 2.35-3 m arasında kum ardalanmaları.
GC107	300	257	Çok yumuşak plastik kil, çok yumuşak siyah kil.
MC15	70	1984	Ana yapı likidden likid plastiğe değişen gri killi çamur, 1-5 cm kalınlığa sahip turbidite tabakaları.
MC16	60	1492	Turbidite şeklinde likidden likid plastiğe çok ince tabakalı kokolitik ooze.
MC18	45	303	Çok yumuşak plastik kil ve kokolit (turbidite).
MC19	60	262	Likid plastikten yumuşak plastiğe değişen gri killi tabakalı çamur.
MC21	60	244	Çok ince bitki artığı tabakaları içeren gri killi çamur, üstte likid altta plastik eğimli tabakalı kil.
MC22	60	263	Üstte likid altta yumuşak plastik haline gelen gri killi çamur.
MC23	60	275	Silt boyutunda taneler içeren gri killi çamur, kayma veya akma sonucu katlanmış tabakalı gri killi çamur.
MC24	50	284	Altta tabakalı yumuşak plastik haline gelen likid plastik gri kil, kayma sonucu katlanmış tabakalı killi çamur.
MC25	60	263	Çok yumuşak plastik gri killi çamur, hidrotroilit.
MC26	40	151	Yüzeyde iyi ve orta taneli çakıl, çok yumuşak tabakalı siyah kil ve kabuk artıkları.
MC27	40	80	Çok yumuşak plastik kil, gri-killi yumuşak plastik çamur, hidrotroilit girişimleri.
MC28	40	19	Gri-kahverengi orta ve seyrek taneli kum ve kabuk artıkları.
MC29	50	122	Gri killi çamur, çok yumuşak likid plastik kil, %2-5 oranında gaz kabarcık boşlukları.

Şekil 2.22'deki haritaya baktığımızda Türkiye şelfinde boru hattı güzergahı üzerinde koridor boyunca çeşitli noktalarda yapılan zemin örneklemeleri ve bu örneklemelerin hangi yöntemlerle yapıldığını görmekteyiz. Harita üzerinde P harfi ile belirtilen noktalarda piston core yöntemiyle zemin örnekleme yapılmıştır. Şekil 2.23'te piston core örnekleme yapılan noktanın derinliği, alınan karot numunesinin boyu ve numune kesitinin içeriği görülmektedir. Örneğin P16 noktasına bakalım. Piston core 16 noktasındaki su derinliği 1250 m civarındadır. Piston core yöntemiyle alınan karot numunesinin boyu ise yaklaşık 15 m uzunluğundadır. Şekil 2.24'te ise boru hattı güzergahı boyunca tüm core verilerinden elde edilmiş olan Türkiye şelf alanı sığ core kesitini görmekteyiz. Buradaki kesit her noktada alınan karot numunelerine göre çıkarılmıştır. Grafikte görünen 0 m derinlik deniz tabanını göstermektedir. Derinlik 10 m'ye kadar artmaktadır. Bu da bize her noktada karot boyu 10 m'yi bulan zemin örneklemelerinin yapıldığını gösterir. Bu örneklemeler ve çalışmalar sonucu çıkarılan grafikler sayesinde boru hattının temas edeceği zemin hakkında bilgi ediniriz ve karşılaşacağımız tehlikeleri daha önceden tanırız. Şekil 2.25 'de boru hattı güzergahı üzerinden alınan bir karot numunesi görmekteyiz.



Şekil 2.23 Piston core yöntemi ile zemin örnekleme yapılan noktalar ve özellikleri (Petergaz B.V., Vol. 1,1998).



Şekil 2.24 Zemin örneklemelerinden sonra ortaya çıkan Türkiye şelf alanı sıg core kesiti (Petergaz B.V., Vol. 1, 1998).

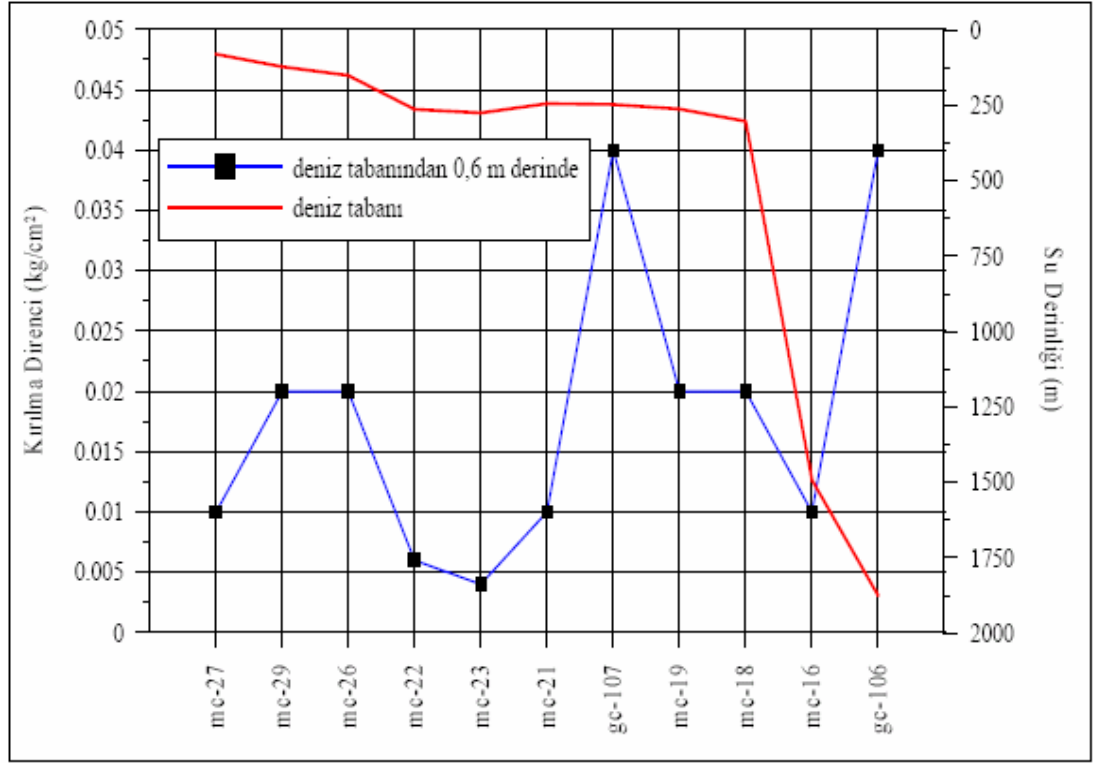


Şekil 2.25 Karadeniz'den alınmış karot numuneleri ve bunların incelenmesi (Çifçi, Ergün ve Dondurur, 2000).

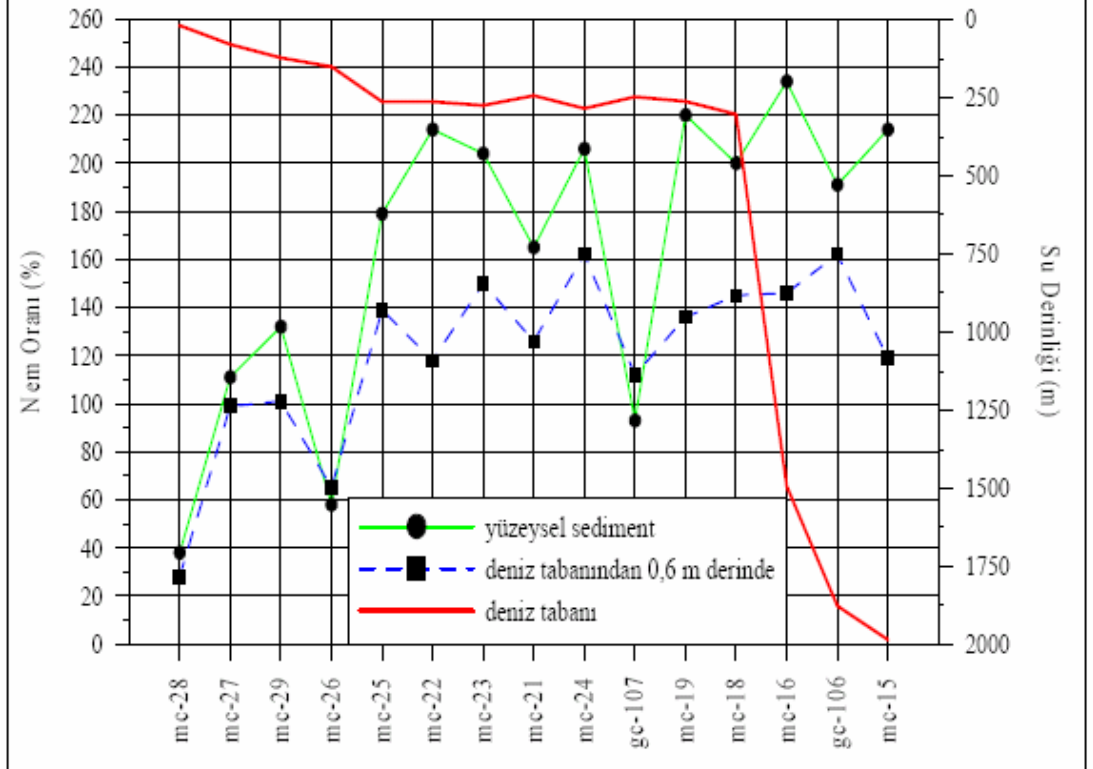
Tablo 2.4'te Mavi Akım projesi sırasında Türkiye kıyı bölgesinde yapılan bazı mega core ve gravity core örneklemelerine ait bilgiler görmektedir. Bu tablolarda ilk kolondan başlayarak yapılan örneklemelerin isimlerini görülmektedir. Örneğin mc1, mega core 1, gc101 ise gravity core 1 anlamına gelmektedir. Tablolarda bu örneklemelerin boru hattının kaçınıcı kilometresinde yapıldığı da gösterilmektedir. Daha sonrada tabloda zemine ve sediment örneklerine ait değerler görülmektedir. Bunlar numunenin kırılma direnci, su ve nem içeriği, yaş ve kuru yoğunluğu son olarakta porozite yani boşluk oranı değerleridir. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta vardır. Tabloda üçüncü sütunda 0 m ve 0,6 m olmak üzere iki değer görülmektedir. Sıfır metrede okunan değerler deniz tabanındaki değerleri göstermektedir. 0,6 metreye karşılık gelen değerler ise deniz tabanından 0,6 m derindeki değerlerdir. Bazı örneklemelerde bu ölçümlerin daha detaylı yapılması için değişik derinliklerde okunmuştur. Değerler her örnek numune için ölçülmüştür. Bu sayede boru hattı koridorunun jeotekniği ve zeminin kimyasal yapısı yoğunluğu gibi boru hattını birebir etkileyecek özellikler hakkında detaylı bilgilere ulaşılmıştır. Biz elimizdeki bu detaylı ölçümlere dayanarak ve bu değerleri kullanarak bazı grafikler çıkarabiliriz. Örneğin Şekil 2.26'da mc27 ' den gc106 'ya kadar olan örneklerdeki kırılma dirençlerinin derinliğe göre değişimi gösterilmiştir. Kırılma direnci hem deniz tabanında hem deniz tabanının 0,6 m derininde ölçülmüştür. Grafiğe bakacak olursak , mc21 (mega core 21) noktasında yapılan örneklemeye sonucu deniz tabanında kırılma direnci $0,044 \text{ kg/cm}^2$ iken deniz tabanının 0,6 m derininde ise $0,01 \text{ kg/cm}^2$ değerine ulaşmıştır. Bu grafikler sadece kırılma direnci için değil örneklemeye sonucu ölçülmüş tüm kriterler için çizilebilir. Şekil 2.27'de nem oranının, şekil 2.28'de porozitenin ve son olarakta şekil 2.29'da yaş yoğunluk değerlerinin mc-28 ve mc-15 noktaları arasında deniz derinliğine göre değişimi görülmektedir. Burada hem deniz dibinde hem de deniz dibinin 0,6 m altında ölçümler yapılmıştır. Mavi Akım boru hattı projesinde tablo 2.4'te görülen değerler için grafikler çıkarılmıştır. Bu grafikler ve ölçülen değerler sayesinde zeminin jeolojisi hakkında daha iyi yorum yapabiliriz. Sonuç olarak yapılan bu örneklemeler bir boru hattı projesi için büyük önem taşımaktadır. Bu örneklemeler ve bu ölçümler ne kadar iyi ve detaylı yapılır ve ne kadar iyi yorumlanırsa boru hattının döşenmesi ve döşendikten sonra yapılacak olan bakım işlemleri o kadar sorunsuz geçer.

Tablo 2.4 Yapılan zemin örneklemelerinde ölçülen parametreler ve değerleri (Petergaz B.V., Vol. 5, 1998).

