

DENİZ TABANI BATİMETRİSİNİN HİDROTERMAL DOLAŞIM ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI: LUCKY STRIKE ÖRNEĞİ

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE SEA FLOOR BATHYMETRY ON HYDROTHERMAL CIRCULATION: LUCKY STRIKE CASE

Engin Erçetin¹, Doğa Düşünür Doğan^{2*}

¹ Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Avcılar Kampüsü, 34320, Avcılar/İstanbul

² Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Maden Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Ayazağa Kampüsü, Maslak, 34469.
Email: dusunur@itu.edu.tr

Yayına Geliş (Received): 21.08.2020 , Yayına Kabul (Accepted): 26.11.2020

*Corresponding author

Öz

Hidrotermal alanlar daha çok okyanus ortası sırtlarında bulunmaktadır. Yüksek sıcaklığa sahip bu sahalar gelecekteki enerji kaynaklarına bir alternatif olarak düşünülmelerinin yanısıra meydana getirdikleri mineral birikimleri, çevrelerinde oluşan habitat sebebi ile de pek çok araştırmannın konusu olmuşlardır. Hidrotermal alanların oluşumunda rol oynayan en önemli faktörler arasında ısı kaynağının varlığı ve derinliği, akışkanın yerindeki dağıtımından sorumlu faylar/kırıklar ve deniz tabanı topografyası sayılabilir. Bu çalışma kapsamında deniz tabanı topografyasının değişiminin hidrotermal alanın çıkış yerini ve sıcaklığını nasıl değiştirdiği çeşitli modellerle test edilmiş ve tartışılmıştır. Sıcaklık ve akış modellemesi, sonlu hacimler yöntemine dayanan ANSYS Fluent programı ile gerçekleştirilmiştir. Ardından, Atlantik Okyanus Ortası Sırtında keşfedilen Lucky Strike hidrotermal alanındaki sıcaklık dağılımı zamana bağlı olarak çözülmüştür. Sayısal modeller, hidrotermal alanların çıkış noktasının zaman içerisinde batimetrik yükselimin zirvesine doğru ilerlediğini ve de sonunda kararlı (steady-state) bir hal aldığı ortaya koymaktadır. Bu zaman içerisinde yer değiştirme durumunun başlamasından sonra geçen süre ve kararlı duruma erişmeden göçün tamamlanması için gereken zaman, öngörülen batimetrik yüksekliğin yükseklik ve genişliğine bağlıdır. Lucky Strike bölgesi için elde ettiğimiz modeller, hidrotermal alanın Lucky Strike volkanının hemen üzerinde oluştuğunu göstermektedir. Bu sonuç, bölgede yapılan gözlemsel çalışmalarla uyum içerisinde dir.

Anahtar Kelimeler: Sayısal modelleme, Akışkan modellemesi, Sıcaklık modellemesi, Lucky Strike, Okyanus Ortası Sırtı

Abstract

Hydrothermal fields are generally found on mid-ocean ridges. These high-temperature areas have been the subject of many studies due to the mineral deposits they create and the habitat formed around them, as well as being considered as an alternative to future energy resources. The most important factors that play a role in the formation of hydrothermal areas are the presence and depth of the heat source (magma chamber), the faults / fractures that transports the fluid and sea floor topography. In this study, we investigate the effect of sea floor topography on fluid flow and temperature distribution by numerous test models. Temperature and flow modeling was carried out with the ANSYS Fluent program based on the finite volume method. After the test models, the temperature distribution in the Lucky Strike hydrothermal field discovered in the Mid-Atlantic Ocean Ridge is simulated with respect to time. Numerical models reveal that the hydrothermal vent fields progresses towards the peak of the bathymetric rise over time and eventually becomes steady-state. During this time, the time elapsed after the start of the displacement state and the time required to complete the migration before reaching a steady state depends on the height and width of the rise. The models we obtained for the Lucky Strike region predict that the hydrothermal field is just above the Lucky Strike volcano. This results are in good agreement with the observations in the region.

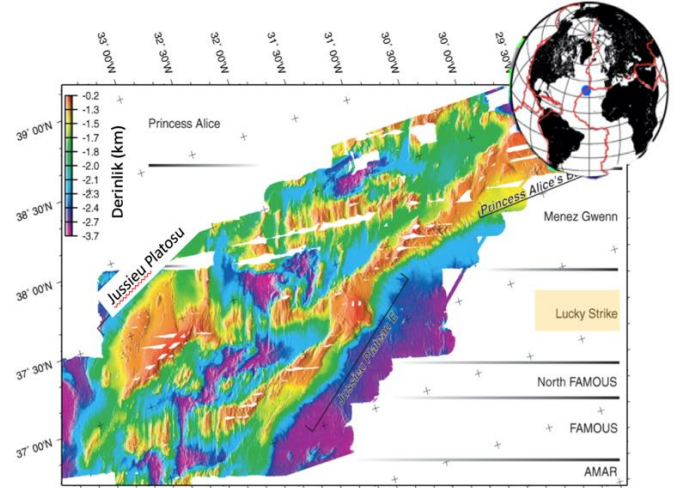
Key words: Numerical modeling, Fluid flow modeling, Temperature modeling, Lucky Strike, Mid-Ocean Ridge

GİRİŞ

Yeryüzünün herhangi bir noktasından yeraltına süzülen meteorik akışkan, yerinde bir ısı kaynağı (magma odası, sıcak kaya, vb.) ile karşılaştığında, sıcaklığı artar, yoğunluğu azalır ve yeryüzüne doğru genellikle faylar ve kırıklar aracılığı ile iletilir. Bu akışkanlar yeraltında buldukları ortamın sıcaklıklarına göre buhar ya da sıcak su olarak yeryüzüne çıkarlar. Bu akışkan döngüsü hidrotermal dolaşım olarak adlandırılır. Genellikle hidrotermal kaynaklar genç volkanizmanın ve magmatizmanın hakim olduğu aktif tektonik bölgelerde yer alırlar. Buldukları konum, faylar ve kırıklı ortamlarla oldukça ilişkilidir.

