

İstanbul Boğazı için nükleer teknikle yüzey tuzluluk tayini ve yeni bir matematik model

Şerife İpek KARAASLAN*, A. Beril TUĞRUL

İTÜ Enerji Enstitüsü, Nükleer Enerji Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

İstanbul Boğazı, Türk Boğazlar Sistemini oluşturan Marmara Denizi ve Çanakkale Boğazı'ndan daha özel bir önem taşımaktadır. Karadeniz'den gelen nispeten az tuzlu su üst akış olarak ve Marmara Denizi'nden gelen daha tuzlu su alt akış olarak İstanbul Boğazı boyunca iki katmanlı akışı oluşturmaktadır. Yoğunluk farkından dolayı iki katmanlı akış halinde boğaz boyunca akan tuzlu su da farklı akış rejimlerinden dolayı karışımlar meydana gelmektedir. Önemli bir dar su yolu olan İstanbul Boğazı'nın yüzey tuzluluk değerleri farklı lokasyon ve mevsimlerde nötron aktivasyon analiziyle tayin edilmiştir. Günümüzde çok çeşitli tuzluluk tayin yöntemleri kullanılmakla beraber literatürde, nötron aktivasyon analiziyle tuzluluk tayinine ilişkin bir yayına rastlanmamıştır. Nötron aktivasyon analizi element analizinde sıkça kullanılan bir nükleer teknik durumundadır. Tuzluluk tayini için kullanılan nötron aktivasyon analizi yönteminde sodyum konsantrasyonu elde edilerek tuzluluk değerlerine gidilmiştir. Nötron aktivasyon analizi tuzluluk sonuçlarını kıyaslamak için konvansiyonel bir tuzluluk tayin tekniği olan uçurma yöntemi seçilmiştir. Nötron aktivasyon analizi tuzluluk sonuçlarının uçurma sonuçlarına yakınsadığı gösterilmiştir. Nötron aktivasyon analizi tuzluluk değerleri kullanılarak yere ve zamana bağlı matematik bir model geliştirilmiştir. Bu yeni model İstanbul Boğazı'na özgü parametreleri barındırmaktadır. Deneysel ve matematik model sonuçları FEMLAB 3.1 programında tek boyutlu difüzyon denkleminin çözülmesiyle oluşan simülasyon sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Deneysel ve teorik sonuçların iyi bir uyum içinde olduğu ortaya çıkmıştır. Böylelikle nötron aktivasyon analizi ile deniz suyu tuzluluk tayininin yapılabilceği ve önerilen analitik modelin güvenilirlikle kullanılabilceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İstanbul Boğazı, tuzluluk, Na-24, uçurma yöntem, nötron aktivasyon analizi.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Şerife İpek KARAASLAN. ikaraaslan@yeditepe.edu.tr; Tel: (216) 578 06 89. makale, birinci yazar tarafından İTÜ Enerji Enstitüsü, Nükleer Araştırmalar, Nükleer Enerji Programı'nda tamamlanmış olan "İstanbul Boğazı için nükleer teknikle yüzey tuzluluk tayini, yeni bir analitik model ve irdelenmesi" adlı doktora tezinin hazırlanmıştır. Makale metni 05.04.2006 tarihinde dergiye ulaşmış, 11.09.2006 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.04.2008 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Surface salinity determination for the Bosphorous with nuclear technique, a new analytical model and evaluation

Extended abstract

Turkish Strait System consists of the Bosphorous, Marmara Sea and Dardanelles. The Bosphorous is the most interesting one because of its strategic role. The Bosphorous is a very important channel in which there are two flows with different salinities. The seawater of Black Sea passes by as the top layer flow and the seawater of Marmara Sea as the bottom layer because of the density difference. For years, the oceanographers work on the Bosphorous' two-layer flow. This two-layer flow mixes along the Bosphorous causing salinity dispersion. To have an idea about the surface salinity dispersion, the salinity levels should be determined along the channel. The main aim of the experimental work is to measure the surface salinity level with neutron activation analysis.

There are many studies to determine the salinity with different methods which are primarily based on physical and chemical principles. Physical salinity determination methods depend on refractive index, density and electrical conductivity measurements. On the other hand chemical methods are based on chlorinity determination. Beyond the physical and chemical methods there are alternative salinity measuring systems as well. These can be called as "alternative methods". In this study for the salinity determination, neutron activation analysis has been chosen as the experimental method but in the literature there is no study that deals with salinity determination by neutron activation analysis. Neutron activation analysis is a nuclear technique that has widely been used for the element analysis. In neutron activation analysis the sample is irradiated and the isotopes of the mother elemental is formed. The activated samples are usually gamma-active and detecting the gamma rays, the concentration and the element identification can be performed Neutron activation analysis can be named as the "new alternative method for salinity measurement".