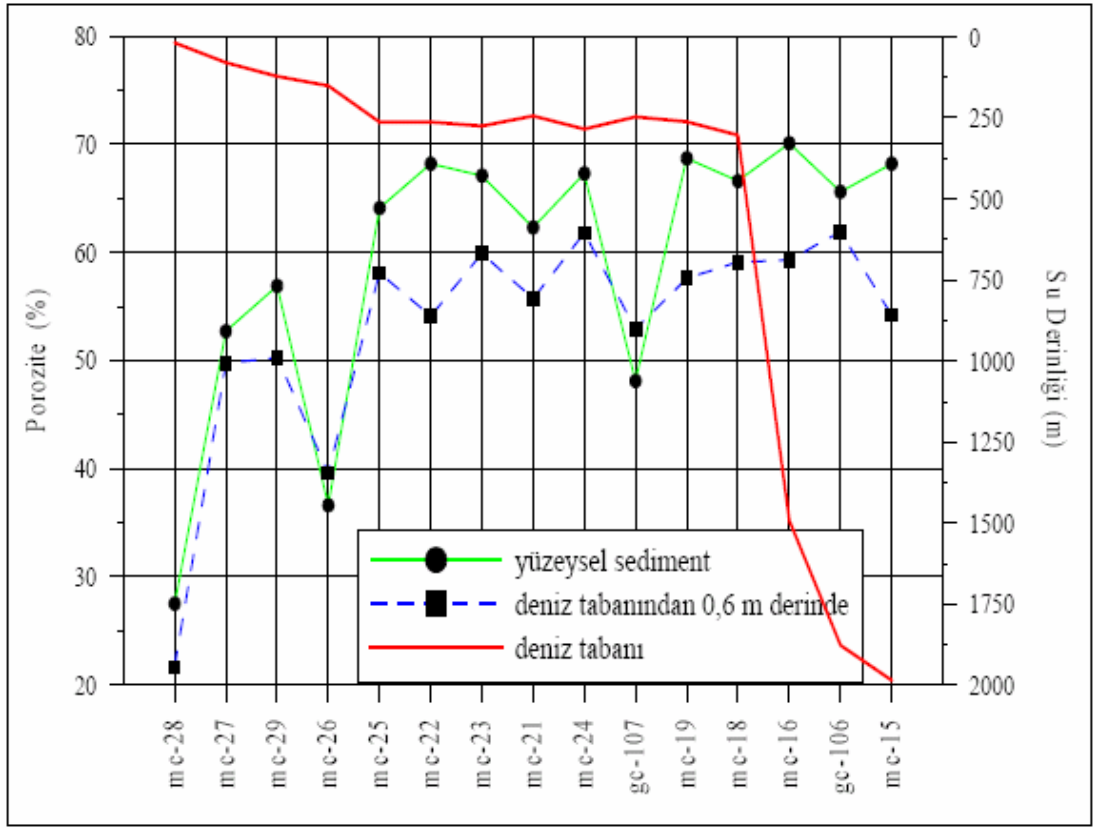
Yer	Horizon (m)	Kayma Direnci (g/cm ²)	Penetr. g/cm ²	Su İçeriği (%)	Nem İçeriği (%)	Yaş Yoğunluk (g/cm ³)	Kuru Yoğunluk (g/cm ³)	porosite %
mc-15	0			68	214	1,3	0,4	68,2
	0,2			68	216	1,2	0,4	68,3
	0,7			54	119	1,4	0,7	54,2
mc-16	0	0,013		70	234	1,2	0,4	70,1
	0,6	0,010	58,00	59	146	1,4	0,6	59,3
gc-106	0			66	191	1,3	0,4	65,6
	0,65	0,040	104,00	62	162	1,3	0,5	61,9
	1,5	0,040	104,00	58	140	1,4	0,6	58,3
	2,25	0,090	36,00	60	149	1,3	0,5	59,9
	2,75	0,050	104,00	58	136	1,4	0,6	57,6
mc-18	0	0,042		67	200	1,3	0,4	66,6
	0,45	0,020		59	145	1,4	0,6	59,1
mc-19	0	0,043		69	220	1,3	0,4	68,7
	0,6	0,020		58	136	1,4	0,6	57,6
gc-107	0	0,044		48	93	1,3	0,7	48,1
	1	0,040	104,00	53	112	1,5	0,7	52,9
	2,6	0,050	233,00	42	72	1,6	0,9	41,8
	3	0,060	131,00	49	94	1,4	0,7	48,5
mc-21	0	0,044		62	165	1,3	0,5	62,3
	0,6	0,010	58,00	56	126	1,4	0,6	55,7
mc-22	0	0,043		68	214	1,2	0,4	68,2
	0,6	0,006	50,00	54	118	1,4	0,6	54,1
mc-23	0	0,043		67	204	1,3	0,4	67,1
	0,6	0,004	58,00	60	150	1,4	0,5	59,9
mc-24	0			67	206	1,3	0,4	67,3
	0,5			62	162	1,3	0,5	61,8
mc-25	0			64	179	1,3	0,5	64,1
	0,6			58	139	1,4	0,6	58,1
mc-26	0	0,010	84,00	37	58	1,7	1,1	36,6
	0,4	0,020	50,00	40	65	1,6	1,0	39,6
mc-27	0	0,047		53	111	1,4	0,7	52,7
	0,4	0,010	50,00	50	99	1,5	0,7	49,7
mc-28	0			27	38	2,1	1,5	27,5
	0,4			22	28	1,8	1,4	21,6
mc-29	0	0,046		57	132	1,4	0,6	56,9
	0,5	0,020		50	101	1,5	0,7	50,3



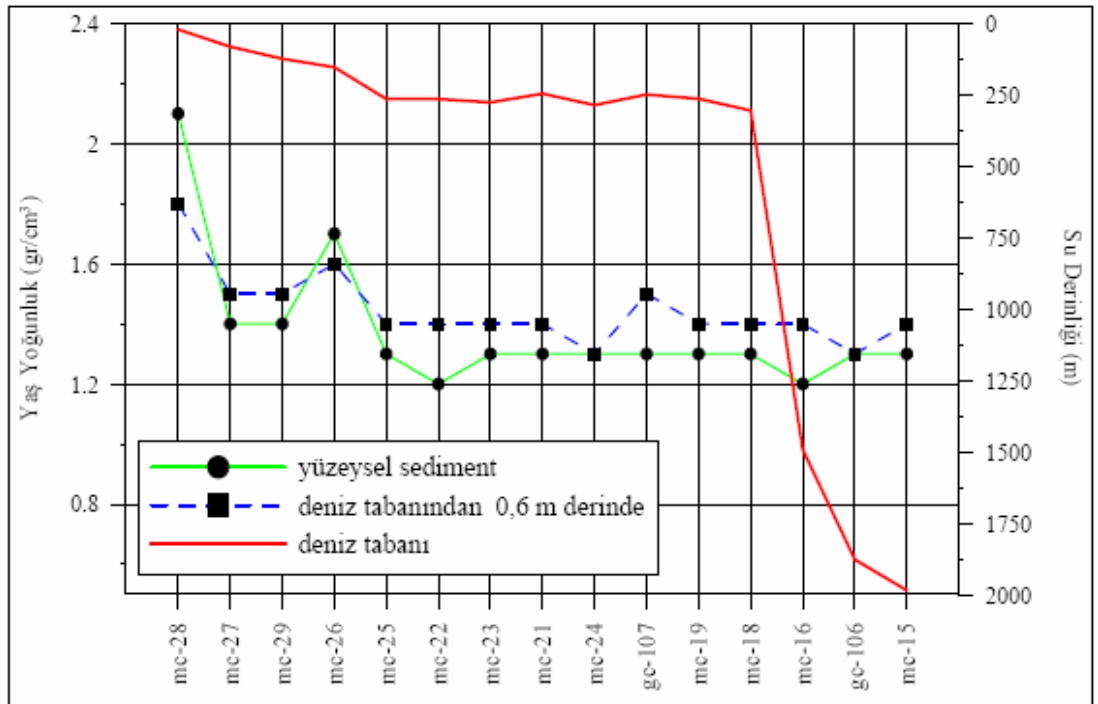
Şekil 2.26 Kırılma direnci değerlerinin deniz suyu derinliğine göre değişimi



Şekil 2.27 Nem oranı değerlerinin deniz suyu derinliğine göre değişimi



Şekil 2.28 Porozite değerlerinin deniz suyu derinliğine derinliğe göre değişimi



Şekil 2.29 Yaş yoğunluğun değerlerinin deniz suyu derinliğine derinliğe göre değişimi

Mavi Akım doğal gaz boru hattı projesinde yapılan ayrıntılı çalışmalar sonucu ortaya çıkan grafikler bize o bölgenin jeolojisi hakkında bilgi verir. Örnek verecek olursak kırılma direncinin derinliğe ve noktaların yerlerine göre değişimini gösteren şekil 2.26'da mc22 noktasına baktığımızda kırılma direncinin deniz tabanında $0,043 \text{ kg/cm}^2$ ve deniz tabanından 0,6 m aşağıda $0,006 \text{ kg/cm}^2$ olduğunu görüyoruz. Tüm core verilerinin kullanılmasıyla elde edilmiş olan Türkiye şelf alanı sığ core kesitine bakarsak mc22 noktasının altında derinliği yaklaşık 2 m'yi bulan bir yumuşak kil tabakası olduğunu görürüz. Deniz tabanındaki kırılma direnci değeri ile tabandan 0,6 m aşağıdaki kırılma direnci değerinin arasındaki fark arada bulunan bu yumuşak kil tabakasının zayıf bir dirence sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Kırılma direncinin derinliğe göre değişimini gösteren şekil 2.26'ya tekrar bakacak olursak mc22 ile mc18 noktaları arasında deniz tabanındaki kırılma direnci değerlerinin fazla değişmediğini görürüz. Fakat deniz tabanının 0,6 m aşağısındaki değerler arasında farklar vardır. Örneğin mc23 noktasında kırılma direnci $0,0048 \text{ kg/cm}^2$ değerini alırken, gc107 noktasında kırılma direnci değeri $0,04 \text{ kg/cm}^2$ olmaktadır. Bunun sebebi deniz tabanı jeolojisinin farklılık göstermesidir. Şekil 2.24'e dönecek olursak gc107 noktasının 0,6 m derininde kokolit tabakaları, mc22 noktasının 0,6 m aşağısında ise yumuşak kil tabakasının olduğunu görürüz.

Jeoteknik çalışmalar içerisinde yapılan önemli çalışmalarda ve testlerden biride boru yerleştirme testleridir. Mavi Akım projesinde boru hattı güzergahı boyunca yedi farklı noktada boru döşeme testleri yapılmıştır. Boru döşeme testlerinin amaçları arasında güzergah boyunca en zayıf deniz tabanı bölgelerinde borunun düşey durağanlığını değerlendirmek, boru hattının kurulum test noktalarında yapılan jeoteknik testlerin ve araştırmaların sonuçlarının karşılaştırılmalarını sağlamak ve test edilen boru örneğinin deniz suyu ile doldurulması şeklinde yapılan hidrostatik test sırasında borunun durumunu modellemek yer almaktadır. Teorik boru hattı güzergahı boyunca yedi farklı noktada yapılan boru döşeme testlerinden elde ettiğimiz sonuçlar, boru hattı yerleştirme testleri ile test yerlerinin yanında gerçekleştirilmiş olan jeoteknik araştırmalar, deneyler ve testler arasındaki ilişkiyi saptamak için kullanılmıştır. Yedi farklı noktada yapılan bu yerleştirme testlerinde zamana bağlı olarak iki çeşit test uygulanmıştır. Bunlar kısa ve uzun vadeli

yerleştirme testleridir. Kısa vadeli yerleştirme esnasında, 4 metrelik bir boru deniz dibi üzerine dikkatlice indirilmiş ve en az 1 saat boyunca ROV adı verilen robot ile izlenmiştir. Tablo 2.4'te yerleştirme testlerinin yapıldığı noktalara ait verileri tablo 2.5'te testlerin sonuçlarını görmekteyiz. Şekil 2.30'da boru yerleştirme testlerinde kullanılan borunun planını ve kesitini görmekteyiz. Deniz dibinden borunun kaldırılmasından önce borunun son yerleştirilişi kaydedilmiştir. Aynı test yerinde, ilk testin test yeri için tipik olduğunun doğrulanması amacıyla kısa vadeli test tekrarlanmıştır. Bu tekrarlanan test esnasında kullanılan boruda 1 saat boyunca deniz dibinde kalmıştır. Kısa vadeli yerleştirme testinin ardından boru güverte üzerine geri alınmıştır. Uzun vadeli yerleştirme testinde boru deniz dibine indirilir ve en az 1 saat boyunca ROV ile izlenir. ROV ile daha sonra yapılacak değerlendirme için döşeme öncesi boru deniz dibine bırakılmıştır. Resim 3'te güzergah boyunca test edilen borunun planı görülmektedir. Yerleştirme testinde kullanılan boru 4 m uzunluğunda ve 0,609 m çapındadır. Boru havada boş iken 1745 kg ağırlığında, su ile dolu iken 2750 kg ağırlığındadır. (Petergaz B.V., Vol. 2, 1998).

Tablo 2.5 Yerleştirme testlerinin yapıldığı noktalara ait veriler. (Petergaz B.V., Vol. 2, 1998).