Hidrotermal sistemler, sadece sıcaklık kaynağının bir magma sokulumu olması durumunda değil aynı zamanda termal gradyanın hidrotermal dolaşım için yeterince yüksek olduğu yerlerde gelişebilmektedirler. Levha sınırlarında keşfedilen ilk hidrotermal sistem Kızıldeniz'de bulunan Atlantis II Deep olarak adlandırılmıştır. Okyanus ortası sırtında aktif olarak bulunan ilk hidrotermal sistem ise Galapagos yarığında keşfedilmiştir. 1970'li yıllarında sonunda yapılan bu keşifleri neticesinde ise, hidrotermal sirkülasyon ve levha tektoniği kuramlarının anlayışı değişmeye başlamıştır (Rona, 2010).

Atlas okyanusunun ortasında yer alan, Portekiz'e bağlı Azor takımadalarında, yakın zaman içerisinde keşfedilmiş yedi adet büyük hidrotermal dolaşım alanı bulunmaktadır (Şekil 1). Bu alanlar sırası ile Lucky Strike, Menez Gwen, Rainbow, Monte Saldanha, Ewan, Seapress ve Moytirra Hidrotermal alanlarıdır. Bu bölgeler içerisinde, sıcaklıklar 35- 333 °C arasında değişen, yirmi bir hidrotermal çıkış noktası ve yaklaşık 150 km² alan ile Lucky Strike Hidrotermal alanı en büyükleri olarak kabul edilmektedir.



Şekil 1. Lucky Strike segmenti ve komşu segmentlerin çok ışınlı batimetri haritası Escartin ve diğ., (2001)'den düzenlenerek alınmıştır. Dünya üzerindeki mavi dairesembölü Lucky Strike segmentinin yerini göstermektedir.

Figure 1. Multibeam Bathymetric map of Lucky Strike segment and its surroundings. Blue circle demonstrate the locaation of Lucky Strike Segment.

Hidrotermal alanların pek çoğu hızlı yayılım gösteren okyanus ortası sırtlarda yer almaktadır (Baker and German, 2004). Orta Atlantik sırtı gibi yavaş yayılım gösteren sırtlar, hızlı yayılanların aksine genellikle 1000 metreyi aşan batimetrik değişimlere sahip büyük ve geniş rift vadileri sergilemektedir (Smith and Cann, 1992; Tolstoy et al., 2001). Yavaş yayılan sırtlarda keşfedilmiş ilk magma odası ve bununla ilişkili hidrotermal sistem Lucky Strike'da yer almaktadır. Lucky Strike bölgesinde yapılan jeolojik ve jeofizik çalışmalar, hidrotermal çıkış noktalarının hem volkanın üzerinde hem de volkanın uzağında olabileceğini göstermiştir (Sing et al., 2006; Dusunur et al., 2009; Dusunur-Dogan ve Escartin, 2012; Combier et al., 2015). Hidrotermal sistemin oluşumunu destekleyen farklı parametreler arasında deniz tabanı batimetrisi önemli bir etkiye sahiptir. Bu çalışma kapsamında farklı deniz tabanı batimetrisi modelleri oluşturulmuş ve bu

modellerin zamana bağlı olarak hidrotermal su çıkışlarını nasıl denetleyebileceği tartışılmıştır. Sentetik modellerin yanısıra, Lucky Strike hidrotermal alanının da sıcaklık ve akış modellemesi yapılmış, ve modelleme sonuçlarının, bölgede yapılan gözlemlerle oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir.

SAYISAL MODELLER

Öncelikle, gözenekli ortamda bulunan akışkanın fiziksel parametrelerini kontrol etmek amacı için bir dizi test modeli oluşturulmuştur. Sonlu hacimler yöntemine dayanan ANSYS Fluent hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı kullanılarak modellere ait sıcaklık dağılımları hesaplatılmıştır (ANSYS, 2018). Gözenekli ortamlarda sıcaklık ve akış modellemesi için uygun arayüze sahip program daha önce de yerblimlerine ait farklı problemlerin çözümünde kullanılmıştır. (Loreto ve dig., 2019; Düşünür-Dogan and Üner, 2019; Üner ve Dusenur Dogan, 2019). ANSYS Fluent programı sonlu hacimler yöntemine dayanmaktadır. Kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerini eşzamanlı çözmekte ve gözenekli ortamlar için Darcy Yasasını kullanmaktadır (Eşitlik 1).

$$u = -\frac{K}{\mu}(\nabla P - \rho_w g) \quad (1)$$

Eşitlik 1'de K ortamın geçirirliiliği (permeabilite), P basınç, ρ_w akışkanın yoğunluğu, g yerçekimi ivmesi ve ∇ Laplace operatörünü göstermektedir. Akışkanın yoğunluğunun sıcaklığa bağlı olarak değiştiği varsayılmış ve Boussinesq yaklaşımı (Eşitlik 2) kabul edilmiştir.

$$\rho_w = \rho_0 [1 - \beta(T - T_0)] \quad (2)$$

ρ_0 akışkanın T_0 sıcaklığındaki yoğunluğunu vermekteyken, β ısıl genleşme katsayısıdır.

Darcy Hızları süreklilik denklemini (Eşitlik 3) sağlamaktadır.

$$\nabla \cdot (\rho_w u) = 0 \quad (3)$$

Enerjinin korunumu eşitliği (Eşitlik 4) aşağıda verildiği gibidir.