Initially, surface salinity of the Bosphorous was determined by the neutron activation analysis. On the other hand, evaporation technique which is a routine salinity determination method has been chosen. From the specified sample locations along the Bosphorous, the seawater samples have been collected and stored in polymer bottles. In order to determine

the salinity of the samples, small amounts of samples were prepared. First of all, the water of the small samples about 100 cc. were evaporated and from the salt remaining after the water evaporation, again small samples have been prepared for the irradiation. The Bosphorous samples were irradiated with a reference salt sample. The salinity of the Bosphorous samples were determined with an equation which allows a comparison of the reference results with those of the irradiated samples. The results of neutron activation analysis have been compared with those of evaporation and literature. Neutron activation analysis results were in good accuracy with those of evaporation and the literature.

With the neutron activation analysis results, a model which depends on position and time has been offered. The offered model was a product of two independent functions. The function depending on the position is an exponential and the time dependent one is a sinusoid. The parameters of the independent functions have been determined by neutron activation salinity results. They have been compared with those of evaporation. The model results were in good agreement with the evaporation ones.

A theoretical comparison has also been chosen to be done with the results of neutron activation analysis which have been compared in many ways. For this comparison, a widely used computer programme. FEMLAB 3.1 (Finite Element Method Laboratory). has been selected. This programme has widely been used in many different studies where finite element method is valid. The suitable geometry for the Bosphorous has been formed and one dimensional diffusion equation has also been solved with the parameters of the Bosphorous. The values obtained from one dimensional diffusion equation that has been solved for the Bosphorous have been used in comparison with those of neutron activation analysis, evaporation and the mathematical model and it has been concluded that neutron activation results have been in good accuracy with those of the programme.

It is also concluded that neutron activation analysis can be used to determine the salinity and mathematical model as well in relevance. A different study has been done in terms of the experimental work and the analytical model.

Keywords: Bosphorous, salinity, Na-24, evaporation method, neutron activation analysis.

Giriş

Deniz suyunun durumunu tanımlayabilmek için üç termodinamik parametre bilinmek durumundadır. Bunlar tuzluluk (S), sıcaklık (T) ve basınç (P) olarak tanımlanabilir (Grasshoff vd., 1999). Deniz tuzluluğu, suda çözülmüş toplam iyon miktarı olarak tanımlanan ve deniz suyu için önemli olan bir parametredir. Çevresel açıdan tuzluluk seviyesi, nehir/deniz karışım bölgelerindeki bitki ve hayvan türlerinin yaşayabilmesini kontrol etmektedir. Bazı türler her seviyedeki tuzlulukta yaşayabilirken bazı türler sadece adapte oldukları seviyede yaşamlarını sürdürebilmektedirler. Özellikle kıyı sularındaki temel biyolojik ve fiziksel olayları anlayabilmek de tuzluluğun büyük önemi bulunmaktadır (Dera, 1992). Deniz tuzluluğu çökeltme, buharlaşma, gel-git hareketi ve suyun rüzgarlarla karışması sonunda değişim göstermektedir. Deniz tuzluluğu korunumlu olduğu için değişim; global ısınmaya, dolaşımdaki bozukluğa ve hava/deniz etkileşimine uygun bir habercidir (Woody vd., 2000). Bu bakımdan denizbilimcilerce, deniz tuzluluğu sürekli izlenmektedir.

Deniz tuzluluğunu belirlemede kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlar fiziksel veya kimyasal olarak iki ana bölümde toplanabilirler. Fiziksel yöntemlerde iletkenlik, yoğunluk ve kırınım gibi fiziksel parametrelerden faydalanılarak tuzluluk belirlenmeye çalışılırken, kimyasal yöntemlerde klor tayini yapılarak tuzluluğa ulaşılması hedeflenmektedir.

Nötron aktivasyon analizi bir maddenin nötronlara maruz bırakılmasının ardından oluşan ikincil radyasyonun değerlendirilerek analiz amaçlı kullanımı olarak ifade edilebilir. Oluşan reaksiyon $^{23}\text{Na} (n,\gamma) ^{24}\text{Na}$ şeklindedir. ^{24}Na 14.96 saat yarı ömre sahiptir. ^{24}Na 'un ayrıca 1368.60 keV (%100) ve 2754.00 keV (%99.94) iki gama bozunumu bulunmaktadır (Meyerhof, 1989).

Çalışma bölgesinin belirlenmesinde bazı kriterler göz önüne alınmıştır. Bunlar; deniz tuzluluğu farklılığının en az 2 ppt (parts per trillion) olması, deniz tuzluluğunun fiziksel bir parametre olması bakımından, mümkünse kimyasal parametreleri açısından olabildiğince benzer olması, tat-

lı su karışımlarının ihmal edilebilecek mertebede olması, dünya oşinografisi açısından özel bir bölge olması numune alınmasının mümkün olması ve mümkünse seçilen deniz karışım bölgesi için farklı yöntemlerle yapılmış çalışmaların bulunmasıdır. Bu kriterler çerçevesinde İstanbul Boğazı seçilmiştir.

