

## MTA DENİZ ARAŞTIRMALARI LABORATUVARI KAROT TARAMA SİSTEMLERİ; ITRAX VE MSCL-S

Şule GÜRBOĞA\* ve Ahmet BAŞARAN\*

### ÖZ

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) kuruluşundan bu yana yerbilimleri ve madencilik alanında hem devlet hem de özel sektöre öncülük ederek bu kapsamdaki çalışmalara önemli katkılar sağlamıştır. Bu kapsamda, son yıllarda atılan önemli adımlar ile denizcilik alanındaki araştırma olanakları artırılmış ve bu sayede denizlerimizde bilimsel ve doğal kaynakların araştırılması çalışmalarına daha fazla olanak tahsis edilmiştir. 2017 yılında denizlerimizde araştırma yapmaya başlayan ORUÇ REİS Araştırma Gemimizin elde edeceği sismik ve jeolojik verilerin değerlendirilebilir hale gelmesi için de MTA bünyesinde yoğun bir şekilde altyapı geliştirme faaliyetleri devam etmektedir. Söz konusu altyapı geliştirme faaliyetlerinin başında Haziran 2018 tarihinde araştırma gemimiz tarafından alınacak karot örneklerinin yüksek çözünürlüklü olarak kimyasal ve fiziksel analizlerinin yapılabilmesini sağlayan iki cihaz temin edilmesi gelmektedir. Bu analizleri yapan cihazlardan ilki sediman karotları üzerinde mikro-XRF ve radyografik analiz yapabilen ITRAX (Core Scanner), ikincisi ise fiziksel parametreleri ölçebilen (gama yoğunluğu, P dalgası, manyetik hassasiyet ve Munsel rengi) MSCL-S (Multi Sensor Core Logger-Standart)'dir. Elde edilecek analiz sonuçları jeolojik, arkeolojik ve iklimsel çalışmalara önemli katkılar sağlamak ve literatürde de kullanımı her geçen gün artmaktadır.

Kurulumu tamamlanan ve aktif bir şekilde analiz yapmaya başlayan bu cihazlar sadece MTA projelerine değil ülkemizde benzer çalışmalar yapan üniversite ve özel sektöre hizmet verecek şekilde organize edilmiştir. Böylelikle yapılan çalışmalar için daha yüksek çözünürlükte veri üretmek daha doğru sonuçlar elde edilmesi sağlanacaktır.

### 1. Giriş

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) kendisine kanunlarla verilmiş yetkiler doğrultusunda “Yer bilimleri ve madencilik alanında arama, araştırma, analiz, altyapı ve bilgi hizmetlerini bilimsel ve teknolojik yöntemler kullanarak, etkin ve verimli bir şekilde çevresel faktörleri de göz önüne alarak sanayinin ve toplumun hizmetine sunmak, ülke refahına katkıda bulunmak” misyonu ile çalışan, ülkemizin yerbilimleri alanında en yetkin kurumudur. Bu misyon doğrultusunda Kurumumuz kendini sürekli ilerleyen bilimsel ve teknolojik gelişmelere ve gerek duyulan ihtiyaçlara göre güncellemektedir. Bu gelişmeleri takip ederek ülkemizin kalkınmasına büyük katkılar sağlayan MTA'nın son dönemdeki en önemli atılımlarından biri 23 Haziran 2017 tarihinde geçici kabulü yapılan ORUÇ REİS gemisidir. ORUÇ REİS Araştırma Gemimiz (Şekil 1), modern sevk ve manevra sistemleriyle birlikte, jeofizik sistemler (2B/3B derin sismik, gravite, manyetik) ve deniz tabanı ayrıntılı görüntüleme/haritalama sistemleri, uzaktan kumandalı sualtı aracının (ROV) yanı sıra, su kolonu ve deniz tabanından jeolojik örnekleme yapabilecek ekipmanlarla donatılmış ve 2017 yılı Ağustos ayı içerisinde operasyon test, eğitim ve tecrübe faaliyetlerine başlamıştır.