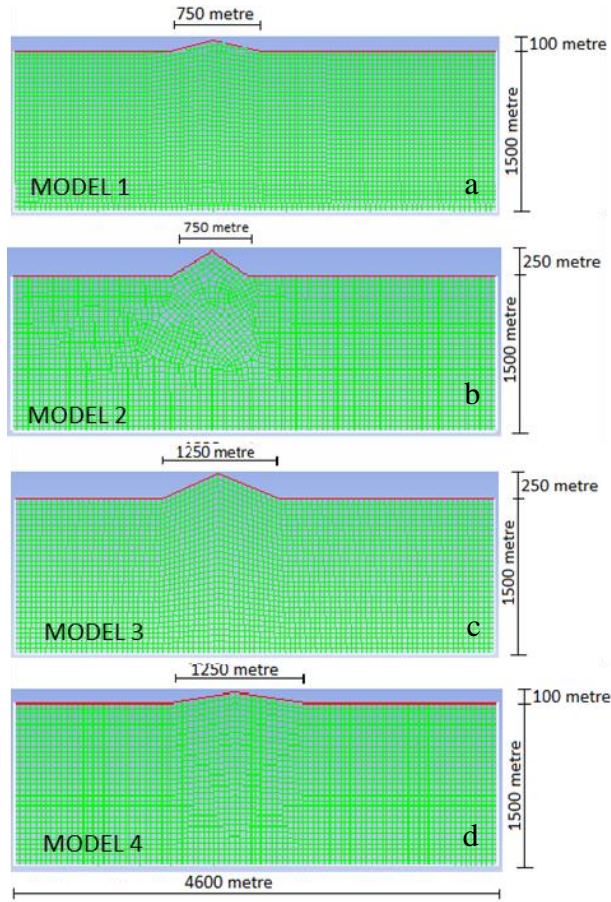
$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (u \rho_w c_p T) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) \quad (4)$$

Bu Eşitlikte c_p gözenekli ortamın ısı kapasitesini ve λ gözenekli ortamın ısı iletkenlik katsayısını vermektedir.

Kullanılan parametreler çalışma alanı olan Lucky Strike hidrotermal alanına uygun şekilde belirlenmiştir. Öncelikle model geometrileri ANSYS Design Modeler programı kullanılarak oluşturulmuştur. Ardından modeller kare ağ yapısı (mesh) kullanılarak ayrıklaştırılmışlardır. Test modellerinde üst duvarın sınır koşulu 10°C , alt duvarın ise 500°C verilmiştir. Ayrıca üst duvara sınır koşulu olarak su kolonunun basıncı tanımlanmıştır. Modelin düşey sınırlarında is ısı ve akışkan geçişine izin verilmemiş sistem adyabatik olarak tanımlanmıştır. Tüm modellerde ortak olan gözenekli ortam parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1 : Test modellerinde kullanılan akışkan ortamın parametreleri.

Gözenekli Ortam Parametreleri	Değerler
Geçirgenlik K (m^2)	10^{-15}
Akışkan Yoğunluğu ρ (kg/m^3)	1140
Isı Kapasitesi C_p ($\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$)	1500
Isıl İletkenlik katsayısı λ ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)	2.5
Viskozite μ ($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$)	5×10^{-5}
Isıl Genleşme Katsayısı β ($1/\text{K}$)	0.000204



Şekil 2. Test modeller için oluşturulmuş model geometrisi ve model ağı; a) MODEL 1, b) MODEL 2, c) MODEL 3 ve d) MODEL 4 (Erçetin, 2017).

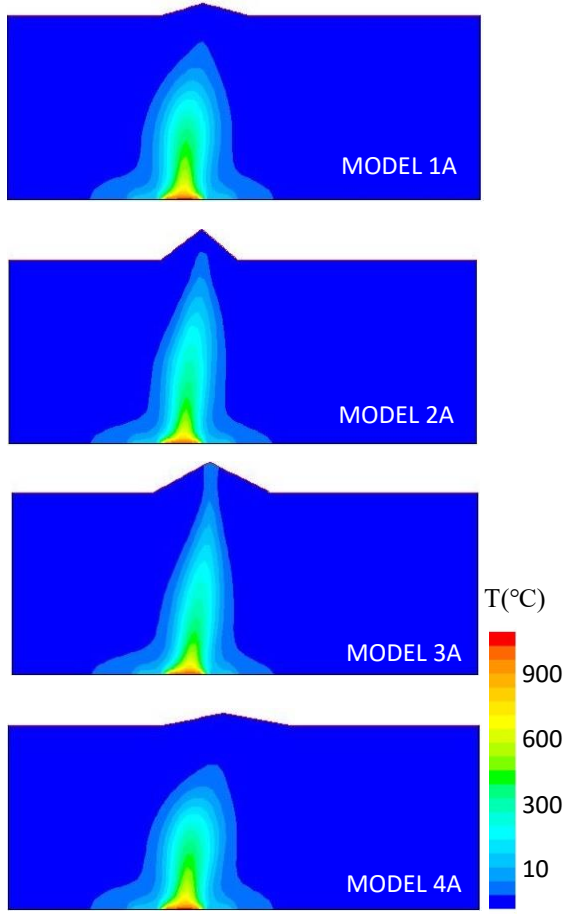
Figure 2. Model geometry and mesh for the test models; a) MODEL 1, b) MODEL 2, c) MODEL 3 and d) MODEL 4 (Erçetin, 2017).

Batimetrik olarak tek bir sırt (yüksekti) içeren modeller sırtın farklı yükseklik ve genişlik durumlarına göre oluşturulmuştur. Isı kaynağı görevini gören magma odacığı ilk grup modellerde (MODEL A) modelin orta kısmında (sırtın alt hizasında) ve model tabanında bulunmaktadır. Şekil 2' de ağ geometrileri görülen sırasıyla genişliği 750 m ve 1250 m olan iki yükselimin yükseklikleri 100 m ve 250 m olacak şekilde sentetik modeller oluşturulmuş, 50 yıllık süreçten 50000 yıllık sürece kadar zamana bağlı olarak sıcaklık ve akış vektörleri hesaplatılmıştır. Modeller tamamı 50000 yıllık süreç neticesinde kararlı (steady-state) düzene geçmiştir.