İstanbul Boğazı Karadeniz ve Marmara Denizi arasında su geçişinin olduğu dar bir su yoludur. İki deniz arasında bir geçiş yolu olarak sistemin bir parçası durumunda bulunmaktadır. Karadeniz suları Marmara Denizi'ne İstanbul Boğazı üst akıntısı olarak katılmakta ve havzayı Çanakkale Boğazı üst akıntısı olarak terk etmektedir. Öte yandan, Ege Denizi suları Çanakkale Boğazı alt akıntısı olarak Marmara Denizi'ne katılmakta ve havzayı İstanbul Boğazı alt akıntısı olarak terk etmektedir. Karadeniz'den Akdeniz'e doğru olan yüzey akıntısı İstanbul Boğazı'ndan Marmara Denizi'ne jet etkisiyle girmekte ve kuvvetli bir akım güneye doğru ilerlemektedir (Yüce, 1996; Özsoy vd., 1998). İstanbul Boğazı genel olarak 31 km uzunluğunda dar ve sığ bir su kanalı olarak tanımlanabilmektedir. Genişliği 0.7 km ile 3.5 km arasında değişim göstererek ortalama olarak 1.3 km'lik bir yüzeysel genişliğe sahip bulunmaktadır. Derinlik arttıkça Boğazın genişliği de genel olarak azalma göstermektedir. Boğazın derinliği genel olarak 30 m ile 110 m arasında değişim göstermektedir. Derinlik için bir ortalama değer oluşturmak güç olmakla beraber, genelde kesit alan hesaplamaları için bu kanalın merkezinde derinlik değeri 50 m olarak varsayılmaktadır. Debi ise 20000 m³/s ortalama değere sahiptir (Özsoy vd., 1995; Özsoy vd., 2000). Marmara Denizi, Akdeniz ve Karadeniz arasında yer alan bir iç deniz olarak nitelenmektedir. Yaklaşık 70 km x 250 km boyutlarında 11.500 m² yüzey alanlı ve 1390 m maksimum derinlikte bir karaktere sahiptir. Çanakkale ve İstanbul Boğazları ile Marmara Denizi'nin birlikte oluşturdukları sistem 'Türk Boğazlar Sistemi' (TBS) olarak adlandırılmaktadır (Ünlüata vd., 1990). Karadeniz'in yüzey alanı 413 488 km², su hacmi 547 015 km³'dür. Maksimum genişliği Batı Karadeniz'de 3-15 km arasında değişmektedir. Ancak kuzey-batı Karadeniz'de bu genişlik 200 km'yi

bulabilmektedir. Kıyı şeridinin uzunluğu 4 431 km'dir. Karadeniz'in derinliği 2000 m'yi aşabilmektedir. Bu derinlikte topoğrafya oldukça düz olup, toplam su hacminin %60'ını içermektedir (Özsoy ve Ünlüata, 1997).

Çalışma bölgesi seçimi gibi numune alım noktalarının belirlenmesi de kriterler bağlamında yapılmıştır. Bunlar; İstanbul Boğazı'nın giriş ve çıkış bölgelerinden örnek alınıyor olması. numune alım noktalarının İstanbul Boğazı'nı karakterize edeceği düşünülen yerlerden alınması, numune alım noktaları arasındaki mesafenin tuzluluk dağılımı hakkında fikir verebilecek mesafelerde olması bu bağlamda iki numune alım noktasının birbirinden 3 km'den daha az olmaması, tatlı su karışım bölgesi olmaması, atık madde karışım yeri olmaması ve akıntının yoğun olduğu yerlerden uzak olması sayılabilmektedir. Kriterler çerçevesinde numune alım noktaları olarak Kilyos, Rumelikavağı, Tarabya, Emirgan, Bebek, Salacak ve Tuzla belirlenmiştir. Şekil 1'de numune noktaları harita üzerinde gösterilmektedir. Numune alım zamanları ise Mayıs 2002-Mayıs 2003 arasında 5 defa üç aylık periyotlarla ve kontrol grubu olarak da Ağustos 2005 olarak seçilmiştir.