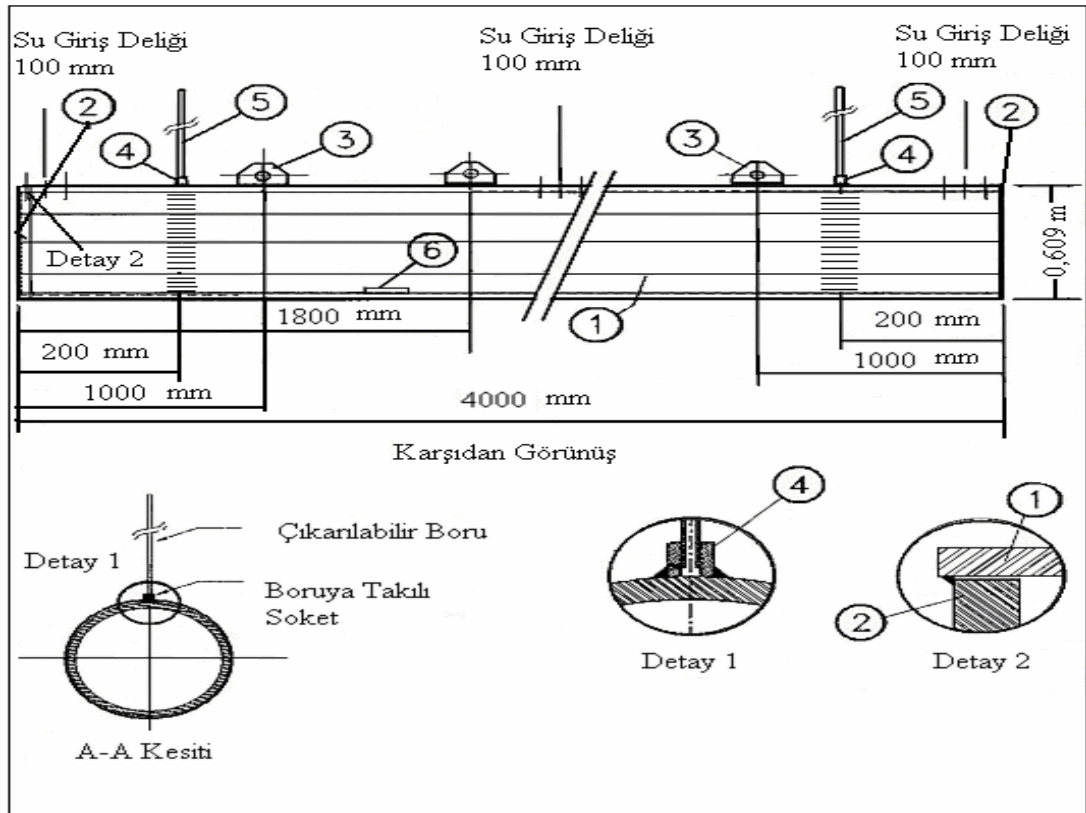
Tarih	No	Test	Km	Der.	Yer
17-05-98	PS-006a/b	Kısa Vadeli	262.9	1967 m	Türkiye kıtasal yamacında kalınlığı 5m ile 6m olan çok yumuşak sediment tabakası
17-05-98	PS-005a/b	Kısa Vadeli	326.0	758 m	Türkiye yamacındaki yumuşak sedimentler
17-05-98	PS-004a	Uzun Vadeli	332.9	291 m	Türkiye yamacının tepesi
18-05-98	PS-002a/b	Kısa Vadeli	349.9	267 m	Türkiye şelfindeki pocmarkların merkezi
18-05-98	PS-003a/b	Kısa Vadeli	350.5	239 m	Türkiye şelfindeki pocmarkların kenarı
19-05-98	PS-007a/b	Kısa Vadeli	210.5	2116 m	Abisal düzlük üzerindeki olası gaz çıkışlarının olduğu tümsekler
21-05-98	PS-001a/b	Kısa Vadeli	367.4	90 m	Yüksek oranda H ₂ S çıkışının olduğu Türkiye şelfindeki GC-106 noktası
30-07-98	PS-004b	Uzun Vadeli	332.9	291 m	Türkiye yamacının tepesi

Tablo 2.6 Yerleştirme testlerinin sonuçları (Petergaz B.V., Vol. 2, 1998).

No	Derinlik (m)	Oturma (%)	Yorum
PS1a	90	53-55	Bir dereceye kadar sağlam sediment.
PS1b	90	50-65	Bir dereceye kadar sağlam sediment.
PS2a	267	125	Yumuşak sediment, hızlı gömülme.
PS2b	267	120-125	Yumuşak sediment, hızlı gömülme.
PS3a	239	120	Yumuşak sediment, hızlı gömülme.
PS3b	238	110-120	Yumuşak sediment, hızlı gömülme
PS4a	291	100	Uzun süreli, aşamalı gömülme.
PS5a	758	30-70	Yamaçta boru kayıyor ve dereceli olarak gömülüyor.
PS5b	756	80-100	Yamaçta boru kayıyor ve dereceli olarak gömülüyor.
PS6a	1967	100	Yavaş ve dereceli gömülme.
PS6b	1967	100	Yavaş ve dereceli gömülme.
PS7a	2116	90	Yumuşak dalgalı deniz tabanı, dereceli gömülme, zayıf bir kayma
PS7b	2116	100	Yumuşak deniz tabanı, dereceli gömülme, zayıf bir kayma.

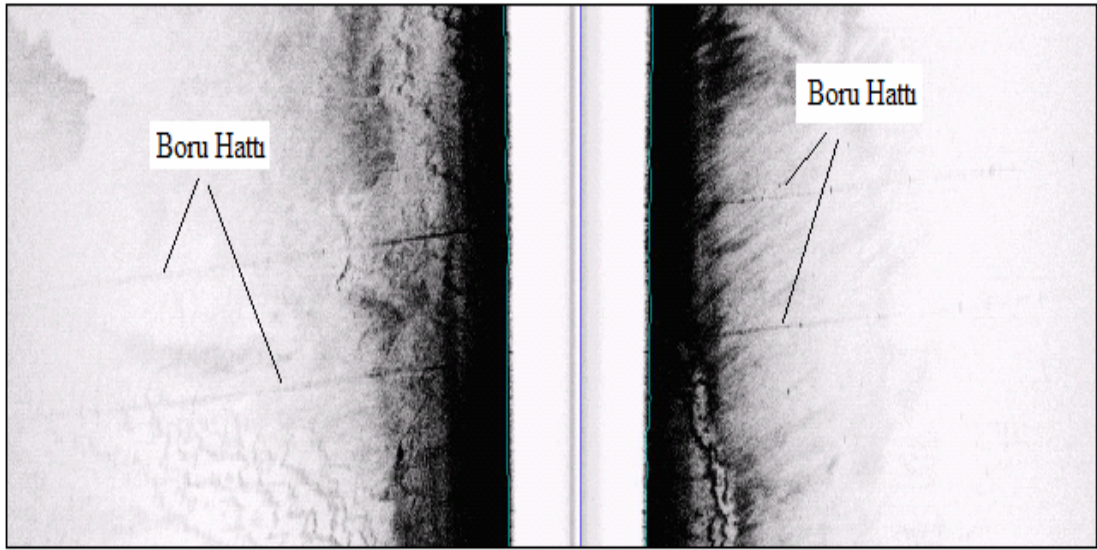
Boru yerleştirme testlerinin gerçekleştirirken kısa vadeli yerleştirme uygulanırken bir prosedür izlenmiştir. Öncelikle test borusu gemiden yatay pozisyonda denize doğru asılmış ve deniz tabanının yaklaşık 10 m üzerine indirilmiştir. Bu esnada ROV adı verilen robot borunun indirildiği noktada yerleştirme testini açıklamalarıyla ve detaylarıyla videoya kayıt etmeye başlamıştır. Yerleştirilecek test borusu daha sonra öncekinden daha yavaş bir hızla yani 0,25 m/s 'den daha az bir hızla indirilmiş ve ROV ile izlenmeye devam edilmiştir. Boru artık deniz dibine inmiştir. (Petergaz B.V., Vol. 2, 1998) Deniz dibi üzerindeki boruya bağlı olan kaldırma halatı yavaşça gevşetilmiş ve borunun bu olay anındaki durumu kontrol edilmiştir. Borunun deniz dibine tam anlamıyla yatay döşendiğinden emin olunması için boru hassasiyetle indirilmiştir. Yerleştirme testleri yapılırken bu yatay döşenme olayının tam anlamıyla gerçekleşmesi için tek bir kaldırma kayışı kullanılmamıştır. Bu sayede eşit olmayan bir süspansiyondan kaçınılmıştır. ROV adlı robot artık herhangi bir çökme gerçekleşmeyene kadar borunun her iki ucundaki çökme ve yerleşme miktarlarını gözlemlemiş ve kayıt etmiştir. Test için kullanılan

boru yerleştirme işlemi yapıldıktan sonra en az bir saat süreyle ROV adı verilen robot tarafından izlenmiştir. Test borusunun deniz tabanının altına çökmeye başladığı zaman çökme miktarını ölçmek için iki adet markör rot kullanılmıştır. Son olarak toplam çökme olayı bittikten sonra deniz dibi ortalama seviyesinden borunun tabanına kadar olan derinlik kaydedilmiş ve daha sonra da boru gemiye geri çekilmiştir. Uzun vadeli yerleştirme testi içinse prosedür biraz değişmiştir. Yerleştirme testi sonunda boru gemiye hemen geri alınmamıştır. Boruya bağlı olan kaldırma kayışları kesilmiştir. Bu kesme olayı gerçekleşirken test borusuna zarar verilmemeye dikkat edilmiştir. Boruyu daha sonra geri toplamak ve yerini bulmak için boruya akustik salınım özelliği olan bir halat bağlanmıştır. (Petergaz B.V., Vol. 2, 1998). Son olarak, her yapılan yerleştirme testi işleminde test yapılan noktanın koordinatları, konumu, testin yapıldığı su derinliği ve diğer tüm veriler kaydedilmiştir. Ayrıca testlerin bitiminde çıkan sonuçlar, bu test noktaları civarında daha önceden yapılmış olan jeoteknik testlerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.30 Mavi Akım projesinde kullanılan borunun planı, kesiti ve detayları (Petergaz B.V., Vol. 2, 1998).

Yukarıda anlatmış olduğumuz yapılan bütün çalışmaların genel amacı boru hattı için en güvenli güzergahı ortaya koymaktır. Yapılan bu çalışmalar sonucu Mavi Akım projesi için en güvenli boru hattı güzergahı ortaya koyulmuştur. Bu sayede boru hattının döşenmesi esnasında hiçbir sorun yaşanmamış ve Mavi akım doğal gaz boru hattı projesi başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Şekil 2.31’de Poseidon araştırma gemisinin kasım 2004 yılında boru hattının kontrolü amaçlı yapmış olduğu sonar çalışmalarından elde edilmiş olan ve boru hattının bir kısmını gösteren bir sonar haritası görmekteyiz.



Şekil 2.31 Boru hattını gösteren sonar çalışmalarından elde edilmiş sonar haritası (Sahling ve Diğer., 2004).

BÖLÜM ÜÇ

DENİZ ALTINDA BORU HATTI DÖŞEME YÖNTEMLERİ

3.1 Genel

Off- shore endüstrisi; çalışmalar, araştırmalar, dünyamızdaki petrol alanlarının gelişimi dünya üzerindeki boru hatlarının kullanım alanlarının artmasına neden olmuştur. Denizaltı boru hatları genellikle su sağlayıcı kısa hatlarda ve deniz deşarj sistemlerinde kullanılırdı fakat son yıllarda özellikle petrol ve doğalgaz alanında denizaltı boru hatları kullanılmaya başlanmıştır.

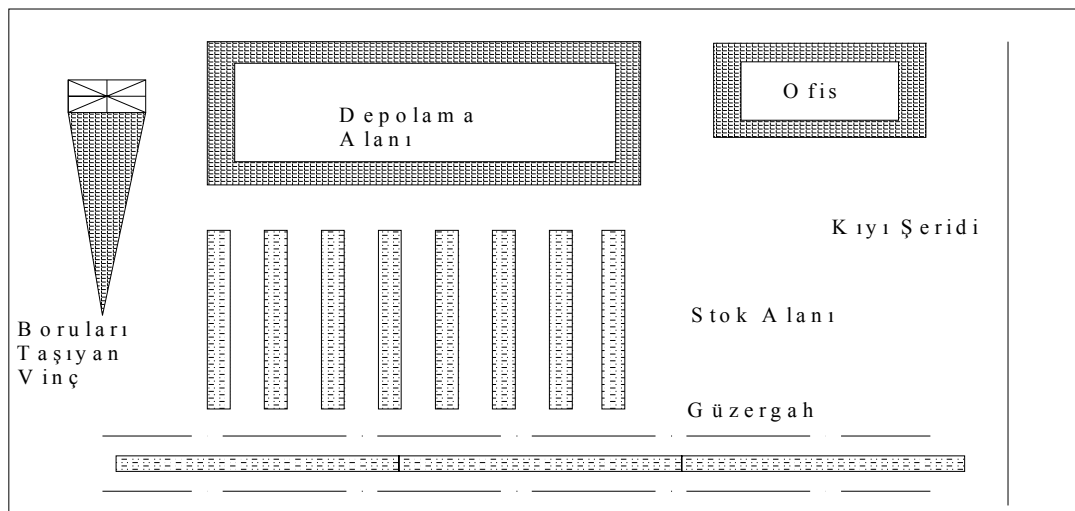
Denizaltı boru hatları döşenmesi için her geçen gün yenilikçi ve iyileştirilmiş yöntemler geliştirilmektedir. Bu bölümde bugüne kadar denizaltı boru hattı döşenmesinde uygulanmış yöntemler ve bu yöntemlerin kendisine has olan tasarım faktörleri anlatılmaktadır. Bu anlatılan boru hattı döşeme maliyeti genellikle bir deniz altı boru hattı projesinin maliyetinin yüzde yetmişini kaplar. Bu yüzden en iyi çözümü ve en az maliyeti getiren yöntemler genellikle çevrenin ve ortamın şartlarına ve yapım şirketinin tecrübelerine bağlıdır. Denizaltı boru hattı döşeme maliyetleri ve yöntemleri her zaman için döşemenin yapılacağı bölgeye özeldir. Döşeme yöntemleri arasından en az maliyeti ve en güvenli yöntemi seçme kabiliyeti bu konularda tecrübeli olmaya ve en önemlisi uygulanan bütün döşeme yöntemlerinin özelliklerini bilmeye bağlıdır.