Modeller sonucunda, ısı kaynağının tam üstündeki deniz tabanında tek bir hidrotermal çıkış noktası olduğu gözlenmiştir. Bu çıkış noktası zaman içerisinde batimetrik yükselimin zirvesine doğru ilerlemekte ve de sonunda sistem kararlı bir hal almaktadır. Bu zaman içerisinde yer değiştirme durumunun başlamasından sonra geçen süre ve kararlı duruma erişmeden göçün tamamlanması için gereken zaman, öngörülen batimetrik sırtın yükseklik ve genişliğine bağlıdır.

Modelleme çalışmalarımızın sonuçları, zaman içerisinde akışkanın yer değiştirme durumunun, topografik yükselimin genişliği ile ters orantılı olduğunu ve yüksekliği ile doğrudan bağlı olduğunu göstermektedir. Sırtın genişliği arttıkça beklenen hidrotermal çıkış noktası sırtın tepe noktasından uzaklaşma eğilimi göstermektedir. Sırtın yüksekliğinin artması durumunda ise beklenen su çıkışları sırtın tepesine doğru odaklanmaktadır. Bu sonuç özellikle su kolonunun yaptığı basınç ile ilişkili olarak karşımıza çıkmaktadır. Buradan hareketle, deniz tabanı topoğrafyasında gerçekleşecek olan düşük genişlikli ve fazla yükseklikli bir yükselimi durumunda, hidrotermal konveksiyon ve çıkış noktası, zirveye doğru olacaktır. Bu sonuçlar daha önce literatürde yer alan çalışmaların bulgularını destekler niteliktedir (Wang et al., 1996, Lowell, 1980).

Şekil 3, Şekil 2'deki modeller kullanılarak oluşturulmuş farklı sırt geometrilerine bağlı sıcaklık dağılımlarını aynı zaman adımı (50000 yıl) için göstermektedir. Aynı genişliğe sahip fakat farklı yükseklik değerlerine sahip iki topografik model karşılaştırıldığı zaman görülmektedir ki, Model 2A' da hesaplanan sıcaklık dağılımı topografik yükselminin bulunduğu bölüme Model 1A' dan daha önce ulaşmıştır.



Şekil 3.İlk grup test modellerinden (MODEL 1-4A) hesaplatılan sıcaklık dağılımları 50000 yıl için çizdirilmiştir.

Figure 3.Temperature distributions for first group of test models (MODEL 1-4A) for 50000yrs.

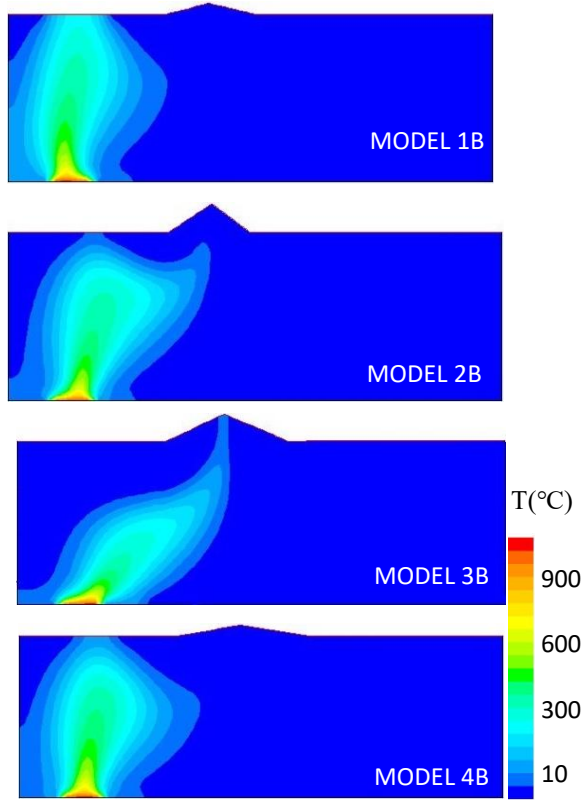
Benzer şekilde, batimetrinin genişliği aynı olmasına rağmen yükseklikleri farklı olduğu zaman akışkan hareketine etkisi açık bir biçimde izlenmektedir (Şekil 3). Model 3A ve Model 4A karşılaştırıldığı zaman akışkan hareketi, Model 4A' da yükselimin bulunduğu noktada ki düşük basınç değerinin etkisiyle topografik yükseltinin bulunduğu kısma doğru ilerlerken, daha yüksek su kolonu basıncına sahip Model 3A yükselimi, akışkan hareketinde daha az etkili olmuştur.

MODEL 1-4A durumunda magma odacığı ile sırt modelin ortasında ve aynı hizada bulunuyorlardı. Test modellerin ikinci kısmında ise sırt gene modelin ortasında yer almaktayken, magma odacığı magma odacığının sırtın hemen altında değil de yatayda belirli bir mesafe uzağında(1500 m)konumlandırılmıştır (MODEL 1-4B).

Aynı genişlik, farklı yüksekliklere sahip olan Model 1B ve Model 2B karşılaştırıldığı zaman, daha yüksek sırt geometrisine sahip olan MODEL 2B'de hem sırtın merkezinden yukarı doğru hem de sırttan uzakta iki ayrı noktada hidrotermal çıkış gözlenmiştir (Şekil 4). Yüksekliğin daha az olduğu MODEL 1B'de ise sadece ısı kaynağının olduğu hizaya yakın bir alanda çıkış olabileceği hesaplatılmıştır.