Şekil 1. Numune noktaları
([http:// earth.google.com](http://earth.google.com))

Materyal ve yöntem

Alınan numunelerin nötron aktivasyon analizi ile tuzluluk tayini yapılması için numunelerden

ışınlanmak üzere örnekler hazırlanmıştır. Örnek hazırlama aşamaları özenle gerçekleştirilmiştir. Polietilen şişelerde muhafaza edilen İstanbul Boğazı deniz suyu numuneleri önce 50 cc veya 100 cc'lik beherlerde ısıtma işlemine tabi tutularak suyunun uçması sağlanmış, daha sonra da kızılötesi lamba altında 2-4 saat bekletilmiştir. Uçurma yöntemiyle tuzluluk tayini bu aşamaya kadar yapılan işlemler çerçevesinde gerçekleştirilmiş olmakta ve Denklem 1 kullanılarak hesaplanmaktadır. Suyunu tamamen kaybeden deniz suyu numunelerinden yaklaşık 100 mg'lık rezidü örnekleri paketlenip etiketlenerek ışınlama için hazır hale getirilmiştir. Yaklaşık 100 mg'lık referans tuz (NaCl, 106405. Merck) örneği de paketlenerek ışınlama için hazırlanmıştır. Referans ve deniz suyu örnekleri Howitzer nötron kaynağında 14 saat ışınlanmış ve akabinde sayılmışlardır. Sayımlar NaI(Tl) sintilasyon ve onun bağlı olduğu çok kanallı analizörle geometri değiştirilmeden yapılmıştır. Nötron aktivasyon analizi ile tuzluluk Denklem 2 ile hesaplanmıştır.

Uçurma yöntemiyle tuzluluk;

$$S(\%) = \frac{m_r}{m_t} \cdot 1000 \quad (1)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir.

Burada;

m_r : Uçurmadan kalan rezidü kütlesi

m_t : Toplam deniz suyu numunesinin kütlesi olarak ifade edilebilmektedir.

Nötron aktivasyon analiziyle tuzluluk için,

$$S(\%) = \zeta \eta \xi \cdot 1000 \quad (2)$$

bağlantısının kullanılabilirliği önerilmektedir.

Burada ζ ; örnek faktörü, η ; referans faktörü,

ξ ; tortu faktörü olarak adlandırılmakta ve

$$\zeta = \frac{N_s}{m_s} \quad (3)$$

N_s : Örneğin net sayımı

m_s :Örneğin kütlesi

$$\eta = \frac{m_{re}}{N_{re}} \quad (4)$$

m_{re} :Işınlanan referans örneğin kütlesi
 N_{re} :Işınlanan referans örneğin net sayımı

$$\xi = \frac{m_{rs}}{m_{ev}} \quad (5)$$

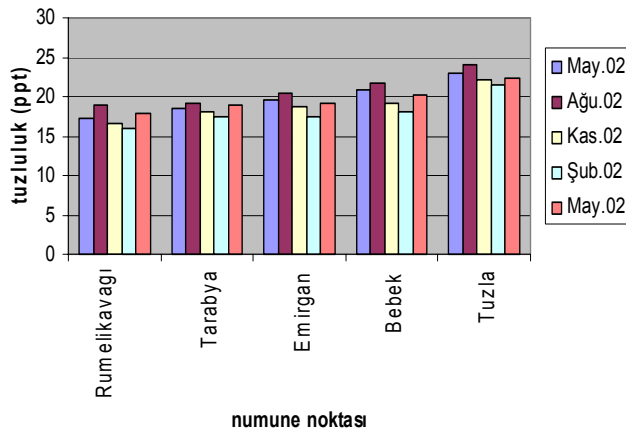
m_{rs} :Örneğin toplam rezidü kütlesi
 m_{ev} :Uçurulan suyun toplam kütlesi

olarak tanımlanmaktadır.

Deneysel sonuçlar

İstanbul Boğazı'nda tuzluluk değişimi

Yapılan deneysel çalışmalardan sonra İstanbul Boğazı'nda tuzluluğun kuzeyden güneye (Kilyos-Tuzla) gidildikçe arttığı, ayrıca mevsimsel olarak da bir salınım içinde olduğu gözlenmiştir. Şekil 2'de numune noktalarının kuzeyden güneye tuzluluk değişimleri, Şekil 3'te ise mevsimsel değişim verilmektedir.



Şekil 2. Numune noktalarının tuzlulukları

Matematik model

Deneysel sonuçlar kullanılarak analitik bir model önerilmiştir. Bu bağlamda önerilen model;

$$S(x,t) = S_{01} e^{\frac{\beta x}{L}} (1 + \alpha \sin(\omega t)) \quad (6)$$

olarak ifade edilmektedir.

Burada,

$S(x,t)$: yere ve zamana bağlı tuzluluk (ppt)

S_{01} : İstanbul Boğazının Karadeniz girişindeki tuzluluk (ppt)

β : İstanbul Boğazı tuzluluk dağılım katsayısı (0.22)