Deniz yetki alanlarımız başta olmak üzere tüm kıyı ötesi alanların jeolojik yapısının araştırılması, yeraltı kaynaklarının ortaya çıkarılması, kıyı ve kıyı ötesi alanlarla ilgili bilgi ve bilimsel altyapı hizmetlerinin üretilmesi, çevre koruma bilinciyle modern teknolojilerden yararlanılarak üretilen bilimsel altyapı bilgilerinin sağlıklı ve seri bir şekilde ortaya konulması amaçlanmaktadır. Bunun yanında MTA projeleri kapsamında yapılan özgün araştırmalarımızın yanında diğer ulusal ve/veya uluslararası kurum, kuruluş ve üniversiteler ile işbirlikleri yapmayı ve/veya denizlerimizde yürütülen yerbilimleri çalışmalarına yürütücü veya destekleyici olarak katılmayı ve uzman araştırmacı yetiştirmeyi hedeflemektedir. Yerbilimsel çalışmalar kapsamında yapılacak jeolojik ve jeofiziksel tüm çalışmaların ORUÇ REİS Araştırma Gemisi tarafından

\* Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Deniz Araştırmaları Dairesi Başkanlığı, ANKARA.



Şekil 1- ORUÇ REİS Araştırma Gemisi.

denizlerden veri toplanmasının ardından, veri işleme ve laboratuvar koşullarında değerlendirilerek yorumlanabilir anlamlı çıktılar haline gelmesi için de altyapı çalışmaları hızla devam etmektedir. Jeolojik ve özellikle sedimantolojik çalışmaların yapılabilmesi için alınacak karot örneklerinin en doğru şekilde analiz edilerek çıktılarının yayınlanması büyük önem taşımaktadır. İşte bu nedenle, deniz yetki alanlarımızdaki faaliyetlerimizin altyapı imkânlarının geliştirilmesine ilişkin olarak MTA Ankara merkez kampüsünde “Deniz Araştırmaları Laboratuvarı” kurulmuş, deniz ve göl sedimanlarının analiz edilmesi amacıyla da laboratuvarımız faaliyetlerine başlamıştır. Deniz Araştırmaları Laboratuvarı mevcut teçhizatları ve 2018 yılında tedarik edilmiş olan ITRAX mikro-XRF ve MSCL-S Karot loglama cihazları sayesinde görsel ve denizel karotlarda uygulanacak birçok analizi yapabilir hale gelmiştir. ITRAX mikro-XRF cihazı 0.5 mm (500 mikron) çözünürlükle sedimanlara ait elementer analiz yapabilmektedir. MSCL-S Karot loglama cihazı ise bu sedimanlardan alınmış karot örnekleri üzerinde 0.5 cm hassasiyette gama yoğunluğu, P dalgası, manyetik duyarlılık ve Munsel renk katalog parametrelerini ölçebilmektedir. Her iki cihazın yetenekleri düşünüldüğünde yapılacak

çalışmaların çerçevesi oldukça geniştir. Sözkonusu cihazlar petrol-gaz aramalarında, madencilik sektöründe, paleoklim çalışmalarında, oşinografi araştırmalarında, jeolojik araştırmalarda ve özellikle eski depremlerin tespitinde olmak üzere gitgide artan bir oranda hem ekonomik hem de bilimsel birçok çalışmaya doğru ve hızlı veri üretir hale gelmiştir.

Bu yazımızda, 2018 yılında kurulumu tamamlanan ve analiz yapabilir hale gelen ITRAX ve MSCL-S cihazlarının yetenekleri ve kullanım alanları konusunda bilgi verilecektir.