Yine aynı şekilde aynı genişlik, farklı yüksekliklere sahip Model 3B ve Model 4B karşılaştırıldığı zaman ise Model 3B' de bulunan akışkan hareketi magma odacığından yüzeye doğru ilerleme gösterirken, Model 4B' de ise tamamen farklı bir güzergah izleyerek, yönelimi direk olarak sırtın tepe noktasına doğru gerçekleşmiştir (Şekil 4).

Sırtın farklı genişliğe sahip olduğu modelleri karşılaştırdığımızda, sıcaklığın dağılımı üzerindeki genişlik etkisinin çok belirleyici olmadığı gözlenmiştir (Şekil 4, MODEL 1B ve 4B).Fakat yükseklik değerini arttırdığımız zaman, (Model 2B ve Model 4B) genişliği daha fazla olan Model 4B' de bulunan akışkan hareketinin, Model 2B' ye göre daha fazla etkilenmiş olduğunu görmekteyiz. Bu durum bize yükseltinin genişliğinin de, yükseklik kadar belirleyici olmasa dasıcaklık ve akışkan dağılımında etkisi olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. İkinci grup test modellerinden (MODEL 1-4B) hesaplatılan sıcaklık dağılımları 50000 yıl için çizdirilmiştir. Isı kaynağının (magma odacığı) yeri sırtın solunda yer almaktadır.

Figure 4. Temperature distributions for the second group of test models (MODEL 1-4B) for 50000yrs. Heat source (AMC) is located at left with respect to the ridge.

LUCKY STRIKE MODELİ

Modelleme çalışmasının yapıldığı bölge Atlas okyanusunda yer alan, Portekiz'e bağlı Azor takımadalarında bulunmaktadır. Lucky Strike Segmenti, ~70km uzunluğunda ve 15-20 km genişliğindedir (Şekil 5a). Düşey atımları 500 m'ye ulaşan iki ana fay, rift vadisini doğudan ve batıdan sınırlamaktadır. Lucky Strike volkanı 9 x 15km'lik boyutuyla segmentin merkezinde yer almakta (Şekil 5a) ve üç yerel zirveden oluşmaktadır. Lucky Strike bölgesinde şimdiye kadar keşfedilmiş 21 hidrotermal çıkış noktası vardır ve

hidrotermal saha yaklaşık 150 km² alana sahiptir. Bunlardan en önemlisi Lucky Strike Hidrotermal çıkışları, yüksek sıcaklığa sahiptirler (~340°C) ve Lucky Strike volkanının hemen tepe noktasında yer almaktadırlar (Humphris ve diğ., 2002; Langmuir ve diğ., 1992; Fouquet ve diğ., 1994; Fouquet ve diğ., 1995; Langmuir ve diğ., 1997; Von Damm ve diğ., 1998).

Sıcaklık ve akış modelleri çalışmalarında en önemli parametrelerden biri olan deniz tabanı topoğrafyası, daha önce bölgede yapılmış sismik çalışmalardan derlenerek sayısal modellemeye dahil edilmiştir. Hidrotermal akışkanın derinlere ve yüzeye iletiminde sorumlu olan faylar, kırıklar dasismik kesitlerden elde edilerek, model geometrisi içinde tanımlanmış bu sayede daha gerçekçi bir hidrojeofizik model oluşturulmuştur. Okyanus tabanındaki fayların ve çatlakların geometrilerinin haritalanması özellikle yansıma sismiği ile mümkün olabilmektedir. Bu sebeple modelleme çalışmasında kullanılacak geometrinin oluşturulabilmesi için bölgede daha önce yapılmış çok kanallı sismik yansıma verilerinin sonuçları kullanılmıştır (Şekil 5b) (Comber, et al., 2015).

Akışkan hareketi ve ısı taşınımı ile ilgili parametreler ise Nasser Bani-Hassan' ın (2012) bu bölgede yapmış olduğu çalışmalardan derlenmiştir. Ayrıca bölgenin geçirgenlik, gözeneklilik, ısı kapasitesi, yer içine ait sıcaklık değeri ve ısıl iletkenlik değerleri daha önceki çalışmaların bulguları kullanılarak modele dahil edilmiştir.

Sismik yansıma derinlik kesitlerinden yola çıkılarak oluşturulan modelleme çalışmasının ağ (mesh) görüntüsü Şekil 5c' de sunulmuştur. Hazırlanan bu model geometrisinde toplamda 52770 adet hücre, 79606 sonlu hacim elemanı ve 26801 adet düğüm noktası bulunmaktadır. Bu modelde

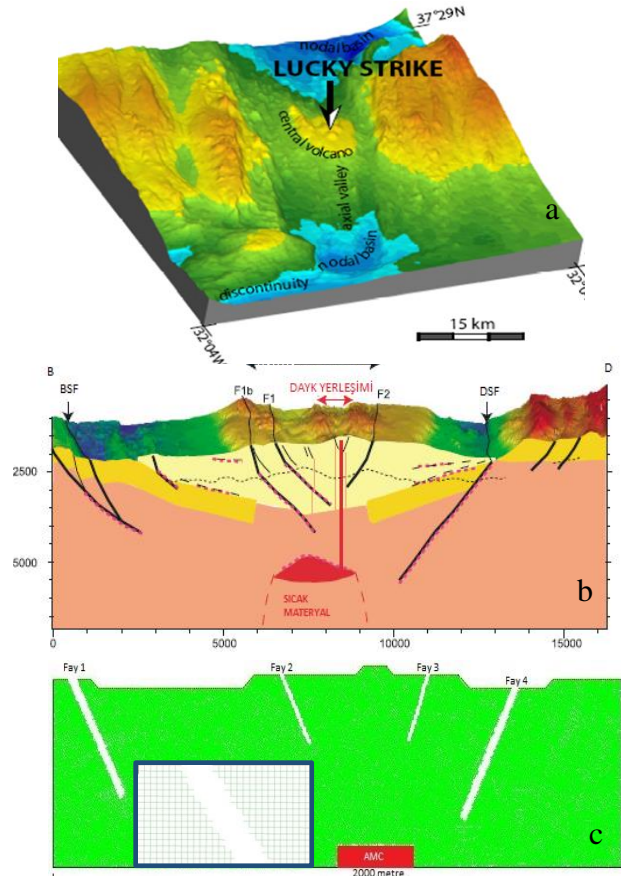
magma odacığı (AMC), deniz tabanından yaklaşık 3500 metre derinlikte olacak şekilde yerleştirilmiş ve 500 metre kalınlığında, 2000 metre genişliğinde olacak şekilde ayarlanmıştır. Bölgede daha önce yapılmış jeokimyasal çalışmalarına uyumlu olacak şekilde magma odasının sıcaklığı 1200 °C olacak olarak kabul edilmiştir.