3.2 Uygulanacak Yöntemin Seçilmesi

Deniz altında bir boru hattı döşeme işlemi yapılacaksa bu işlem yapılmadan önce bize en uygun gelen bir boru hattı döşeme yöntemi seçilmelidir. Bu döşeme yöntemini seçerken dikkate almamız gereken bazı temel unsurlar vardır. Döşenecek borunun büyüklüğü, kullanılacak boru materyali, yapılacak boru hattının uzunluğu, boruların depolanması ve birleştirilmesi için kıyıda ihtiyaç duyduğumuz alanın genişliği, yapım ekipmanlarının mevcudiyeti, gelgit ve fırtına akıntılarının durumu, boru döşenecek olan deniz tabanının jeofiziksel ve jeolojik durumu, boru hattı

güzergahı boyunca olası yer tehlikeleri, bölgedeki dalga yüksekliği, dalga boyu, dalga periyodu, bölgedeki rüzgar hızı bir boru hattı döşeme yöntemi seçerken dikkate almamız gereken temel unsurlar arasındadır. (Gunnerson & French, 1996). Son olarak bilmemiz gereken deniz suyu özellikleridir. Deniz suyu özellikleri boruları koruyucu kaplamalarının özelliklerini belirlemek için kullanılır.

Örneğin boru hattı uzunluğu 100 m ile 400 m arası değişen bir boru hattı döşenmesi için uygulanacak geçerli olan yöntemler yapan firmanın tecrübesine ve ekipmanlarının durumuna bağlıdır. Boru hattı uzunluğu 600 m ‘ den uzun olan bir boru hattı inşaatı için borular ya kıyı alanlarında yapılan bir imalattan sonra çekilerek denize döşenmekte ya da bir döşeme gemisiyle döşenmektedir. Yapım materyallerinde görülen yeni gelişmeler ve teknolojiler diğer yöntemleri pratik hale getirmiştir. Örneğin su taşıyıcı hatlarda kullanılan küçük çaptaki boruların döşenmesi için özel bir makara veya bobin sistemine sahip olan döşeme gemileri kullanılmaktadır. Örneğin şekil 3.1’de bir alttan dibe çekme yöntemiyle boru döşenmesi için kıyı üzerindeki bir birleştirme alanı gösteriliyor. Kıyıdaki söz konusu alan sınırlı ise, yada geniş çaplı boru kısımları birleştirilecekse, sorumlu kişi bunu yerine bir döşeme gemisi veya diğer bir yüzücü platform kullanabilir. Yapım ekipmanlarının mevcudiyeti ve yerleşimi boru materyallerinin ve yapım yöntemlerinin seçiminde önemli bir etkindir.



Şekil 3.1 Dibe çekme yöntemi ile boru hattı döşenmesi için kıyı üzerindeki ekipmanlar ve birleştirme alanı.

Güçlü gelgit ve fırtına akıntıları, denize atık su atılması olayında önemli bir hal alabilir. Bu durum yapım esnasında da borular döşenirken bize güçlük yaratabilir. Ayrıca güçlü gelgit akıntıları genellikle yüzen ekipmanların ve yüzen kısımların veya yüzeyden çekme yöntemlerinin kullanımını imkansız hale getirir.

3.3 Yapım Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Yapım yöntemleri arasında deniz dibinde birleştirme, yüzeyde birleştirme ve bir döşeme gemisinden indirme, petrol ve doğal gaz endüstrisi tarafından kullanılan stringer ve çekme mekanizmasına sahip gemiler ile döşeme, kıyıda deniz dibine doğru çekme, yüzeyden çekme veya yüzdürme yer almaktadır. (Sükan, 1986)

Dipte yapılan montaj işlemleri sırasında genellikle vinçli döşeme gemileri kullanılır. Vinç sayesinde borular suya indirilir ve bağlantıların deniz dibinde dalgıçlar tarafından yapılmasıyla boru hattı döşenir.

Yüzeyde montaj işleminde, borular bir platform üzerinde birleştirilmekte ve daha sonrada deniz dibine indirilmektedir. Küçük çapta borular için kullanılan döşeme gemileri çok basit üniteler şeklinde olabilir. Fakat açık denizlerdeki petrol ve doğal gaz boru hatlarında ve bazı uzun hatlarda kullanılan döşeme gemileri 100 ile 200 kişilik bir tayfaya sahip olabilirler ve günde 3000 m uzunluğa kadar boru ahtı dōşeyebilirler. Bu platformların operasyonunu desteklemek için sağlam yardımcı yüzen ekipman gerekir. (Gunnerson & French, 1996).

Dibe doğru çekme yönteminde boru dizgileri kıyıda birleştirilir ayrıca koruyucu kaplamaları da kıyıda yapılır daha sonra güzergah boyunca çekilir. Bu yöntem en az seviyede yüzücü ekipman gerektirir. Birçok deniz koşullarında uygulanabilir. Bu yöntemde önemli olan nokta kıyıdaki kullanacağımız alandır.

Yüzeyden çekme yöntemi, dibe çekme yöntemiyle aynıdır ancak boru hattı destekleyici kaldırma gücü ile veya kendi kendine yüzecek kadar hafif olmalıdır. Yüzdürme işlemi için genellikle dubalar kullanılır. Güzergahına geldikten sonra boru

hattına su verilerek borunun güzergahı boyunca veya hazırlanmış bir çukur içerisine batırılması sağlanır.

3.4 Yapım Yöntemleri

Deniz altında başarılı bir boru hattı döşenmesi için uygulanan konstrüksiyon yöntemleri, bu yöntemlerin hangi şartlarda uygulandığı, her yöntemin özellikleri ve tasarım faktörleri iyi bir şekilde bilinmelidir. Dünyamızda denizaltına boru hattı döşenmesi için uygulanan yöntemler aşağıda açıklanmaktadır.

3.4.1 Mobil Bir Kriko Platformu İle Boru Hattı Döşeme Yöntemi

Mobil kriko platformları, büyük çapta olan ve destekli beton boruları kullanan spesifik projeler için yapılmıştır. Bu platform boru döşenecek güzergaha doğru yüzdürülür. Daha sonra büyük çapalar atılır. Bu çapalar ya ağırlık çapaları yada delici çapalardır. Daha sonra ayaklar deniz dibine indirilir.

Bu platformlar kötü hava koşullarından, dalgalardan ve akıntılardan fazla etkilenmez. Çalışma platformunu normal dalgaların ve akıntıların etkilerinden bağımsız halde su dışına kaldırmak için büyük krikolar kullanılır. Bu sayede dalga ve akıntılardan platform etkilenmemiş olur. Her boru parçası hatta eklendiğinde, yüzücü güvertesi tüm yapı yüzer hale gelene kadar indirilir. Böylece çapa hatları bir sonraki pozisyona geçer ve platformu döşeme operasyonlarına devam etmek amacıyla suyun dışına kaldırır. (Gunnerson & French, 1996). Şekil 3.2 'de bu yöntemde kullanılan platformu görmekteyiz.

3.4.2 Demir Köprüler Aracılığıyla Boru Hattı Döşeme Yöntemi

Birçok boru hattı inşaatı projesinde kıyıya yakın bölümler genellikle demir köprüler vasıtasıyla veya geçici iskeleler aracılığıyla döşenmektedir. Demir köprüler boru döşeyici gemiler için çok sığ olan sularda veya dalga koşullarının yüzücü bir platformun çalışmasına olanak vermediği şartlarda kullanılır. Demir köprüler kıyıya

yakın sularda tam anlamıyla tüm dalga hareketlerini ortadan kaldırmaz fakat işin bir platform aracılığı ile yapılabilmesini sağlar. Demir köprülere H-direklerin deniz tabanına yerleştirilmesi ile başlanır. Bir direk makasları kirişlerin direk çiftlerinin üzerine çapraz olarak konulmasıyla ortaya çıkar. Birleştirme işleminde kaynak yerine genellikle civatalama kullanılır bu sayede direkler ve kirişler daha sonra da kullanılabilir. Kirişler daha sonra direkler üzerine karşıdan karşıya döşenir. Vinç boru döşeme ekipmanı için raylar üzerinde yerine yerleştirilir. Vinç, direklerin yerleştirilmesi ve diğer işlemler için denize doğru ilerler. Kullanılan vinç iş bittiğinde kıyıya geri döner ve dönerken de direkleri toplar. Demir köprü bir vinç ile uzatılırken diğer bir vinç de kıyıda kazık çakmaya yardımcı olabilir ya da deniz dibini boru döşeme operasyonları için hazırlamak amacıyla bir kepçe ile kazı yapabilir. Bir veya iki standart vinç ya da bir gezer vinç boruların indirilmesi için kullanılabilir. (Gunnerson & French, 1996).



Şekil 3.2 Deniz altında boru hattı döşenmesinde kullanılan bir mobil krik platformu (Bibby Line Limited, 2005).

3.4.3 Dipte Monte Etme Yöntemi

Bu yöntemde adından da anlaşılacağı gibi boru hatlarının son bağlantıları deniz tabanında yapılmaktadır. Dipte yapılan birleştirme 3 - 10 metrelik kısa hatların vinçler veya krikolar aracılığıyla deniz dibine indirilerek, bağlantıların dalgıçlar tarafından yapılmasıyla gerçekleştirilir. Bu yöntemin çeşitleri arasında bir mobil platform aracılığı ile döşeme, demir iskeletli bir köprü aracılığıyla döşeme veya bir vinçli bir döşeme gemisi aracılığıyla ile döşeme yer almaktadır. Tüm varyasyonlar, boruların yerine indirilmesi, hizalanması ve bağlantıların dalgıçlar tarafından yapılması amacıyla yeterli hassasiyetle yapılan bir pozisyonlama ve kaldırma kapasitesi gerektirir. Bu arada dipte monte etme yöntemleri su derinliği ve dalgıçların yararlı performans gösterebileceği sualtı koşulları ile sınırlandırılmaktadır. Bu koşullar şu anda geleneksel dalma için 100 m'den az ve saturasyon dalgıçlığı için 250 m' dır. (Gunnerson & French, 1996).

3.4.4 Vinçli Bir Döşeme Gemisi İle Boru Hattı Döşeme Yöntemi

Bu yöntemde özel bir kaldırma kapasitesine ve hassasiyete sahip vinçle donatılmış şekil 3.3 ve şekil 3.4'te gördüğümüz döşeme gemileri kullanılır. Bu yöntemde boru hatlarının hizalaması, pozisyonlaması ve son bağlantıları deniz tabanında yapılmaktadır. Bu yöntemle boru hattı döşenmesi gayet basittir. Döşenecek olan borular gemideki vinç sayesinde suya indirilir. Burada pozisyonlama, hizalama ve dipteki son bağlantılar dalgıçlar tarafında yapılır. Bu işlem için hava ve sualtı koşullarının uygun olması gerekir.

Bu yöntem uygulanırken hizalama , pozisyonlama ve bağlantılar dalgıçlar tarafından yapıldığı için yeterli seviyede hassasiyet ve kaldırma kapasitesi gerekir. Kullanılan döşeme gemisindeki vincin bu isteklere cevap vermesi gerekir. Bu arada dipte monte etme işlemi su derinliği ve dalgıçların yararlı performans gösterebileceği sualtı koşulları ile sınırlandırılmaktadır. (Gunnerson & French, 1996).

Boru döşeme işlemini kötü hava koşullarında yapmak zorundaysak döşenecek borular pozisyonlama, hizalama ve dipte bağlantıları yapılırken bu kötü hava koşullarında etkilenebilir ve birleştirme esnasında boru uçları zarar görebilir ayrıca önceden döşenmiş olan boru hattına zarar verebilir. Bunu önlemek için şekil 3.5’de gördüğümüz bir boru tutucu gövde yada boru hattı altlığı kullanılabilir.

Bu yöntemde boru hattı döşenirken kullandığımız döşeme gemilerinin döşenecek boruları depolama ve taşıma kapasitesi fazla yoktur. Bu da bir taşıma sorunu ortaya çıkarır. Bizde bu problemi ortadan kaldırmak için döşeme gemisine yardımcı olan ve boruları taşıyan yardımcı gemiler kullanmaktayız. Şekil 3.6’da bu yardımcı gemiyi görmekteyiz.

Bu yöntem daha çok durgun sularda uygulanır. (Gunnerson & French, 1996). Daha önceden de söylediğimiz gibi hizalama, pozisyonlama ve deniz dibi bağlantıları durgun olmayan sularda düzenli bir şekilde yapılmaz. Sonuç olarak başarılı ve istenen amaca uygun boru hattı döşenemez.



Şekil 3.3 Deniz altında boru hattı döşenmesinde kullanılan vinçli döşeme gemisi (Saipem S.p.A., 2005).



Şekil 3.4 Deniz altında boru hattı döşenmesinde kullanılan vinçli döşeme gemisi (Salt, 2005).



Şekil 3.5 Borunun zarar görmesini engelleyen boru tutucu gövde (Ductile Iron Pipe Research Association, 2001).