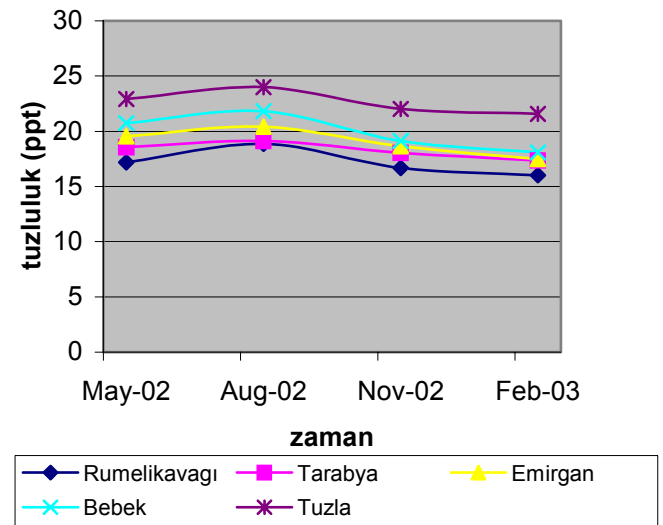
x : Tuzluluğu hesaplanan noktanın İstanbul Boğazı'nın Karadeniz'den girişe olan uzaklığı (km)

L : İstanbul Boğazının boyu (31 km)

α : İstanbul Boğazı mevsimsel tuzluluk değişim parametresi (0.075)

ω : açısal hız

t : periyot (yıl) şeklinde ifade edilmektedir.



Şekil 3. Numune noktalarının mevsimsel tuzlulukları

Yere ve zamana bağlı parametreler olan β ve α MATLAB 6.5 ile regresyon analizi yapılarak tayin edilmiştir. $\beta=0.22$ ve $r^2= 0.85$ olarak, $\alpha=0.075$ ve $r^2= 0.79$ şeklinde hesaplanmıştır. Elde edilen matematik modelle nötron akivasyon analizi ve uçurma yöntemi sonuçlarının kıyaslanması Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmektedir.

FEMLAB modellemesi

İstanbul Boğazı'nın tuzluluk değişiminin mevsimsel ve noktasal olarak değerlendirilmesi için konuya ilişkin çalışmalarda tercih edilen uluslararası bilimsel alanda güvenilir olduğu düşünülen FEMLAB 3.1 bilgisayar programı ile çalı-

şılma yoluna gidilmiştir (Schinjndel, 2003;.Liu, 2005; Pfafferodt vd., 2005; Sapariuc vd., 2004; 2004; Romano vd., 2005; Curcio vd., 2005; Ritter vd., 2004; Haasl, 2005; Khamesee ve Graff vd., 2005; Kafafy, 2005; Rucker vd., 2005; Backryd, 2005; Guvelioglu ve Stenger, 2005; Shameli, 2005).

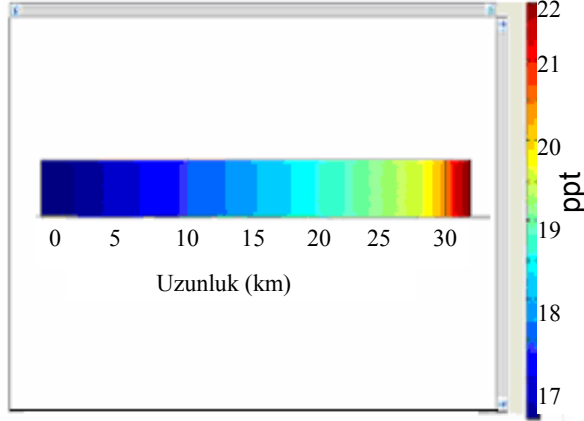
Tablo1. Nötron aktivasyon analizi(NAA) sonuçlarının matematik modelle(MM) kıyaslanması

Numune	Mevsim	Tuzluluk (NAA) (ppt)	Tuzluluk (MM) (ppt)	Fark	Yüzde Fark (%)	Yüzde Mutlak Fark (%)
Rumelikavağı	İlkbahar 02	17.19±1.05	17.99	-0.80	-4.65	4.65
Tarabya	İlkbahar 02	18.56±1.11	18.65	-0.09	-0.49	0.49
Emirgan	İlkbahar 02	19.53±1.81	19.21	0.32	1.64	1.64
Bebek	İlkbahar 02	20.75±1.75	19.56	1.19	5.73	5.73
Rumelikavağı	Yaz 02	18.86±0.70	19.34	-0.48	-2.54	2.54
Tarabya	Yaz 02	19.12±0.49	20.09	-0.97	-5.07	5.07
Emirgan	Yaz 02	20.40±1.19	20.65	-0.25	-1.22	1.22
Bebek	Yaz 02	21.81±0.88	21.03	0.78	3.57	3.57
Rumelikavağı	Sonbahar 02	16.68±1.72	17.99	-1.31	-7.85	7.85
Tarabya	Sonbahar 02	18.04±0.64	18.65	-0.61	-3.38	3.38
Emirgan	Sonbahar 02	18.65±1.75	19.21	-0.56	-3.00	3.00
Bebek	Sonbahar 02	19.11±0.44	19.56	-0.45	-2.35	2.35
Salacak	Sonbahar 02	21.27±2.13	20.59	0.68	3.20	3.20
Rumelikavağı	Kış 03	16.01±1.60	16.64	-0.63	-3.93	3.93
Tarabya	Kış 03	17.09±1.57	17.29	-0.20	-1.17	1.17
Emirgan	Kış 03	17.80±1.89	17.77	0.03	0.17	0.17
Bebek	Kış 03	18.07±0.30	18.09	-0.02	-0.11	0.11
Salacak	Kış 03	19.19±1.41	19.04	0.15	0.78	0.78
Rumelikavağı	İlkbahar 03	17.78±1.13	17.99	-0.81	-4.55	4.55
Tarabya	İlkbahar 03	18.92±0.54	18.65	0.27	1.43	1.43
Emirgan	İlkbahar 03	19.15±0.86	19.21	-0.06	-0.31	0.31
Bebek	İlkbahar 03	20.12±1.76	19.56	0.56	2.78	2.78
Salacak	İlkbahar 03	20.61±2.04	20.59	0.02	0.10	0.10
Ortalama				-0.13	-0.88	2.61