## 2. Deniz-Göl Karotları Analiz Cihazları

Deniz sedimanlarından alınan karot örnekleri çeşitli amaçlara yönelik olarak analiz edilmektedir. Analiz türü ve sıklığı hedeflenen amaç doğrultusunda değişmekte ve yüksek çözünürlüklü çalışmalarda numune miktarları ve analiz süreleri dikkate alındığında istenen sonuca ulaşmak bazen çok uzun sürmekte bazen ise mümkün olamamaktadır. Örneğin, XRF, XRD ve fosil analizlerinin aynı anda istendiği 7 cm çapındaki bir karot örneğinden alınan sedimanların her bir analiz çeşidi için belli gramlarda olması gerekliliği, bazen şahit

örnek bırakmadan tüm sedimanın kullanılması veya mevcut karot sedimanının yetmemesi durumlarını ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca, standart analizler dikkate alındığında bu tür analizleri 6 ay ila 1 yıldan önce alınamaması sonucuna varılmaktadır. Karot sedimanlarının analizindeki bir diğer nokta ise belli gramda örnek ihtiyacından ötürü XRF analizlerinin ancak 2-5 cm'de bir yapılabilmesini mümkün kılmakta bu da seyrek veri durumunu ortaya çıkarmaktadır.

Tüm bu süreçlerin analiz aşamasında ortaya çıkardığı olumsuzluklar ve elementer özelliklerin deniz ve göl sedimanlarında birçok göstergeye işaret etmesi nedeniyle son 20 yıl içinde yüksek çözünürlüklü karot analizlerinin yapılabilmesi için farklı firmalar tarafından analiz cihazları üretilmiştir.

Karotlar üzerinde XRF analizleri yapılabilmesi için dünya literatüründe önemli yer kaplayan başlıca 3 cihaz mevcuttur: bunlar AVATECH (Japonya), GEOTEK (İngiltere) ve ITRAX (İsveç). Öte yandan fiziksel parametre ölçen oldukça fazla cihaz konfigürasyonu olmakla beraber en yaygın olan GEOTEK firması tarafından üretilen MSLC-S cihazıdır.

Çizelge 1- El tipi XRF ve Mikro-XRF cihazının karşılaştırılması.

Analiz Türü	El Tipi XRF	ITRAX	Karşılaştırma
1 m lik bir karotu ölçme süresi (500 mikron çözünürlükte)	10 gün	16 saat	15 kat daha hızlı
Görüntüleme zamanı	20 saniye	2 saniye	10 kat daha hızlı
Sabit zamanda ölçülen alan miktarı	0.5 cm <sup>2</sup>	0.012 cm <sup>2</sup>	4.1 katı daha hızlı ve hassas
Hafif elementlerin tespitindeki duyarlılığı	Sadece %2'den fazla olan elementleri ölçebiliyor	Daha kesin analitik veri üretebiliyor. %0.0005 oranında ölçülme limitine sahiptir	ITRAX için yüksek duyarlılık
Ağır elementlerin tespitindeki duyarlılığı	Ölçülen konsantrasyonları ITRAX sonuçlarına göre çok düşük	Ölçülebilir limitlerinden dolayı hepsini ölçebiliyor	ITRAX için Yüksek duyarlılık
Normal ölçüm limitleri (100 s)	50 ppm Si 10 ppm Ti 0.5 ppm Sr	9000 ppm Si 60 ppm Ti 5 ppm Sr	ITRAX daha yüksek
Optik resim çekme ve yüksek çözünürlüklü X-radyografi taraması	yok	var	Sadece ITRAX'ta mevcut

MTA bünyesinde oluşturan Deniz Araştırmaları Laboratuvarı'nda kimyasal parametreler için ITRAX ve fiziksel parametreler için de MSCL-S cihazlarının temini sağlanmıştır. Cihazların kapasiteleri ve yaptıkları analizlerin yorumlanması hakkında aşağıda detaylı bilgiler sunulmuştur.

## 2.1. ITRAX (Mikro XRF)

XRF analizleri, dünyada karotlu deniz araştırma projelerinde sedimantolojik yapı, eski depremlerin tespiti, ağır metal içeriği, kil parajenezi, paleoklimsel değişimler, petrol aramacılığı ve hatta denizaltı madenciliği projelerinde sunduğu elementer analiz sayesinde önemli verilerin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu durum son yıllarda üretilen yüksek çözünürlüklü XRF cihazlarının analiz kapasitesi ile daha da ileri taşınarak daha hızlı ve etkin sonuçlar elde edilmeye başlanmıştır. El tipi XRF cihazı ve mikro-XRF cihazının karşılaştırılması sonucunda elde edilen bilgilerde bu tür cihazların süre ve yetenek anlamında ne kadar ilerde olduğunu göstermektedir (Çizelge 1).