Modelde 4 tane ana fay/fay zonu bulunmaktadır. Deniz tabanından itibaren, Fay 1'in derinliği 2700 miken Fay 2 ve Fay 3 1500 m derinliğe ulaşmaktadır. Sismik yansıma çalışmasının sonuçları Fay 4'ün ise 3000 m derinliğe kadar ulaştığını ortaya koymaktadır.

Gözenekli ortamın geçirgenlik (permeabilite) değeri 10^{-15} (m^2) iken, fayların permeabiliteleri ise 10^{-13} (m^2) olarak alınmıştır. Modelleme için Lucky Strike volkanını içine alan model geometrisi oluşturulduktan sonra ağ oluşumu tanımlaması için üçgen elemanlar seçilmiştir. Modelde yer alan eğimli faylar, bu üçgen elemanlara sahip ağ geometrisi sayesinde modellenilebilmiştir.

Şekil 6'da Lucky Strike Hidrotermal alanına ilişkin zamana bağlı olarak hesaplatılmış eş sıcaklık dağılımı görülmektedir (500, 2000, 3000, 4000 ve 10000 yıl) (Şekil 6). Magma odacığından yüzeye doğru gerçekleşen sıcaklık ve akışkan yükselimi yaklaşık 3000 yıl gibi bir süre zarfı içerisinde yüzeye ulaşmıştır ve ardından kararlı hale (steady-state) gelmiştir. Modellerde öngörülen ve Lucky Strike volkanının tepesine doğru hareketlenen çıkış, tam olarak Lucky Strike hidrotermal alanının günümüzde yer aldığı noktayla çakışmaktadır. Ana çıkışın yanısıra kenarlarda gözlenen küçük ikincil çıkışların konumu ve büyüklüğü zamana bağlı olarak değişmiştir. 10 000 yılın ardından bu ikincil çıkışlardan bazıları deniz tabanına yaklaştığını göstermektedir. Lucky Strike volkanının uzağında keşfedilen daha

düşük sıcaklıklı çıkış alanlarının varlığı belki bu modellerle açıklanabilir.

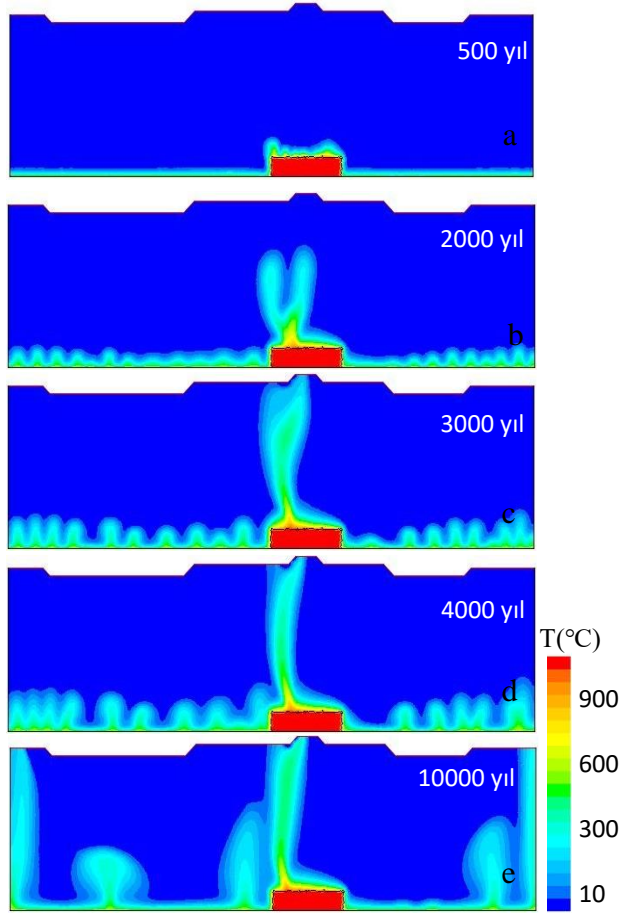


Şekil 5.a) Lucky Strike hidrotermal alanının ve volkanının 3B batimetrik görüntüsü (Dusunur et al., 2009), **b)** Lucky Strike hidrotermal sisteminin düşey kesiti, faylar ve magma odacığı sismik yansıma verilerinden elde edilmiştir (Combiere et al., 2015), **c)** Oluşturulmuş model geometrisi ve ağ. Koyu mavi dikdörtgen yaklaşılmış model ağını göstermektedir. **Figure 5.a)** 3D bathymetric view of the Lucky Strike hydrothermal vent and volcano (Dusunur et al., 2009), **b)** Depth section of the LS hydrothermal vent field. The locations of the faults and AMC are derived from seismic data (Combiere et al., 2015), **c)** Model geometry and mesh. Blue rectangle shows the mesh geometry in close view.