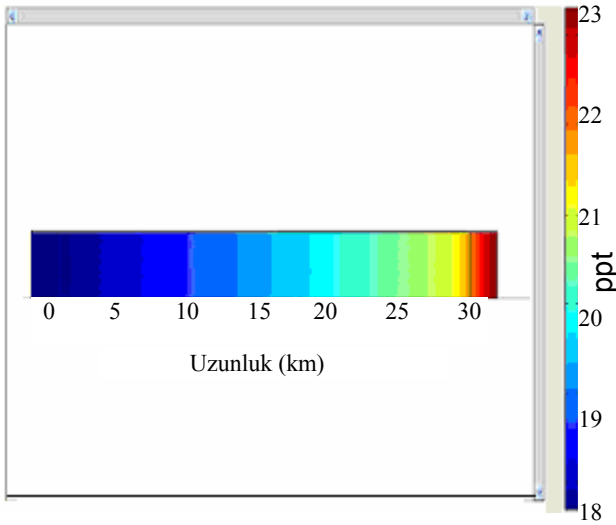
Tablo 2. Matematik modelle(MM) uçurma deney sonuçlarının kıyaslanması

Numune	Mevsim	Tuzluluk (uçurma) (ppt)	Tuzluluk (MM)(ppt)	Fark	Yüzde Fark (%)	Yüzde Mutlak Fark (%)
Rumelikavağı	İlkbahar 02	18.63±0.66	17.99	0.64	3.43	3.43
Tarabya	İlkbahar 02	19.73±0.61	18.65	1.08	5.47	5.47
Emirgan	İlkbahar 02	19.79±0.63	19.21	0.58	2.93	2.93
Bebek	İlkbahar 02	21.12±0.60	19.56	1.56	7.39	7.39
Rumelikavağı	Yaz 02	19.18±0.70	19.34	-0.16	-0.83	0.83
Tarabya	Yaz 02	20.36±0.60	20.09	0.27	1.33	1.33
Emirgan	Yaz 02	20.75±0.69	20.65	0.10	0.48	0.48
Bebek	Yaz 02	22.14±0.68	21.03	1.11	5.01	5.01
Rumelikavağı	Sonbahar 02	17.49±0.54	17.99	-0.50	-2.86	2.86
Tarabya	Sonbahar 02	18.24±0.66	18.65	-0.41	-2.25	2.25
Emirgan	Sonbahar 02	19.34±0.63	19.21	0.13	0.67	0.67
Bebek	Sonbahar 02	19.91±0.61	19.56	0.35	1.76	1.76
Salacak	Sonbahar 02	20.51±0.58	20.59	-0.08	-0.39	0.39
Rumelikavağı	Kış 03	17.19±0.59	16.64	0.55	3.20	3.20
Tarabya	Kış 03	18.09±0.65	17.29	0.80	4.42	4.42
Emirgan	Kış 03	18.45±0.64	17.77	0.68	3.69	3.69
Bebek	Kış 03	18.62±0.70	18.09	0.53	2.85	2.85
Salacak	Kış 03	20.17±0.65	19.04	1.13	5.60	5.60
Rumelikavağı	İlkbahar 03	18.23±0.67	17.99	0.24	1.32	1.32
Tarabya	İlkbahar 03	19.39±0.70	18.65	0.74	3.61	3.61
Emirgan	İlkbahar 03	19.58±0.89	19.21	0.37	1.89	1.89
Bebek	İlkbahar 03	20.75±0.86	19.56	1.19	5.73	5.73
Salacak	İlkbahar 03	21.10±0.72	20.59	0.51	2.42	2.42
Ortalama				0.51	2.52	3.02

FEMLAB 3.1 ile uygulanan söz konusu simülasyonda esas itibarıyla difüzyon denkleminin İstanbul Boğazı parametreleriyle çözülmesi yapılmıştır. Oluşturulan modelde elde edilen sonuçlar Şekil 4-7’de verilmektedir.