Yüksek çözünürlüklü karot tarama cihazları sayesinde karot sedimanları herhangi bir örselenmeye maruz kalmadan ve otomatize edilmiş tarama mekanizması sayesinde mikron hassasiyetinde XRF ölçümü yapılabilir hale gelmiştir (Croudace vd., 2006). Son 10 yıl içinde yapılan ve bilimsel indekslerde yayınlanan dergilerde sayıları giderek artan çalışmalar mikro-XRF yöntemi ile paleo-çevre, paleo-iklim, paleo-tektonik ve kirlilik konularında yoğunlaşmaktadır. Verilerin tutarlılığı, korelasyonu, hızlı bir şekilde sonuç elde edilmesi ve veri kalitesi dikkate alındığında da ne kadar kıymetli verilerin ortaya çıktığı görülmektedir (Jansen vd., 1998; Rothwell vd., 2006; Thomson vd., 2006).

MTA bünyesinde 2017 yılında denizlerimizde araştırma yapmaya başlayan ORUÇ REİS gemimiz hem sismik hem de jeolojik çalışmalar yapabilen yetenekte donatılmış ilk yerli ve milli gemi olma özelliğini taşımaktadır. Denizlerimizden elde edilecek her türlü verinin ülkemiz kapsamında bulunan imkânlarla yorumlanması her bakımından büyük önem taşıdığından, Deniz Araştırmaları Dairesi Başkanlığı'nda kurulumu tamamlanan Deniz Araştırmaları Laboratuvarı'nda mikro-XRF analizi yapmak amacıyla İsveç firması olan Cox Analytical firmasından ITRAX (Şekil 2) cihazı temin edilmiştir.

ITRAX cihazı, 0.2 mm (200 mikron) çözünürlüklü mikro-XRF analizi yapabilmesi,

yüksek çözünürlüklü RGB kamera sayesinde karot yüzey fotoğraflaması, sediman deformasyon yapılarını görebildiği radyografik görüntü alması ve yaklaşık 1.5 m lik karota ait tüm analizi 1 günde tamamlayabilmesi bakımından deniz sediman analizlerinde büyük önem arz etmektedir.

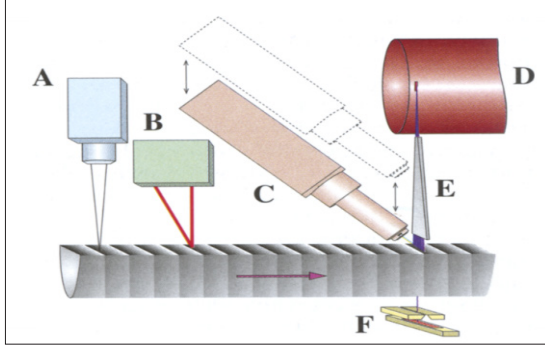
Laboratuvar koşullarında yarılanmış ve temizlenmiş karotun (en fazla 180 cm uzunluğunda olması gerekmektedir) cihazın solunda bulunan bölüme yerleştirilmesinden sonra gerekli uzunluk ve parametre ayarlarının yapılması ile analize başlanabilir. Karot öncelikle yüzey taraması ve RGB fotoğraf çekilmesi amacıyla hareket etmesi için ayarlanır ve karot ilk pozisyonuna tekrar alınır. Daha sonra radyografi ve  $\mu$ XRF analizi için tekrar analiz çözünürlüğü ve ölçüm süresi belirlenerek sensörün kendisini daha önce aldığı parametreler ışığında ayarlamasıyla analiz başlar. ITRAX cihazının ölçüm yapan kısımları ortasında bulunan yüksek bölümdaki parçalar sayesinde gerçekleşir (Şekil 3).