SONUÇLAR VE YORUMLAR

Bu çalışmada deniz tabanı topografyasının hidrotermal dolaşımına etkileri araştırılmış ve modellenmiştir.

Öncelikle yapay olarak oluşturulan modeller üzerinde yöntem irdelenmiştir. Başarılı modelleme sonuçlarının ardından sayısal modelleme çalışması Lucky Strike hidrotermal alanına uygulanmıştır. Çalışma kapsamında sırası ile öncelikle tek batimetrik yükselimin genişlikleri ve uzunlukları arasında ki fark incelenmiş olup ardından magma odacığının konumu değiştirilerek topografik yükselimin sağında ve solunda olması durumu irdelenmiştir.



Şekil 6.Lucky Strike modelinde sıcaklığın zamana bağlı olarak değişimi; a)500, b) 2000, c) 3000, d) 4000 ve e) 10000 yıl için hesaplatılmıştır.

Figure 5.Lucky Strike model with respect to the time for; a)500, b) 2000, c) 3000, d) 4000, and e) 10000 years.

Çalışma alanı olan Lucky Strike bu bölgede bulunan en büyük hidrotermal alana sahip olması ve derinlerde keşfedilen magma odacığı sayesinde hidrotermal alanların incelenebilmesi için en uygun doğal laboratuvarlardan biridir.

Sismik kesitlerden yola çıkılarak ANSYS FLUENT programında sonlu hacimler yöntemi kullanılarak çalışma alanının modellemesi gerçekleştirilmiştir. Akış modellemelerinde en önemli parametrelerden biri deniz tabanı topografyasına ek olarak taşıyıcı sistem olarak öne çıkan faylar, diğer kırıklar ve çatlaklar da modellemeye dahil edilmiştir. Literatür araştırması sonucunda jeolojik formasyona bağlı olarak gözeneklilik değerleri sisteme tanımlanmış, magma odacığının sıcaklığı belirlenmiş ve deniz tabanında su kolonundan kaynaklanan basınç değerleri farklı yükselti için farklı değerler alacak şekilde model üretilmiştir.

Modeller göstermiştir ki topografik yükseltinin genişliğinden daha çok yüksekliği hidrotermal dolaşımın yerini ve sıcaklığını etkilemektedir. Sırtne kadar yükseğe akışkanın sırt merkezine odaklanması o kadar fazla olmuş ve hidrotermal akışkanın çıkış noktası sırtın zirvesinde yer almıştır. Eş sıcaklık eğrileri zaman içerisinde kararlı hale geçmiş ve sırt merkezinde kalıcı bir hidrotermal çıkışa işaret etmiştir. Sırta ulaşan akışkanın yaklaşık sıcaklığı 300-600 °C arasında tahmin edilmektedir. Bu kalıcı sıcak akışkan çıkışları aslında black-smoker (kara baca) olarak adlandırılan yapıların okyanus ortası sırtlarındaki varlığını açıklamaktadır.

KATKI BELİRTME

Bu makale, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak

hazırlanmıştır. Yazarlar, bu projenin gerçekleşmesinden dolayı İTÜ kurum koordinatörlerine teşekkür ederler.

SUMMARY

High temperature hydrothermal areas are generally located in mid-ocean ridges. These high-temperature areas have been the subject of many studies due to the mineral deposits they create and the habitat formed around them, as well as being considered as an alternative to future energy resources. The most important factors that play a role in the formation of hydrothermal areas are the presence and depth of the heat source (magma chamber), the faults / fractures that transports the fluid and sea floor topography.

Geophysical methods are the most effective way to find hydrothermal areas that are currently active or have become inactive. Inactive hydrothermal fields are difficult to find by direct observation. The important point in research is to reveal the structural formations. For this purpose, faulting, sudden changes in the thickness of the intermediate layers, temperature differentiation, fluid movements and mineralization are the basic parameters that differ in local exploration. Numerical techniques are good alternative to explain and understand the dominant mechanism and structures that forms this hydrothermal sites.

The finite volume method is a widely used approach in computational fluid dynamics, as it has an advantage in memory usage and solution speed, especially for large-scale problems, high turbulent flows. Ansys Fluent is a program that helps in solving computational fluid dynamics problems using the finite volume method. The models presented in this manuscript are obtained by Ansys Fluent software.

First of all, a series of test models have been created to control the physical parameters of the fluid in porous media. Models with a

single ridge (high) have been created for different height and width of the ridge. Then the location of the heat source, which is the magma chamber in our case, were tested through the models. Models reveal that the location of the hydrothermal fluid exist are strongly related to the high and the width of the ridge. It is mostly due to the sea column pressure.

After test models, Lucky Strike hydrothermal site were modeled. The region is located in the Azores archipelago of Portugal, located in the Atlantic Ocean. Lucky Strike Segment is ~ 70 km long and 15-20 km wide. Two main faults with vertical offsets reaching 500 m limit the rift valley from the east and west. Lucky Strike volcano is located in the center of the segment with a size of 9 x 15km and consists of three local peaks. There are 21 hydrothermal outlet points discovered so far in the Lucky Strike area, and the hydrothermal field has an area of approximately 150 km². The most important of these, the Lucky Strike Hydrothermal outlets have a high temperature (~ 340 °C) and are located just at the peak of the Lucky Strike volcano.

Seafloor topography, one of the most important parameter in temperature and flow modeling studies, was compiled from previous seismic studies in the region and implemented in numerical modeling. The faults and fractures responsible for the transmission of hydrothermal fluid to the depths and to the surface were also defined within the model geometry, thus a more realistic hydrogeophysical model was created. Lucky strike models predict hydrothermal vent which is located at the top of the Lucky Strike volcano. This results are in good agreement with the observations.