Şekil 4. FEMLAB 3.1 ile elde edilen İstanbul Boğazı'nın ilkbahar tuzluluk dağılımı



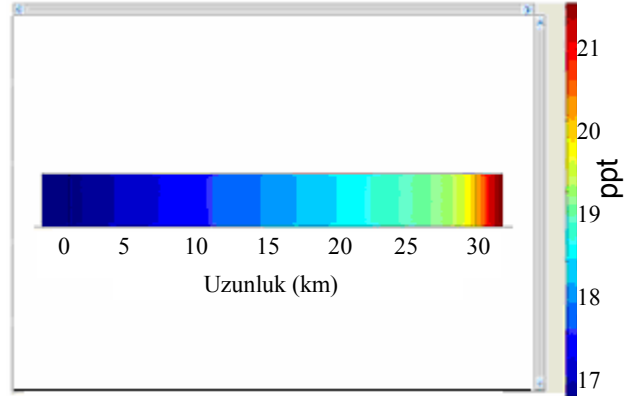
Şekil 5. FEMLAB 3.1 ile elde edilen İstanbul Boğazı'nın yaz tuzluluk dağılımı

FEMLAB 3.1 sonuçlarıyla nötron aktivasyon analizi, uçurma ve matematik model sonuçları her numune için ayrı ayrı kıyaslanmıştır. Bu bağlamda genel olarak oluşan farklar Tablo 3’te verilmektedir.

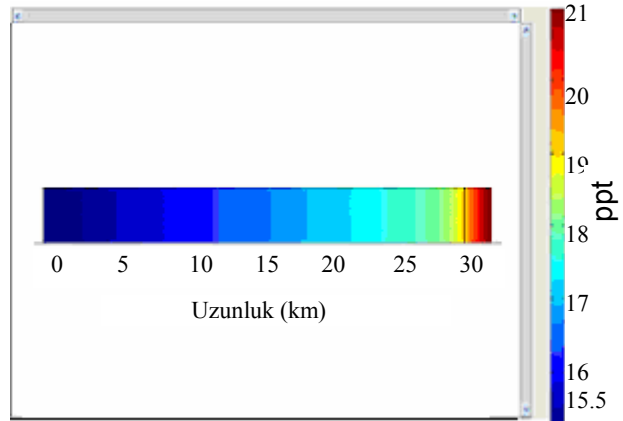
Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Sodyuma dayalı tuzluluk belirlemesi bağlamında gerçekleştirilmiş olan nötron aktivasyon analizi ile deniz suyu tuzluluk tayininin uygunluğu da görülmüş olmaktadır.



Şekil 6. FEMLAB 3.1 ile elde edilen İstanbul Boğazı'nın sonbahar tuzluluk dağılımı



Şekil 7. FEMLAB 3.1 ile elde edilen İstanbul Boğazı'nın kış tuzluluk dağılımı

- Kimyasal deniz tuzluluğu tayin yöntemlerinde klor konsantrasyonuna dayalı yapılan tuzluluk tayininden ayrı olarak, özgünlükle, sodyuma bağlı olarak deniz tuzluluk tayininin yapılabilir olduğu gösterilmiş bulunmaktadır.
- Önerilen analitik modelin sınama sonuçlarının uygun olduğu ve gerçeğe yakınsadığı söylenebilir. Bir başka deyişle, söz konusu geliştirilen analitik modelin İstanbul Boğazı yüzey tuzluluk değeri tayini için kullanılabilirliği önerilmektedir.

Tablo 3. FEMLAB modeliyle deney sonuçlarının genel olarak kıyaslanması

Numune	Ortalama % Fark (NAA)	Ortalama % Fark (uçurma)	Ortalama % Fark (BMM)	Ortalama % Mutlak Fark (NAA)	Ortalama % Mutlak Fark (uçurma)	Ortalama % Mutlak Fark (BMM)
Rumelikavağı	-	2.25	2.01	-	2.25	2.04
Tarabya	1.43	4.72	2.78	1.43	4.72	2.78
Emirgan	1.97	4.66	3.02	1.97	4.66	3.02
Bebek	2.53	5.36	2.11	2.53	5.36	2.11
Salacak	3.23	4.52	1.98	3.23	4.52	1.98
ortalama	1.83	4.36	2.38	1.83	4.36	2.38

- Yapılan karşılaştırmalar sonucunda. FEMLAB 3.1 ile nötron aktivasyon analizi arasındaki ortalama yüzde fark ve ortalama yüzde mutlak fark % 2'nin altında kalmıştır. Uçurma yöntemi ile FEMLAB 3.1 arasındaki ortalama yüzde fark ve ortalama yüzde mutlak farkın % 4.5'un altında olduğu görülmüştür. Önerilen bileşik analitik model ile FEMLAB 3.1 arasındaki ortalama yüzde farkı ve ortalama yüzde mutlak farkın % 2.5'un altında kaldığı gözlenmiştir.