ITRAX cihazı, periyodik tabloda Al (Z=13) ve U (Z=92) da dahil olmak üzere bu elementlerin arasında kalan tüm elementleri farklı hassasiyette ölçebilmektedir.  $\mu$ XRF analizlerinin süresi seçilen çözünürlük ve ölçüm süresine bağlı olarak farklılıklar gösterebilmektedir. Yapılan analizler sonucunda ortaya çıkan verinin doğru değerlendirilmesi ve dolayısıyla da doğru sonuçlara ulaşılması büyük önem taşımaktadır.  $\mu$ XRF analizleri



Şekil 2- ITRAX analiz odasından bir görünüm.

sonucunda elde edilen elementer veriler tek tek veya birbirlerine oranlanarak farklı sedimentolojik ve litostratigrafik olarak yorumlanabilmektedir. Zaman içindeki değerlendirmeler ve laboratuvarında yapılan direk analizler ile karşılaştırma sonucu ortaya çıkan bu parametreler ve temsil ettikleri anlamlar için amaca ve araştırmaya bağlı farklı yorumlar yapılsa da bilimsel olarak genel kabul gören bazı parametreler ve yorumları Çizelge 2'de sunulmuştur.



Şekil 3- ITRAX cihazının şematik gösterimi. (A) çizgisel optik kamera, (B) üçgen lazer sistemi, (C) detektör, (D) 3 kW X-ray tüpü, (E) X-ray dalga, (F) çizgisel radyografik kamera (Croudace vd., 2006).

Çizelge 2- ITRAX analizleri ve genel kabul gören yorumları (Croudace vd., 2006; Rothwell ve Croudace, 2015).

Elementler	ITRAX Güvenilirliği	Göstergeler
Ca/Fe	Yüksek	Türbidit-pelajik çamur sınırı, tane boyu dağılımı
Sr/Ca	Yüksek	Yüksek değer için aragonit ve dolayısıyla sığ denizel ortam
Fe/Rb Fe/Ti	İyi	Fe artışı türbidit göstergesidir ve türbidit çökel içindeki fraksiyonları gösterir. Fe oksik koşulları temsil eder.
K/Rb	Orta	Silt, kum, pelajik çamur kıyaslanması sonucu türbidit seviyeyi belirtir.
Cu/Rb	Orta	Ani Cu artışları diyajenetik hareketliliği gösterir
Zr/Rb Ti/Rb	Orta	Türbidit tabanında en yüksek seviyeye ulaşır. Sediman-kaynak/provens göstergesidir
Si	Orta-düşük	Önemli bir karasal girdi ve üretkenlik göstergesidir. Düşük su seviyesine işaret eder.
Ti	İyi	Karasal girdinin az olduğu ve düşük yağış dönemlerini işaret eder.
As	Orta	Pirit varlığını gösterir
K, Zr	Orta	Volkanik aktiviteyi gösterir
Mn	İyi	Diyajenez ve redox koşullarındaki değişimi işaret eder (Yer altı su seviyesindeki düşüş)

## 2.2 MSCL-S

Deniz ve göl alanlarından alınan sediman karotlarının tanımlanması için kullanılan bir diğer analiz grubu da fiziksel parametrelerin belirlendiği analizlerdir. Fiziksel parametrelerin belirlenmesine ilişkin olarak farklı teknikler kullanılsa da son yıllarda birden fazla sensörün aynı anda ölçüm yapabildiği ve bunu karotta bulunan sedimana zarar vermeden otomatize edilmiş bir şekilde yapan tek cihaz GEOTEK firması tarafından üretilmiş olan MSCL-S (Multi Sensor Core Logger – Standart) cihazıdır. Bu cihaz ihtiyaç duyulan birçok sensörün üzerine uygun şekilde monte edilmesi sonucu isteğe bağlı olarak üretilen bir cihaz olması nedeniyle opsiyonel bir yapıda tasarlanmıştır.