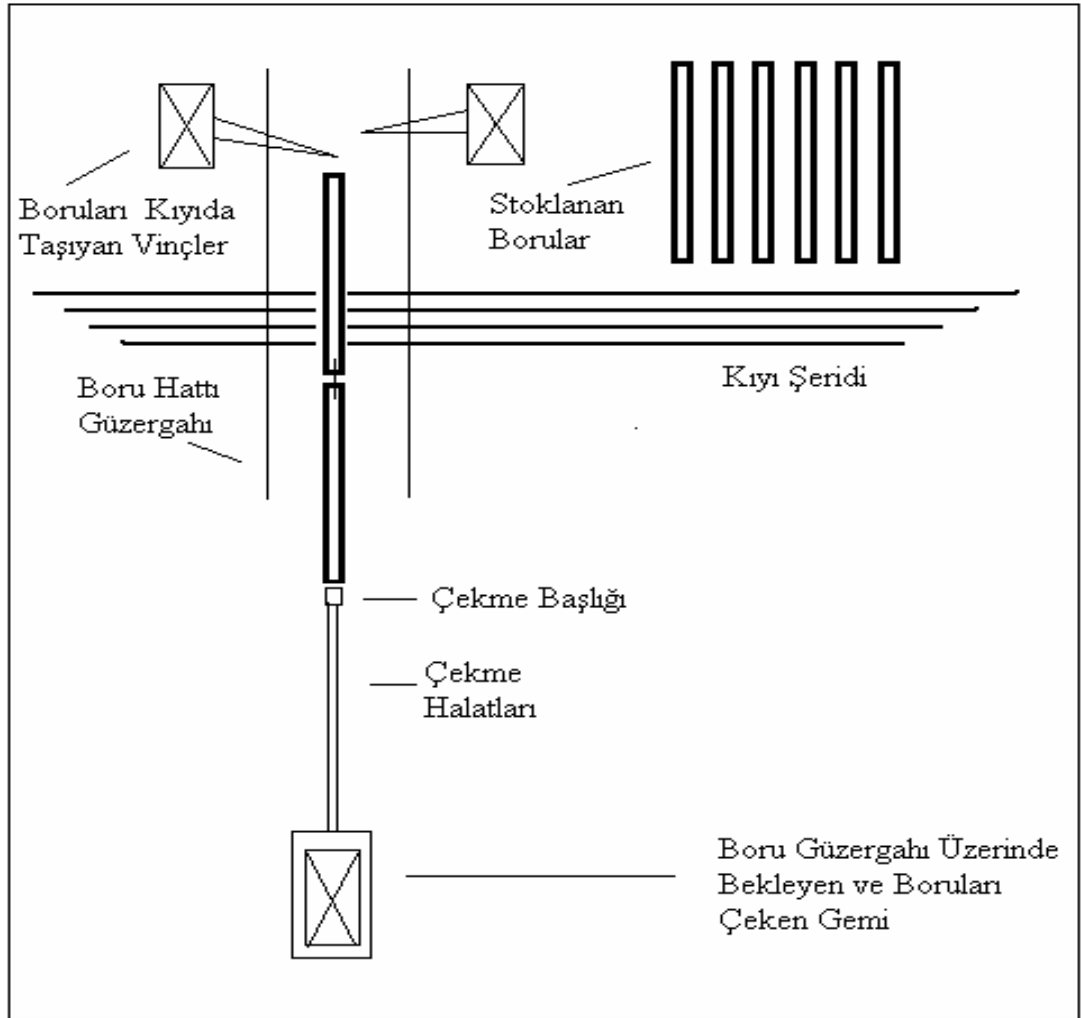
Şekil 3.6 Boru döşeme operasyonunda döşeme gemisine boru taşıyan yardımcı gemi (Saipem S.p.A., 2005).

3.4.5 Dibe Çekme Yöntemi

Dibe çekme yöntemi hem endüstriyel hem de gelişmekte olan ülkelerde genellikle deniz deşarj sistemlerinin inşasında küçük çaptaki boruların döşenmesi için çok uygundur ve bu yöntemle boru hattı döşenirken en az seviyede yüzen ekipman kullanılır. Bu yüzen ekipmanda güzergah üzerinde bekleyen boruları çeken gemidir. Dibe çekme yöntemi ile ilgili bir konfigürasyonun planı şekil 3.7’de gösterilmektedir. Çelik ve yüksek yoğunluklu polietilen plastik borular bu yöntemle döşenmektedir. Bölgedeki ortam ve koşullar uygun olduğunda dibe çekme yönteminin çeşitli varyasyonları başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. (Gunnerson & French, 1996).

Bu yöntemde boruların hazırlanması ve kaynakla birleştirilmeleri karada yapılır. Çelik borular daha önceden kaplanmış olup kıyıdaki stok alanına getirilirler. Önceden kaplanmış çelik boru kısımları kıyıda 20 ila 500 m uzunluğundaki dizgiler halinde monte edilir. (Gunnerson & French, 1996). Kaynaklara zarar verilmeden test edilir ve alanda yer alan çıplak boru kısmına korozyona dirençli bir koruyucu

kaplama yapılır. Her boru kısmı, gerçek döşeme için hazır olacak şekilde boru hattının rotasına paralel olarak kızaklar veya raylar üzerine yerleştirilir. Borunun deniz tabanı boyunca daha rahat çekilmesini sağlamak için borunun su içindeki ağırlığı özel bir şekilde ayarlanır. Bunun amacı hem çekme için gerekli kuvveti azaltmak hem de borunun dalgalara ve deniz dibindeki akıntılara karşı dayanımını arttırmak ve bu sayede borunun rotadan çıkmasını önlemektir.



Şekil 3.7 Dibe çekme yönteminde kullanılan ekipmanları ve bu yöntemi gösteren bir konfigürasyon.

Çekme vinci, borunun bitiş noktasının ötesinde ve boru hattının güzergahı ile aynı çizgide birkaç yüz metre derinliğe çapa atmış bir gemi üzerinde olabilir. Alternatif olarak vinç, denizde veya bir boğazın karşı yakasında yer alan bir noktada, kıyı üzerinde bir yere yerleştirilebilir.

Çekme işleminden önce bir kablonun veya halatın bir ucu, çekilecek borunun öndeki kısmında bulunan ve boruya kaynaklanmış olan bir çekme başlığına bağlanır. Boruların rahat çekilebilmesi için kıyıda bir ray veya kızak sistemine ihtiyaç duyulabilir.

Bu yöntemin uygulandığı bölgedeki deniz tabanı kayalık veya sert bir zemine sahipse boru hattı çekme işlemi yapılırken zarar görebilir. Boru suya girerken suyun kaldırma gücü boru ağırlığının bir kısmını alır ancak boru hattına daha fazla kaldırma gücü eklemek çoğunlukla gerekli olur. Dış kaplama sert ve kayalık dip sebebiyle zarar görebilir. Borular genellikle boş şekilde çekilir ve çoğunlukla da ağaç yüzdürücüler veya dubalar ile yüzdürülerek uygun hale getirilir. Şekil 3.8’de dubalar bağlanmış çekilmeye hazır bir boru hattı görmekteyiz. 60 m den daha derin sularda kullandığımız bu ağaç yüzdürücüleri ve dubaları serbest bırakmak zorlaşır. Genel uygulama şudur; bir boru hattı dibe çekilecekse 8-30 kg/m büyüklünde negatif bir kaldırma gücü sağlanır. Maksimum çekme hızı dakikada 6 m’ dir. (Gunnerson & French, 1996).



Şekil 3.8 Dubalar bağlanmış çekilmeye hazır bir durumda bekleyen boru hattı (Saipem S.p.A., 2005).

Çekme işlemi mümkün olduğunca seri bir şekilde ara verilmeden yapılmalıdır. Çünkü işleme uzun süre ara verilirse boru zemine iyice yapışır veya gömülür. Bu da çekme kuvvetinin artırılmasını gerektirir sonuç olarak da boru aşırı gerilmelere maruz kalır. (Öztürk, 1996). Boru hattı gelgitler arasında hareketsiz olarak bırakılmak zorunda ise ve özellikle de dalgalar boru hattına yanal olarak gelecekte bu yöntem kullanılmamalıdır. Uyguladığımız negatif kaldırma gücü eğer ki az ise çekilmekte olan boru hattı kolaylıkla rotadan ayrılabilir ve rotadan ayrılan boru hattını tekrar rotaya sokmak için çekme yöntemiyle hattı düzeltme girişimleri genelde çekme halatının, boru hattının veya boru kaplama materyalinin ayrılması ile sonuçlanır. Çekme işlemi esnasında sürtünme ve kohezyonun etkilerinden kaynaklanan ciddi bir problem vardır. Bu da çekme operasyonlarının kaldığı yerden devam etmesi esnasında başlangıç kuvvetinin borunun esneme sınırlarının dışına çıkması ve boruya ya da kaplamasına bir zarar gelmesidir. Aşırı gerilimli uygulamalar da borular kırılabilir. Dibe çekme yöntemi uygulanırken kaya çıkıntıları, resifler, gemi enkazları veya izole derinlikler gibi engeller etrafına boru hattı döşenmesi sağlıklı değildir. Dibe çekilen boru hatları geniş kavisler üzerine döşenemez anlamına gelmemektedir. Bununla birlikte, en önemlisi boru sertliği ve dip koşullarıdır. En iyi uygulama, boru hattını düz rota hizasında çekmektir. Bu yöntem kıyı çizgisi yakınlarında ve planlanan açık deniz rotası ile aynı doğrultuda büyük bir mavnalı alanı gerektirir. Bu da kıyıda depo yapmayı ve çekme operasyonundan önce boru kısımlarının monte edilmesini olanaklı kılar.

3.4.6 Şamandıra Zincir Yöntemi

Şamandıra zincir yönteminde üzerine yüzücü üniteler bağlanmış ve zincirlerle hazırlanmış uzun boru kısımlarının yerleştirilmesi ve döşenmesi için geliştirilmiştir. Üzerine yüzdürücü üniteler bağlanmış olan borular, deniz dibinin birkaç metre üzerinde yüzer halde dururken çekilme işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem için döşeme gemilerine göre operasyon için daha ucuza mal olan ve deniz yüzeyinde yer alan bazı tesislere ihtiyaç duyulur. Bu yöntem 100 metreye kadar olan derinliklerde 10 km 'nin üzerindeki uzunluklarda boru hatlarının döşenmesi için kullanılmaktadır. (Gunnerson & French, 1996). Kullanılan zincirlerin ağırlığı, yüzdürücü ünitelerin

yükü ve borunun ağırlığını dengeler. Borular boş olarak çekilir. Boru hattının döşeneceği deniz dibinin düz olduğu durumlarda zincirler boruyu deniz dibinin üzerinde sabit bir seviyede tutar. Deniz dibi üzerinden çekilen zincirlerin boyu hesaplanır; böylece çekme işlemi boyunca meydana gelen herhangi bir yanıl akıntıda borunun dengesi sağlanmış olur. Bu yöntem özellikle küçük akıntıların olduğu bölgelerde büyük ilgi görmektedir. Bu yöntem geleneksel dibe çekim yönteminden bir açıdan ayrılmaktadır. Bükülmeyi engellemek için boru hattının kıyıdaki ucu üzerine engelleyici bir kuvvet uygulanır.

3.4.7 Kısa Boru Hatlarının Dipte Birleştirilmesi Yöntemi

Bu yöntem dibe çekme yönteminin bir çeşididir. Borunun birkaç uzun kısmı dibe batırılır ve daha sonra dipte kaynak yada cıvata ile birleştirilir. İlk kısım, en uzak açık deniz alanına çekilir. Daha sonra ikinci bir kısım aynı yöntemle çekilir ve rota doğrultusunda ilk çekilen kısımla aynı hizaya getirilir. Son ayarlamalar, yüzeyden boru hattının üzerine doğru indirilen bir hizalama aracı tarafından gerçekleştirilir ve operasyonlar dalgıçlar tarafından yapılır. Bundan sonraki döşenecek olan boru dizgileri içinde aynı işlemler sırasıyla gerçekleştirilir. Kıyıda hazırlanmış olan boru dizgileri birbirlerine flanslarla tutturulur. Bu flanslar, kaba bir hizalama yayma yardımcı olmak ve hizalayıcı kaynak bağlantısını güvenli kılmak için kullanılmaktadır. Pozisyonlamadan sonra, hizalama aracı hat üzerindeki boruya kadar indirilir. Dalgıçlar çekici baş kısımları çıkarır ve aracın bağlantılarını boruya takarlar. Hizalama aracının hidrolik sistemi harekete geçer. Bu sistem boruyu araç içinde pozisyonlamak ve boru uçlarını kapatma, temizleme ve son hizalama çemberi içerisine çekmek amacıyla kullanılır. Kaynaklama, kaplama, kuru ve kontrollü bir atmosferde gerçekleştirilir. (Gunnerson & French, 1996).