Kaynaklar

Backryd, R.D., (2005). Simulation of heat transfer on a gas sensor components, *Ph.D. thesis*, Matematiska Institutionen. Linköpings Universitet. Sweden.

Curcio, S., Calabro, V. ve Iorio, G., (2005). A theoretical analysis of transport phenomena in membrane concentration of liquorice solutions: A FEM approach, *Journal of Food Engineering*, **71**, 252-264.

Dera, J., (1992). *Marine Physics*. Elsevier, Warszawa.

Graff, M., Ranche, E., Urban, H., Kaiser, M., Alberts, L., Emmerich, R. ve Elsner, R., (2005). Numerical simulation of microwave field distribution for bifocal plasma sources, *Surface and Coating Technology*, **200**, 904-908.

Grasshoff, K., Kremling, K. ve Ehrhardt, M., (1999). *Methods of Seawater Analysis*. Wiley, New York.

Güvelioğlu, G.H. ve Stenger, H.G., (2005). Computational fluid dynamics modelling of polymer electrolyte membrane fuel cells, *Journal of Power Sources*, **147**, 95-106.

Haasl, S., (2005). Assembly of Microsystems for optical and fluidic applications, *Ph.D. thesis*, KTH Microelectronics and Information Technology, Stockholm, Sweden.

Kafafy, R.I., (2005). Immersed finite element particle-in-cell simulations of propulsion, *Ph.D. thesis*, Aerospace Engineering. Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia.

Khmesee, M.B., Shamel, E., (2005). Regulation technique for a large gap magnetic field for 3D non-contact manipulation, *Mechatronics*, **15**, 1073-1087.

Liu, W., (2004). Electro-thermal simulations and measurements of silicon carbide power transistors, *Ph.D. thesis*, KTH Microelectronics and Information Technology, Stockholm, Sweden.

Meyerhof, W.E., (1989). *Elements of Nuclear Physics*. McGraw Hill. Singapore.

Özsoy, E., Ünlüata, Ü., (1997). Oceanography of the Black Sea: a review of some recent results, *Earth Science Reviews*, **42**, 231-272.

Özsoy, E., Oğuz, T., Latif, A.M., Ünlüata, Ü., Sur, H.İ., Beşiktepe, Ş.T., (1998). Oceanography of the Turkish Straits – Second Annual Report. Vol 1, Physical Oceanography of the Turkish Straits, Institute of Marine Sciences, METU, İçel.

Özsoy, E., Latif, A.M., Beşiktepe, Ş.T., Gaines, A., (1995). Fluorescent Dye Measurements of the Mixing and Transport of Wastewater Discharge in the Bosphorus, *Water Science Technology*, **32** (2), 61-68.

Özsoy, E., Beşiktepe, Ş., Latif, M.A., (2000). Türk Boğazlar Sistemi'nin Oşinografisi, *Marmara Denizi 2000 Sempozyumu*, İstanbul. 11-12 Kasım.

- Pfafferodt, M., Heidebrecht, P., Stelter, M., Sundmacher, K., (2005). Model based prediction of suitable operating range of a SOFC for an auxillary power unit, *Journal of Power Sources*, **149**, 53-62.
- Ritter, J.A., Ebner, A.D., Damel, K.D., Stewart, K.L., (2004). Application of high gradient magnetic separation principles to magnetic drug targeting, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **280**, 184-201.
- Romano, V.R., Marra, F., Tammaro, U., (2005). Modelling of microwave heating of foodstuff: study on the influence of sample dimensions with a FEM approach, *Journal of Food Engineering*, **71**, 233-241.
- Rucker, D.F., Warrick, A.W., Ferre, T.P.A., (2005). Parameter equivalence for the Gardner and van Genuchten soil hydraulic conductivity functions for steady vertical flow with inclusions, *Advances in Water Resources*, **28**, 689-699.
- Sapariuc, I., Marcozzi, M.D., Flaherty, J.E., (2004). A numerical analysis of variational valuation technique for derivative securities, *Applied Mathematics & Computation*, **159**, 171-198.
- Schinjndel, A.W.M., (2003). Modelling and solving building physics problems with Femlab, *Building and Environment*, **38**, 319-327.
- Ünlüata, Ü., Oğuz, T., Latif, M.A., Özsoy, E., (1990). On the physical oceanography of the Turkish Straits: In:Pratt L.J. (Ed.), *The Physical Oceanography of Sea Straits NATO/ASI Series*, Kluwer Dordrecht, 25-60.
- Woody, C., Shih, E., Miller, J., Royer, T., (2000). Measurement of salinity in the coastal ocean: a review of requirements and technologies, *Marine Technology Society Journal*, **34**, 26-34.
- Yüce, H., (1996). On the variability of Mediterranean water flow into the Black Sea, *Continental Shelf Resources*, **16-11**, 1399-1413.
<http://earth.google.com>