DEĞENİLEN BELGELER

- ANSYS. 2018.** ANSYS Fluent Benchmark. Retrieved 21-06-2018, from <https://www.ansys.com/solutions/solutions-by-role/it-professionals/platform-support/benchmarks-overview/ansys-fluent-benchmarks>
- Baker, E. T., & German, C. R., 2004.** On the global distribution of hydrothermal vent fields. *Mid-ocean ridges*, 245-266.
- Bani-Hassan, N., Iyer, K., Rüpke, L. H., Borgia, A., 2012.** Controls of bathymetric relief on hydrothermal fluid flow at mid-ocean ridges. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 13(5).
- Combier, V., Seher, T., Singh, S. C., Crawford, W. C., Cannat, M., Escartín, J., Dusunur, D., 2015.** Three-dimensional geometry of axial magma chamber roof and faults at Lucky Strike volcano on the Mid-Atlantic Ridge. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120(8), 5379-5400.
- Dusunur, D., Escartín, J., Combier, V., Seher, T., Crawford, W., Cannat, M., Miranda, J. M., 2009.** Seismological constraints on the thermal structure along the Lucky Strike segment (Mid-Atlantic Ridge) and interaction of tectonic and magmatic processes around the magma chamber. *Marine Geophysical Researches*, 30(2), 105-120.
- Düşünür-Dogan, D., Escartín, J. 2012.** Magma odalı yavaş yayılan okyanus ortası sırtlarında ısı modellemesi. *Yerbilimleri/ Earth Sciences*, 33(1).
- Düşünür-Doğan, D., & Üner, S. 2019.** Numerical simulation of groundwater flow and temperature distribution in Aegean Coast of Turkey. *Journal of Earth System Science*, 128(6). <https://doi.org/10.1007/s12040-019-1183-9>.
- Escartín, J., Cannat, M., Pouliquen, G., Rabain, A., Jian, L. 2001.** Crustal thickness of V-shaped ridges south of the Azores: Interaction of the Mid-Atlantic Ridge (36°-39°N) and the Azores hot spot. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 106(B10), 21719-21735.
- Erçetin, E. 2017.** Deniz tabanı topoğrafyasının hidrotermal dolaşıma etkileri, Lucky Strike hidrotermal alanında çalışma, Y.Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Fouquet, Y., Charlou, J.-L., Radford-Knoery, J., Donval, J.-P., Pelle, H., Ondreas, H., Lourenco, N., Segonzac, M., Tivey, M. K., 1994.** Geological setting and comparison of the Menez-Gwen and Lucky Strike vent fields at 37°17'N and 37°50'N on the Mid-Atlantic Ridge (MAR, DIVA 1 diving cruise), *Eos Trans. AGU*, 75(44), Fall Meet. Suppl., Abstract
- Fouquet, Y., Ondreas, H., Charlou, J.-L., Donval, J.-P., Radford-Knoery, J., 1995.** Atlantic lava lakes and hot vents, *Nature*, 377, 201-205.
- Humphris, S. E., Fornari, D.J., Scheirer, D.S., German, C.R., Parson, L.M., 2002.** Geotectonic setting of hydrothermal activity on the summit of Lucky Strike seamount (37°17'N, Mid-Atlantic Ridge), *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 3, 8, 10.1029/2001GC000284.
- Langmuir, C.H., G. Klinkhammer, H. Bougault, and Shipboard Scientific Party, 1992.** FAZAR Cruise Report, Lamont-Doherty Earth Observatory, Palisades, N.Y
- Langmuir, C., Humphris S., Fornari, D., C. Van Dover, K. Von Damm, Tivey, M. K., Colodner, D., Charlou, J., Desonie, D., Wilson, C., Fouquet, Y., Klinkhammer G., Bougault, H., 1997.** Hydrothermal vents near a mantle hot spot: the Lucky Strike vent field at 37°N on the Mid-Atlantic Ridge, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 148, 69- 91.
- Loreto, M.F., Düşünür-Doğan, D., Üner, S., İşcan-Alp, Y., Ocağolu, N., Cocchi, L., Muccini, F., Giordano, P., Ligi, M. 2019.** Fault-controlled deep hydrothermal flow in a back-arc tectonic setting, SE Tyrrhenian Sea. *Sci Rep* 9, 17724.
- Lowell, R.P., 1980.** Topographically driven subcritical hydrothermal convection in the oceanic-crust, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 49(1), 21-28, doi:[10.1016/0012-821X\(80\)90145-4](https://doi.org/10.1016/0012-821X(80)90145-4).
- Üner, S., Düşünür-Dogan, D., 2019.** Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Çözücüsü Ansys Fluent Programının Karşılaştırılmalı Çözümü Ve Yerbilimlerinde Uygulaması, *İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi*, 30, 50-57.
- Singh, S. C., Crawford, W. C., Carton, H., Seher, T., Combier, V., Cannat, M., Miranda, J. M., 2006.** Discovery of a magma chamber and faults beneath a Mid-Atlantic Ridge hydrothermal field. *Nature*, 442(7106), 1029-1032.
- Smith, D. K., Cann, J. R., 1992.** The role of seamount volcanism in crustal construction at the Mid-Atlantic Ridge (24°-30° N). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 97(B2), 1645-1658.
- Rona, P. A., Devey, C. W., Dymont, J., & Murton, B. J., 2010.** Diversity of hydrothermal systems on slow spreading ocean ridges. *Washington DC American Geophysical Union Geophysical Monograph Series*, 188.
- Tolstoy, M., Bohnenstiehl, D. R., Edwards, M. H., & Kurras, G. J. (2001).** Seismic character of volcanic activity at the ultraslow-spreading Gakkel Ridge. *Geology*, 29(12), 1139-1142.
- Von Damm, K. L., Bray, A. M., Buttermore, L. G., ve Oosting, S. E., 1998.** The geochemical controls on vent fluids from the Lucky Strike vent field, Mid-Atlantic Ridge, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 160, 521-536.