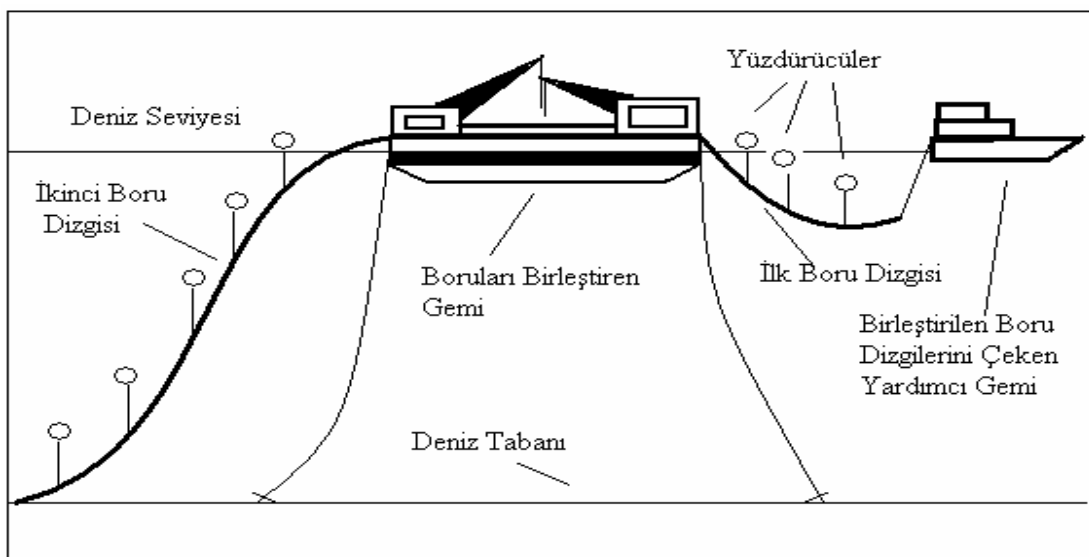
3.4.8 Yüzdürme Yöntemi

Yüzdürme yöntemi küçük çaptaki plastik ve çelik boruların döşenmesinde kullanılır. Bu yöntemi gösteren bir konfigürasyon şekil 3.9'da görülmektedir. Çelik borular uzun kısımlar halinde kıyıda birleştirilir ve yüzdürücüler eklenir ve çekilecek

yöne paralel olarak kızak bölgesi üzerine tutturulur. Birleştirilen her dizgi suya indirilir ve pozisyonuna getirilir. Daha önceden yüzdürülerek getirilmiş olan ilk dizginin denizdeki ucunu tutan gemi iki dizgi arasındaki bağlantıyı gerçekleştirir. Daha sonra şamandıralar serbest bırakılır. Sadece tamamlanmış borunun son kısmı batırılmaz. Daha sonra diğer bir dizgi de suya çekilir, bölgeye doğru yüzdürülür ve bağlantı gerçekleştirilir. Bu işlem, kalan boru dizgileri ile de aynen devam eder. (Gunnerson & French, 1996).

Bu yöntem, kötü hava koşullarında, dalgaların ve akıntıların yoğun ve şiddetli olduğu bölgelerde uygulanamaz. Orta durgunluktaki denizlerde bile uygulanması tehlikeli olabilir. Çünkü boru, küçük bir dalga veya akıntının etkisiyle sallanabilir. Bu sallantı sonrası çekilmekte boru dizgileri rotasından kolaylıkla çıkar tekrar rotasına getirmek büyük bir zaman kaybına neden olur. Bu nedenle bu yöntem genellikle korunan sularda uygulanır.

Borular şamandıralar arasında asılı durur. Eğer ki borunun bu asılı durduğu alan fazla ise boruyu deniz dibine indirme işlemleri gerçekleştirilirken borular üzerinde fazla gerilmeler oluşabilir. Yukarıdaki yöntem üzerinde yapılan bir varyasyonda boru kısımları kıyıda birleştirilir; böylece uygun gemiye olan gereksinim de ortadan kalkar.



Şekil 3.9 Yüzdürme yönteminde kullanılan ekipmanları ve bu yöntemi gösteren bir konfigürasyon

Yüzdürme yöntemi plastik boruların döşenmesinde de uygulanan başarılı bir yöntemdir. Boru hattı 200-300 m uzunluğunda dizgiler halinde kıyıda monte edilir. Her dizgi, daha sonra boru hattının çapına bağlı olarak beton ağırlıkların eklenmesi ile batırılır. Dizginin her ucu bir flans ile tutturulur. Ağırlık genellikle havayla dolu borunun kaldırma gücünün yüzde 90 ila 95 i kadardır. Bu yöntemde, ağırlık kütleleri karada bağlanmış, uçları kapalı ve içi hava ile dolu olan borular şekil 3.10'da görüldüğü gibi bir çekme vincine sahip gemi sayesinde yüzdürülerek denizdeki güzergahı üzerine getirilir ve sonra kara veya deniz tarafından boru içine kontrollü şekilde su verilerek boru hattı yavaş yavaş deniz tabanına batırılır. Pozisyonu oturduğunda dizgi dibe veya hazır bir çukur içerisine dikkatli şekilde indirilir. Son ağırlık ayarları beton ağırlıklarla yapılabilir. (Öztürk, 1996). Bu yöntem sert hava koşullarına karşı hassastır. Güçlü akıntılar çoğunlukla tek yönde olsa da, etkileri boruların dibe doğru çekilmeleri ile kontrol edilebilir. Tüm operasyon, birkaç uzman dalgıç ve güçlü bir tekne gerektirir. Fakat teknenin büyüklüğü ve kullanılacak dalgıçların sayısı projenin büyüklüğüne göre belirlenir. Böylece çeliğin döşenmesi için mavnalara ve yardımcı ekipmana olan gereksinim ortadan kalkmış olur.



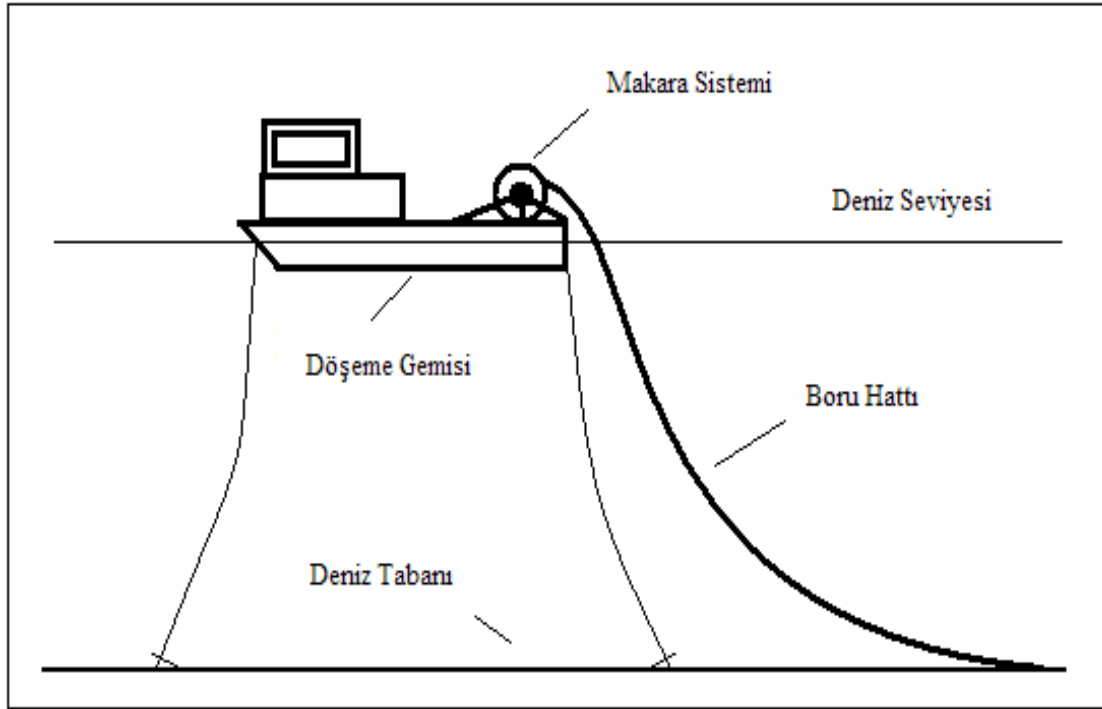
Şekil 3.10 Çekme vincine sahip bir gemi tarafından yüzdürülen boru hattı (APS Engineering, 2005).

3.4.9 Makaralı Döşeme Gemisi ile Boru Hattı Döşeme Yöntemi

Bu yöntem genellikle su sağlayıcı ve fazla uzun olmayan hatlarda kullanılır. 30 cm çapa kadar olan polietilen borular 10 km'den daha büyük uzunluklarda kullanılır. (Gunnerson & French, 1996). Plastik borular, gemide bulunan büyük bir makara veya bobin üzerinde sarılarak depolanır. Boru döşenirken uygulanana diğer aşamalarda ise boru, makaradan sürekli ve kesintisiz bir şekilde açılır ve güzergahına döşenir. Şekil 3.11'de bu yöntemde kullanılan makaralı bir düzeneğe sahip olan döşeme gemisi görülmektedir. Makaralı mavna yöntemi ile döşenmiş olan çelik borular, normal şartlarda polietilen yada epoksi kaplama ile kaplanır. Ağır duvar borular ise, bu teknikle yeterli negatif boru batmazlığına ulaşmak için kullanılır. Bu yöntem uygulanırken dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta vardır. Bu noktada borular döşenirken borunun izin vereceği eğrilik yarıçaplarının altına düşülmemesidir. Bu eğrilik yarıçapları boruların cinslerine göre değişmektedir. Eğrilik momenti, eğilme gerilmeleri ve eğrilik, kullanılan borunun elastoplastik davranışına da bağlıdır ve hesaplar buna göre yapılmaktadır. (Gunnerson & French, 1996). Şekil 3.12'de ise bu yöntemi anlatan bir konfigürasyon görülmektedir.



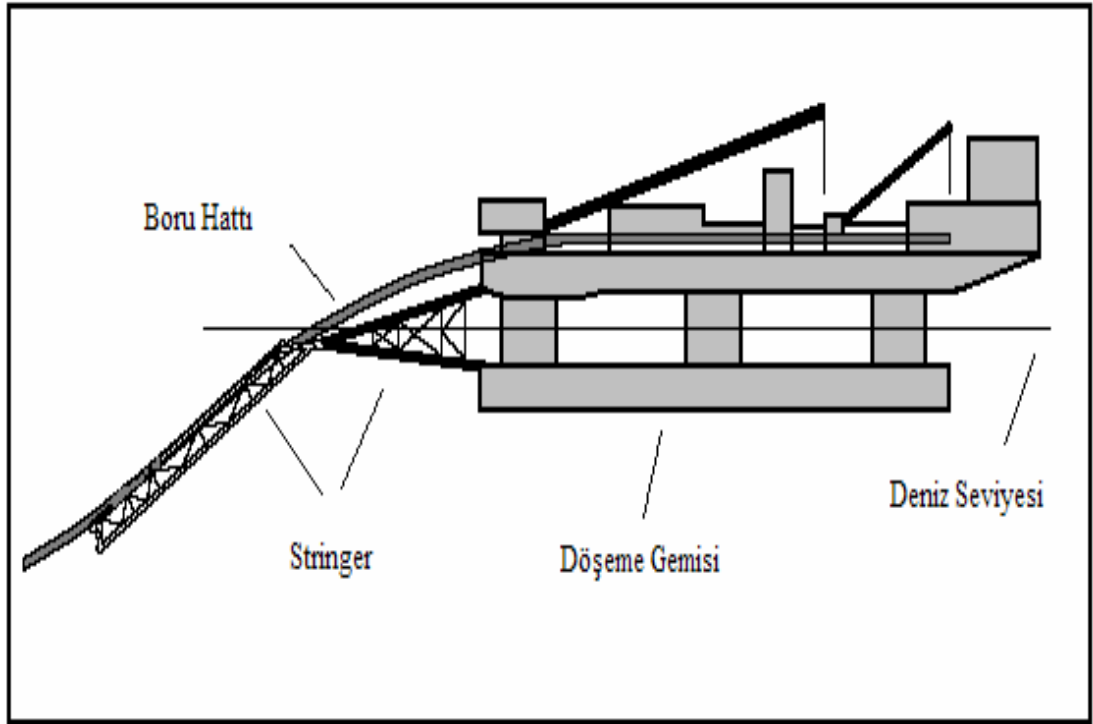
Şekil 3.11 Makaralı bir düzeneğe sahip olan döşeme gemisi (Mineral Management Services, 2005).



Şekil 3.12 Makaralı döşeme gemisi yardımı ile boru döşenmesi yöntemini gösteren bir konfigürasyon

3.4.10 S Lay Döşeme Yöntemi

Bu yöntem daha çok açık denizlerde petrol ve doğal gaz endüstrisi tarafından derin sularda kullanılmaktadır. Petrol ve gaz endüstrisi tarafından kullanılan döşeme gemileri, büyük yüzen boru hattı konstrüksiyon sistemleridir. Bu yöntemde kullanılan döşeme gemileri şekil 3.13 ve şekil 3.14'te gördüğümüz gibi çok büyük ve üzerinde birçok ekipman ve personel bulundurabilen büyük gemilerdir. Bu yöntemde kullanılan borular genellikle çelik kaplamalı borulardır. Bu borular yardımcı gemiler tarafından taşınır ve bu gemiler kullanılarak döşeme gemisine yüklenir. Gemiye yüklendikten sonra kaynakla eklenmeleri ve koruyucuyla kaplanmaları gemi üzerinde gerçekleştirilen çelik borular birbirine eklendikçe deniz dibine uzatılarak bir kablo gibi güzergahına döşenir. Döşeme gemileri basit veya fabrikasyon olanaklarına, otomatik pozisyonlama sistemlerine ve insanlar için kalacak yere sahip bir şekilde çeşitli üniteler halinde olabilir. Basit döşeme gemileri genellikle 6 ila 60 metre derinliğindeki kıyasal sığ sularda boru hattı döşeme için kullanılır. (Gunnerson & French, 1996).