2018 yılı Haziran ayı içinde Deniz Araştırmaları Laboratuvarımıza kurulumu yapılmış olan MSCL-S dört sensörü bünyesinde barındıracak şekilde kurgulanmıştır (Şekil 4). Bu sensörler manyetik duyarlılık (MS), sediman yoğunluğu (gama yoğunluğu), renk değeri (400-700nm arası Munsell renk katalog değeri), P-dalga hızı ölçen sensörlerdir. Bunun yanında ayrıca anlık olarak taranan karota ait



Şekil 4- MSCL-S analiz odasından bir görünüm.

sıcaklık değerleri ölçülmektedir. Bu sayede yapılan ölçümlerin aynı sıcaklık değerleri altında ölçüldüğü sürekli kontrol altında tutulabilmektedir.

MSCL-S cihazı ile ölçülen fiziksel parametrelerin her biri için farklı sedimentolojik yorumlara ulaşılabilir. Gama yoğunluğu ölçümü sonucunda elde edilen grafikler, sedimandaki tane boyu ve gözeneklilikteki değişimleri; manyetik duyarlılık analizleri, sediman içinde bulunan tanelerin manyetik özelliklerini (özellikle volkanik kayalarda); P-dalga hızı, karot boyunca sediman içindeki çatlak ve boşlukların tespitini ve RGB spektrometre ise Munsell renk kataloğunda sedimanın rengi hakkında bilgiler edinilmesini sağlar. Böylece üzerinde çalışılan karota ait fiziksel parametreler elde edilerek diğer analiz yöntemlerinden elde edilen yüksek çözünürlüklü verilerle korelasyonunun yapılabilmesi sağlanır.

MSCL-S cihazı ile karotlar farklı çözünürlükte ve farklı gözlem sürelerinde analiz edilebilir. Bu kapsamda, karotlarda minimum analiz aralığı

5 mm ve minimum gözlem süresi 5 saniye olarak seçilebilmektedir. Bu cihazın analiz ettiği fiziksel parametrelerin kullanımında çok dikkatli olunması gerekmektedir. Özellikle analiz sonuçlarının proses edilmemiş halinin diğer analizlerle korele edilmesi gerekmektedir. Çünkü proses etme süreci bu süreci yürüten kişiler tarafından farklı yorumlanabileceği için korelasyon aşamasında problemler yaşanabilmektedir.

### 3. Analiz Süreçleri

Laboratuvarımızda yapılacak olan analizlerin en önemli kısmı söz konusu cihazların analizinden önce karotların hazırlanma aşamasıdır. Düzgün kesilemeyen ve temizlenemeyen karot örnekleri hatalı ölçümlere sebebiyet verebileceğinden bu aşamada oldukça dikkatli olunmalıdır. Karotlar laboratuvara geldikten sonra (Şekil 5a) büyük bir hassasiyetle ölçülerek iki eşit parçaya ayrılır (Şekil 5b). Daha sonra karotlar temizlenmeden önce detaylı fotoğrafları çekilir ve temizlenerek (Şekil 5c) analize hazır hale getirilir.



Şekil 5- a) Karotların laboratuvara gelmesi, b) Karotların yarılanması, c) Karotların temizlenerek analize hazır hale getirilmesi.

ITRAX ve MSCL-S analizlerinden elde edilen sonuçlar yorumlandıktan sonra önemli seviyeler belirlenerek tarihlendirme yapılacak noktalar belirlenip çalışmalar bu doğrultuda devam ettirilecektir.

#### 4. Sonuçlar

ITRAX, yarılanmış karot örneklerinde mm çözünürlüğünde mikro-XRF analizi yapabilen yüksek kapasiteli çok fonksiyonlu bir karot tarama cihazıdır. Klasik XRF yöntemleri ile karşılaştırıldığında daha hızlı ve detaylı sonuç vermesi bakımından da oldukça önemli veriler sunmaktadır. Analiz sonucunda elde edilen veriler farklı amaçlar için kullanılarak bilimsel çalışmalara değerli katkılar sağlamaktadır. Bu çalışmalar temel olarak jeoloji, çevre ve iklim alanında yoğunlaşmaktadır. Geçmişte yaşanmış ve türbidit oluşturmuş depremlerin tespiti ve iklim geçişleri başlıca araştırma alanlarını oluşturmaktadır (Giosan vd., 2002a,b; Berg ve Jarrard, 2004).