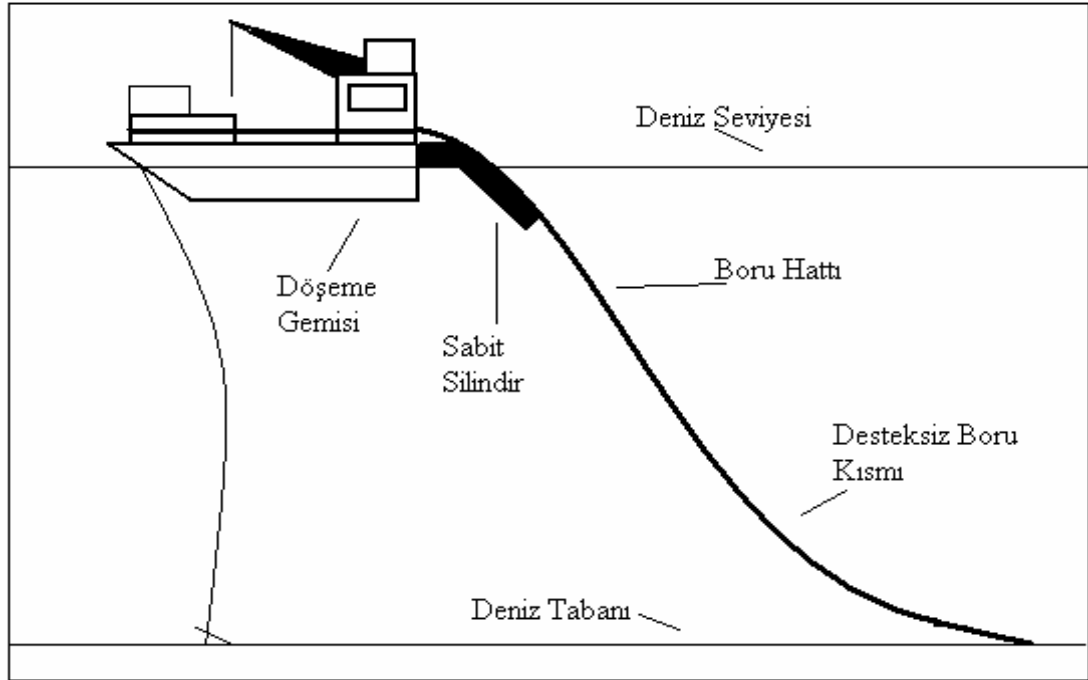


Şekil 3.13 S lay döşeme yönteminde kullanılan döşeme platformu



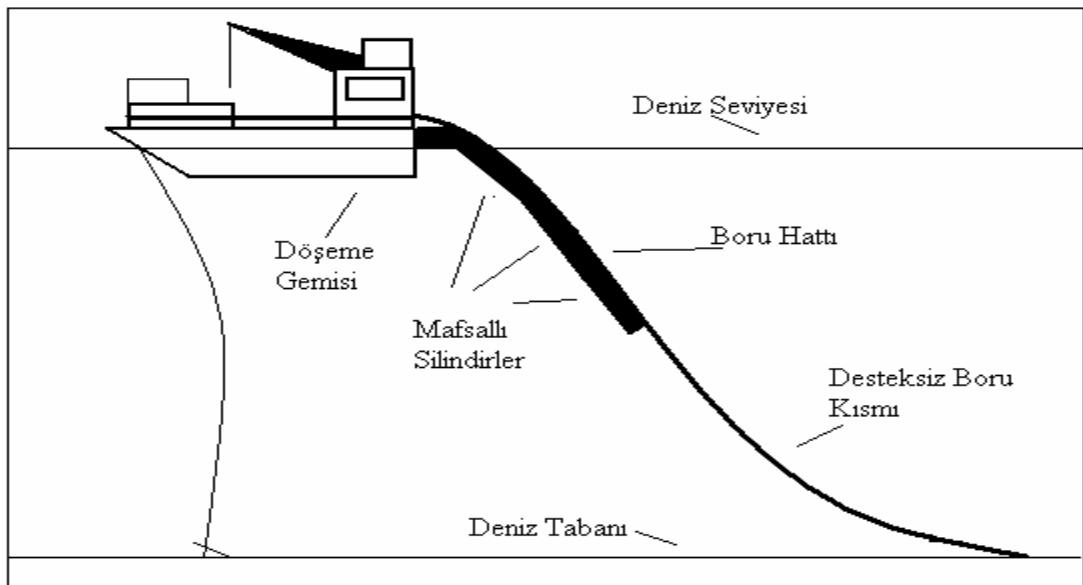
Şekil 3.14 S lay döşeme yönteminde kullanılan döşeme gemisi (Neo Elektro Optikk A.S., 2005).

Şekil 3.15'te 60 m'den daha az derinlikler için bir döşeme gemisi konstrüksiyon yöntemi görülmektedir. Boru konfigürasyonu, mavna monte alanı üzerinde silindirler tarafından desteklenen düz bir kısma, yüzen bir rampa üzerinde makaralar tarafından azalan boru hattının desteği olarak mavnanın ucunda bir silindire, silindir ve deniz dibi arasında desteksiz bir bele ve deniz dibi tarafından boru desteğine sahiptir. Boru kısımları döşeme gemisi üzerinde bir araya getirilir. Borular birleştirildikçe döşeme mavnası kendini çapa hatları üzerine doğru çeker. Bunlar hazır bulunan bir römorkör tarafından ileriye doğru hareket ettirilir. Boru, gemideki monte alanına ve silindirlere doğru ilerler. Bu silindirler daha sonra aşağıya yakın bir yere doğru ilerler. Böylece silindirlerin ucu ve deniz dibi arasındaki desteksiz boru kısmında büyük gerilimler oluşmaz. Silindir uzunluğu ve açısı, boru gerilimini minimum stresin yaklaşık yüzde 85'inin altında tutmak için tasarlanmıştır. (Gunnerson & French, 1996). Bu, borunun eğim üstü ve çökme alanlarındaki eğrilik derecesinin yarıçapının kontrol edilmesiyle gerçekleştirilir. 60 ila 200 metrelik su derinliklerinde silindirin ucu ve deniz dibi arasındaki desteksiz boru uzunluğu artar. Bunun sonucunda eğer eksensel gerilim boru hattına uygulanmazsa boru üzerinde aşırı bir gerilim ortaya çıkar.



Şekil 3.15 S lay döşeme yönteminde 60 metreden daha az derinlikler için kullanılan döşeme gemisi

Şekil 3.16’da ise derin sularda kullanım için bir döşeme gemisi görülmektedir. Boru konfigürasyonu şekil 3.15’tekine benzerdir; ancak mavnanın ucundan önce monte alanında bir germe aracı yer alır ve düz bir silindir yerine kıvrık veya mafsallı bir silindir kullanılır. Su derinliği artarsa desteksiz boru uzunluğu artar. Bunun sonucunda eğer eksensel gerilim boru hattına uygulanmazsa boru üzerinde aşırı bir gerilim ortaya çıkar. Boru hattına destek sağlayan bu silindirler genellikle düz, mafsallı ve eğik olmak üzere üç tiptir. Hepsinin de kendine ait özellikleri olmasına rağmen asıl amaçları aynıdır. Mafsallı silindirler genellikle 20 ila 40 metreden oluşan parçaların birleştirilmesiyle oluşurlar. Bu parçalar birbirine menteşelidir. Bu sayede düz silindirlere karşın daha fazla bir esnekliğe sahiptirler. Düz silindirlerin boyu ise 150 m ile 215 m arası değişmektedir. (Gunnerson & French, 1996). Bu silindirlerin boyu uzun olduğu için hareketleri daha yavaştır ve hantaldırlar. Fakat kötü hava koşullarında daha dayanıklıdırlar. Kötü şartlarda silindirleri ve boruyu suya batırarak bu koşullardan kurtulur. Daha kolay kırılırlar ve bakımlarının yapılması zordur. Mafsallı silindirler daha kısa ve daha hareketlidirler. Ayrıca değişen koşulları uyum sağlanması için silindir konfigürasyonu değiştirilebilir. Eğik silindirler mafsallı olanlarla aynı özelliklere sahiptirler. Şekil 3.17’de eğik bir silindire sahip bir döşeme gemisi görülmektedir. Ancak eğim yarıçapları bir işin başında fıkse edilir ve sadece bağlantının ayrılması ve tekrar bir kıyısız tesise çekilmesiyle değiştirilebilir.



Şekil 3.16 S lay yönteminde 60 metreden daha fazla derinlikler için kullanılan döşeme gemisi

Başarılı bir boru hattı döşeme için geminin ankrajı çok önemlidir. Çünkü çapanın kayması nedeniyle döşeme gemisinde aşırı veya ani bir hareket meydana gelebilir. Bu aşırı ve ani hareket döşenmekte olan borunun aşırı gerilmesine hatta kırılmasına veya silindirin başarısız olmasına neden olabilir. Kullanılan çapalar çok hafifse veya özel deniz dibi koşulları için uygunsuz bir şekilde tasarlanmışsa, problemler ortaya çıkabilir.

Günümüzde ankrajlamlar normal olarak sığ sularda 6 ila 8, derin sularda 8 ila 12 çapanın kullanılması gerekmektedir. (Gunnerson & French, 1996). Ankrajı sağlayan çapalar yardımcı römorkörler tarafından pozisyonlandırılır ve döşeme gemisi vinçlerine çelik kablolarla bağlanmaktadır. Ayrıca şekil 3.18’de gördüğümüz gibi bu yöntemde de döşenecek boruların döşeme gemisine fazladan yük olmaması için boruların taşınması olayında yardımcı gemiler kullanılabilir.



Şekil 3.17 S lay döşeme yönteminde kullanılan ve eğik bir silindire sahip döşeme gemisi (Hauge & Statoil, 2005).



Şekil 3.18 S lay döşeme yönteminde kullanılan ve döşeme gemisine boruları taşıyan yardımcı gemi (Paragon Engineering, 2005).

3.4.11 J Lay Döşeme Yöntemi

Bu yöntem petrol ve doğal gaz endüstrisi tarafından genellikle açık denizlerde fazla derinliklerde boru döşenmesi için kullanılır. Bu yöntem Türkiye ile Rusya arasındaki doğal gaz boru hattı inşasında uygulanmıştır. Bu yöntem sayesinde Karadeniz'e döşenene söz konusu deniz hattı 2150 m derinlikle bir dünya rekoruna imza atmıştır. Boru hattının derin su kısımları Saipem 7000 adlı gemi kullanılarak J lay döşeme yöntemiyle döşenmiştir. (Dumitrescu, Massimo & Trifon 2002). Şekil 3.19'da Mavi Akım projesinde kullanılan Saipem 7000 adlı gemiyi görmekteyiz. Saipem 7000 ayrıca, baş kısmı üzerine kurulu olan iki adet 7000 tonluk vinç ile oldukça ağır bir vinç gemisidir. Bununla birlikte, J lay döşeme yönteminin öncelikle bir derin su yöntemi olmasından dolayı sığ sularda bazı sınırlamalar ortaya çıkar. Bu yüzden Mavi Akım boru hatlarının sığ su kısımlarının S-döşeme mavnaları ile döşenmesi gerekmiştir. Türkiye ve Rusya sahil bölgelerinde ise S lay döşeme yöntemi kullanılmıştır. S lay döşeme yöntemi ile boru döşeme işlemi Rusya yamaçlarında ve yaklaşık 360 m derinlikte ve Türkiye tarafındaki 155 m büyüklüğünde bir derinlikte yapılmıştır. S lay döşeme yönteminde ise şekil 3.20'de

gördüğümüz Castoro Otto adlı döşeme gemisi kullanılmıştır. Karadeniz’e yapılan Mavi Akım projesinin toplam uzunluğu yaklaşık 385 km’dir.

Açık denizlerde su altı boru hatları döşeme yöntemleri arasında en başarılı tekniğin j-lay döşeme yöntemi olduğu artık kanıtlanmıştır. Borular, bir geminin bordasına yerleştirilen dikey bir rampa aracılığıyla deniz içine döşenir. Boru hattı optimum açı pozisyonunda tutulur ve aşağı doğru indirilirken daha önceden belirlenmiş bir yüksek gerilme kuvveti ile çekilir. Bir J döşeme gemisi üzerindeki dikey alan konfigürasyonu sadece bir boru bağlama istasyonuna olanak sağlar. Dolayısıyla hızlı ve güvenilir bir boru bağlama tekniği veya çoklu boru kısımları, J döşeme yönteminin pratik kullanımı için ön şarttır. J döşeme yöntemi, klasik S döşeme yöntemine göre birtakım avantajlar sağlar. Öncelikle borunun daha doğal bir konfigürasyonda döşenmesini sağlar. Boru gerilimlerini lineer elastik sınır içerisinde daha iyi bir şekilde tutabiliriz. Boru hattı döşenirken istenilen optimal rota kullanılabilir ayrıca J lay döşeme yöntemi boru döşenirken S lay yöntemine göre hava koşullarında daha az etkilenir. (Dumitrescu, Massimo & Trifon 2002).



Şekil 3.19 Mavi Akım projesinde derin sulara boru döşenmesinde kullanılan Saipem7000 (Saipem S.p.A., 2005).