MSCL-S, üzerine takılıp çıkartılabilen birçok sensör ile yarılanmış karotu analiz etme esasına dayalı ve karotlarda bulunan sedimanlara ait fiziksel parametreleri ölçen bir cihazdır. MTA Deniz Araştırmaları Laboratuvarı bünyesinde bulunan MSCL-S cihazı 4 adet sensörü bünyesinde bulundurmaktadır. Bunlar gama yoğunluk ölçer, P-dalga hızı, manyetik duyarlılık ve Munsell katalog rengini belirleyen spektrometredir. Gama yoğunluğu sedimanın tane boyu ve gözenekliliğini, P- dalgası çatlak ve boşluk oranını, manyetik duyarlılık sedimanın manyetik özelliğini ve katalog rengi de sedimanın görsel olarak renk özelliğinin tespitinde kullanılır.

Özetle, ITRAX, MSCL-S ve laboratuvarda yapılan diğer analizler (toplam organik madde, su muhtevası vb.) birbirleri ile korele edilerek birçok bilimsel problemi çözmeye ve geçmişe dair önemli yerbilimsel verilerin elde edilmesine yardımcı olmaktadır.

*Deniz Araştırmaları Laboratuvarı* sadece MTA bünyesinde yapılan projelere değil üniversiteler ve özel sektör çalışmaları için de analiz hizmeti verebilecek şekilde organize edilmiştir. Tüm bu gelişmeler MTA olarak deniz araştırmaları alanında yapılacak olan çalışmalara verilen önemin ve katkının bir göstergesidir.

#### Değerlendirilen Belgeler

- Berg, M.D.V., Jarrard, R.D. 2004. Cenozoic mass accumulation rates in the equatorial Pacific based on high-resolution mineralogy of Ocean Drilling Program Leg 199. *Paleoceanography*, 19, 1-12. PA2021, doi: 10.1029/2003PA000928.
- Croudace, I.W., Rindby, A., Rothwell, R.G. 2006. ITRAX: description and evaluation of a new multifunction X-ray core scanner. In: Rothwell R.G. (ed) *New techniques in sediment core analysis*. *Geol Soc Spec Publ* 267:51-63.
- Giosan, L., Flood, R.D., Aller, R.C. 2002a. Paleoclimatographic significance of sediment color on western North Atlantic drifts: I. Origin of color. *Marine Geology*, 189, 25-41.
- Giosan, L., Flood, R.D., Grtjtzner, J., Mudie, P. 2002b. Paleoclimatographic significance of sediment color on western North Atlantic Drifts: II. Late Pliocene-Pleistocene sedimentation. *Marine Geology*, 189, 43-61.
- Jansen, J.H.F., Van Der Gaast, S.J., Koster, B., Vaars, A.J. 1998. Cortex, a shipboard XRF scanner for element analyses in split sediment cores. *Marine Geology*, 151, 143-153.
- Rothwell, R.G., Hoogakker, B., Thomson, J., Croudace, I.W., Frenz, M. 2006. Turbidite emplacement on the southern Balearic Abyssal Plain (western Mediterranean Sea) during Marine Isotope Stages 1-3: an application of ITRAX XRF scanning of sediment cores in lithostratigraphic analysis. In: ROTHWELL, R.G. (ed.) *New Techniques in Sediment Core Analysis*. Geological Society, London, Special Publications, 267, 79-98.
- Rothwell, R.G., Croudace, I.W. 2015. Twenty years of XRF core scanning marine sediments: What do geochemical proxies tell us? In: Croudace, I.W. and Rothwell, R.G. (eds.) *Micro-XRF Studies of Sediment Cores: Applications of a non-destructive tool for the environmental sciences*. Dordrecht, NL. Springer, pp. 25-102. (*Developments in Paleoenvironmental Research*, 17).

Thomson, J., Croudace, I.W., Rothwell, R.G. 2006.  
A geochemical application of the ITRAX  
scanner to a sediment core containing  
eastern Mediterranean sapropel units. In:

Rotwell, R.G. (ed.) New Techniques in  
Sediment Core Analysis. Geological Society,  
London, Special Publications, 267, 65-77.