Şekil 3.20 Mavi Akım projesinde sığ sulara boru döşenmesinde kullanılan Castoro otto (Saipem S.p.A., 2005).

3.5 Yapım Yöntemlerinin Olabilirlik Açısından Değerlendirilmesi

Denizaltı boru hatları günümüzde özellikle deniz deşarjı sistemleri ve doğal gaz ve petrol endüstrisi tarafından kullanılmaktadır. Yukarıda saydığımız yöntemler arasında özellikle vinçli bir döşeme gemisi ile boru hattı döşeme yöntemi, dibe çekme yöntemi, yüzdürme yöntemi, makaralı döşeme gemisi ile boru hattı döşeme yöntemi, S lay döşeme yöntemi ve J lay döşeme yöntemi günümüzde denizaltı boru hattı döşenirken uygulanan en önemli ve güncel yöntemlerdir. S lay ve J lay yöntemleri özellikle açık denizlerde diğer yöntemler ise daha çok sığ sularda uygulanır. Yüzdürme yöntemi ile ve vinçli bir döşeme gemisi ile yapılan döşeme işlemleri özellikle kötü hava koşullarından etkilenirler. Dibe çekme yönteminde ise boru hattının düşmanı kayalık zeminlerdir bu tip zeminlerde bu işlem yapılamaz yoksa boru hattı zarar görür. Polietilen boruların döşenmesinde uygulanan en kolay yöntem makaralı döşeme gemisi ile yapılan döşeme yöntemidir. Bunun yanında J lay yöntemi açık sularda uygulanan en başarılı boru hattı döşeme yöntemidir. Tablo 3.1' de ise bu yöntemlerin olabilirlik açısından karşılaştırılmasını görmekteyiz

Tablo 3.1 Yapım yöntemlerinin olabilirlik açısından karşılaştırılması.

Döşeme Yöntemi	Uygulama Yerleri	Hava Şartları	Gereksinim	Boru Tipi	Zemin	Avantaj Dezavantaj
Vinçli bir döşeme gemisi ile boru döşeme	(onshore) Deniz Deşarjı Yapıları	Kötü havadan etkilenir	Boruları taşımak için yardımcı gemiler kullanılır.	Plastik ve çelik borular kullanılır.	Yer tehlikesi olmayan her zeminde uygulanır	Geminin boru taşıma kapasitesi azdır. Sadece korunan sularda uygulanır.
Dibe Çekme Yöntemi	(onshore) Deniz Deşarjı Yapıları	Kötü havadan etkilenir	Boruların depolanması ve montajı için kıyıda alana ihtiyaç vardır.	Plastik ve çelik borular kullanılır.	Sert zeminlerde uygulanmaz	Çekme işlemi ara verilmeden yapılmalıdır.
Yüzdürme Yöntemi	(onshore) Deniz Deşarjı Yapıları	Kötü havadan etkilenir	Yüzdürme ekipmanlarına ihtiyaç duyulur.	Plastik ve çelik borular kullanılır.	Her zeminde uygulanır	Sadece korunan sularda uygulanır
Makaralı döşeme gemisi ile.	Su sağlayıcı kısa hatlar	Kötü havadan az etkilenir	Makara sistemine ihtiyaç duyulur.	Polietilen borular.	Her zeminde uygulanır	Boru hattı kısa zamanda tamamlanır.
S Lay	(offshore) Doğal gaz ve petrol hatları	Kötü havadan az etkilenir	Boruları taşımak için yardımcı gemiler kullanılır.	Plastik ve çelik borular kullanılır	Her zeminde uygulanır	Ekipman ve personel fazla olduğundan maliyet fazladır.
J Lay	(offshore) Doğal gaz ve petrol hatları	Kötü havadan az etkilenir	Boru nakli için gemiler gerektirir.	Çelik Borular kullanılır.	Her zeminde uygulanır	Döşeme işlemi hızlıdır.

BÖLÜM DÖRT

SONUÇLAR

4.1 Sonuçlar

Dünyamızda petrol ve doğal gaz endüstrisinin her geçen gün daha da gelişmesi, hammaddenin büyük bölümünün taşınımını sağlayan denizaltı boru hatlarının önemini arttırmıştır. Denizaltı boru hatları inşaatı kapsamında birçok bilimsel çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmaların en başında güvenli bir boru hattı güzergahı seçilmesi için yapılan fizibilite çalışmaları gelir. Olabilirlik çalışmaları üç aşamada yürütülmektedir. Bunlar oşinografik çalışmalar, jeofizik çalışmalar ve jeoteknik çalışmalardır. Bu çalışmalardaki asıl amaç boru hattı için uygun güzergah bulmaktır.

Dünyamıza bakıldığında bugüne kadar yapılmış olan en derin denizaltı boru hattı projesi Rusya-Türkiye Mavi Akım doğalgaz boru hattı projesidir. Bu çalışmada, Mavi Akım doğal gaz boru hattı projesinde yapılan fizibilite çalışmaları örnek alınmıştır. Yapılan ayrıntılı fizibilite çalışmaları sonucu Mavi Akım doğal gaz boru hattı güzergahı için olası yer tehlikeleri ortaya konularak en güvenli ve en uygun boru hattı güzergahı önerilmiştir. Denizaltı boru hatları için dik yamaçlar, yamaç bölgelerinde kaymalara neden olan gaz hidrat birikimleri, faylanmalar, şelf bölgelerindeki gaz birikimlerinin neden olduğu tortulların duyarsızlaşması, gaz çıkışlarının oluşturduğu çöküntü alanları, pockmark bölgeleri, kıtasal yamaç bölgelerindeki kaymalar ve sürüklenmeler, çamur volkanları olası yer tehlikelerinin başında gelir. Mavi Akım projesinde yapılan fizibilite çalışmaları sonrası bu saydığımız olası yer tehlikeleri saptanmış ve en güvenli güzergah bulunmuştur.

Deniz altı boru hatları inşaatı için önemli olan diğer bir konu boru hattı döşeme yönteminin seçilmesi ve uygulanmasıdır. Döşeme yöntemi seçilirken dikkate almamız gereken kriterler vardır. Bunların başında boru büyüklüğü, boru hattı uzunluğu, su derinliği, yapım ekipmanlarının durumu, kıyıdaki alan ve olası yer tehlikeleri gelir.

Dünyamızda uygulanan yapım yöntemleri arasında deniz dibinde birleştirme,yüzeyde birleştirip daha sonra batırılarak döşeme, kıyıda deniz dibine çekme, yüzdürme ve son olarak açık denizlerde kullanılan S-Lay ve J-Lay yöntemleri yer alır. Mavi Akım boru hattı projesinde 2230 metre maksimum su derinliğine J-Lay döşeme yöntemi ile boru hattı döşenmiştir. Bu da bize J-Lay döşeme yönteminin açık denizlerde boru hattı döşeme işleminde ne kadar başarılı bir yöntem olduğunu göstermiştir.

KAYNAKLAR

- APS Engineering. (2005). *Anticorrosion Protective Systems-HDPE Pipeline Installation, Maitenance and Rehabilitation*. 14 Şubat 2005,
<http://hydrocarbons-technology.com/contractors/pipeline/ags/ags4.html>
- Bibby Line Limited. (2005). *tbonepic4-3*. 16 Şubat 2005,
<http://www.bibbyline.co.uk/java/rigs/tbonepic4-3.html>
- Çifçi, G. , Ergün, M. ve Dondurur, D. (2000). *Denizaltı Boru Hatları Güzergah Seçiminde Yapılması Gereken Jeofizik ve Jeoteknik Çalışmalara Bir Örnek*. 13. Türkiye Ulusal Jeofizik Kongresi, Ankara.
- Çifçi, G., Dondurur, D. ve Ergün, M. (2002). *Dzubga-Samsun (Rusya-Türkiye) Mavi Akım Doğal Gaz Boru Hattı Güzergah Seçiminde Jeofizik ve Jeoteknik Çalışmalar*. Dördüncü Kıyı Mühendisliği Ulusal Sempozyumu, Antalya.
- Çifçi, G., Dondurur, D. ve Ergün, M. (2002). *Dzubga-Samsun (Rusya-Türkiye) Mavi Akım Doğal Gaz Boru Hattı Güzergah Seçiminde Jeofizik ve Jeoteknik Çalışmalar*. E. Çevik, (Ed.), (24-27 Ekim 2002). *Dördüncü Kıyı Mühendisliği Ulusal Sempozyumu Bildiriler Kitabı* içinde (305-310) Ankara: Kozan Ofset.
- Çifçi, G., Dondurur, D. ve Oral, E. Z. (2002). *Dünya'nın En Derin Deniz Altı Boru Hattı İçin Olabilirlik Çalışmaları*. Özhan, E. ve Alpaslan, N. (Ed.), (5-8 Kasım 2002). *Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları IV. Ulusal Konferansı, Türkiye Kıyıları 02 Konferansı Bildiriler Kitabı* içinde (1219-1224) Ankara: Kıyı Alanları Yönetimi Türk Milli Komitesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- Çifçi, G., Dondurur, D. ve Oral, E. Z. (2002). *Dünya'nın En Derin Deniz Altı Boru Hattı İçin Olabilirlik Çalışmaları*. Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları IV. Ulusal Konferansı, Türkiye Kıyıları 02 Konferansı, İzmir.

Ductile Iron Pipe Research Association. (2001). *Ductile Iron Pipe Subaqueous Crossings*. 16 Şubat 2005, <http://www.dipra.org/pdf/subaqueous.pdf>

Dumitrescu, A. , Massimo, P. & Trifon, M. (26 November 2002). *Deep Water Seelines Installation By Using The J-Lay Method – The Blue Stream Experience*. 26 Şubat 2005, <http://www.upg-ploiesti.ro/sescom/pdf/s05/s05-l01-ad.pdf>

Gunnerson, G.G. , & French, A.J. (1996). *Wastewater Management For Coastal Cities* (2nd ed.). Berlin: Springer.

Hauge, M. & Statoil R&D. (2005). *Ultra Deep Water Pipeline Capabilities and Challenges*. 17 Şubat 2005, <http://www.sintef.no/units/matek/fracturecontrol/tokyo/%20ultra%20deep%20water%20pipeline%20concepts.pdf>

Mineral Management Services. (2005). *An Overview of Pipeline Configuration Alternatives*. 16 Şubat 2005, <http://www.mms.gov/tarworkshops/WorkshopsPages/PipelineWorkshops/workshop%2025/Presentations/mcbeth.pdf>

Neo Elektro Optikk A.S. (2005). *Pipeline Inspection*. 16 Şubat 2005, <http://www.neo.no/research/pipeline/simplist.html>

Oğuz, T. ve Tuğrul, S., (1998). Denizlerimizin Genel Oşinografik Özelliklerine Toplu Bir Bakış. N. Görür, (Ed.), *Türkiye Denizlerinin ve Çevre Alanların Jeolojisi* içinde (1-21). İstanbul:Arıkan

Öztürk, İ. (1996). *Atıksu Ön Arıtma Ve Deniz Deşarjı Sistemleri* . Çevre Teknolojisi Anabilim Dalı. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası

Petergaz B.V. (1998). *Blue Stream Project Route Selection of Djubga to Samsun Submarine Gas Pipeline Volume-1 Geophysical Survey Report Section-4 Corings, Current Meters, Corrossion Frame*. Netherlands: NESA

Petergaz B.V. (1998). *Blue Stream Project Russia to Turkey Pipeline Volume-2 Geophysical Report*. Netherlands: NESA

Petergaz B.V. (1998). *Feasibility Survey Blacksea Pipeline Route Russia- Turkey Volume-4 Geophysical Survey Report*. Netherlands: NESA

Petergaz B.V. (1998). *Feasibility Survey Blacksea Pipeline Route Russia- Turkey Volume-5 Geotechnical Report*. Netherlands: NESA

Paragon Engineering. (2005). *Marine Pipelines*. 16 Şubat 2005,
<http://www.paraengr.com/pdfs/MarinePipeline.pdf>

Sahling, H., Blinova, D., Çifçi, G., Çorpur, S., Dondurur, D., Klaucke, I., Lursmanashvili, N., Okay S., Renken, J., & Schott, T. (2004). *Report And Preliminary Results Of R/V Poseidon Cruise P317/4 Istanbul-Istanbul*. Bremen:Universitat Bremen

Saipem S.p.A. (2005). *Samsun_03*. 16 Şubat 2005,
http://www.saipem.it/BlueStream/images/photo/Samsun_03.jpg

Saipem S.p.A. (2005). *Blue Stream*. 16 Şubat 2005,
http://www.saipem.it/media_gallery/brochure/BlueStream.pdf

Saipem S.p.A. (2005). *Castoro_II*. 16 Şubat 2005,
http://www.saipem.it/media_gallery/brochure/Castoro_II.pdf

Saipem S.p.A. (2005). *Castorootto_01*. 15 Şubat 2005,
http://www.saipem.it/BlueStream/images/photo/castorootto_01.jpg

Salt, P. J. & Associates (2005). *Crane_Barge*. 16 Şubat 2005,
http://www.pjsa.co.uk/gallery/crane_barge.html

Saipem S.p.A. (2005). *Saipem7000_01*. 16 Şubat 2005,
http://www.saipem.it/BlueStream/images/photo/Saipem7000_01.jpg

Sükan, L. M. (1986). *Açık Deniz Altında Boru Döşeme Tekniği*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaat ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi.