



Bekzat Nietaliuli Kuatbekov

Hoca Ahmet Yesevi Uluslararası Türk-Kazak University,
bekzat.kuatbekov@ayu.edu.kz, Turkistan-Kazakhstan

Abdullah Akbulut

Dumlupınar University, abdullah.akbulut@dpu.edu.tr, Dumlupınar-Turkey

Moldir Kurbankızı Abylova

Turkistan Industry and Pedagogical College, moldir_abylova@mail.ru,
Turkistan-Kazakhstan

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2020.15.1.2A0178		
ORCID ID	0000-0002-0766-1202	0000-0002-6199-4083	0000-0003-3680-5532
CORRESPONDING AUTHOR	Abdullah Akbulut		

**ANİZOTROPİK YÜZEYDE ÇOK DELİKLİ YATAY KUYUDAN PETROLÜN
FİLTRELENMESİNDE DEBİNİN HESAPLANMASI**

ÖZ

Petrol rafineri endüstrisinde yatay kuyuların dikey kuyulara göre maliyetleri daha düşüktür. Bununla birlikte izotropik ortamın aksine anizotropik, ince taneli ve gözenekli bir ortamda yatay kuyulara sıvı filtrasyon işlemini modellemekle ilgili yeterli çalışma mevcut değildir. Bu çalışmada anizotropik gözenekli ortamda sıvı filtrasyonunun hesaplanması için bir model geliştirilmiştir. Çok delikli yatay kuyudan çekilen sıvının debisi, basınç ve eğim açısının etkisi hesaba katılarak Sonlu Elemanlar yöntemi ile çözülmüştür. Araştırılan alan 2464 üçgen bileşene ayrılarak, 1362 ve 4046 değişkenli lineer denklem sistemi ve sınır şartları dikkate alınarak çözülmüştür. Eğim açısı değerleri (ϕ) 0° , 30° , 45° , 60° ve 90° olarak alınırken, kuyu basınç değerleri 1Pa, 1.5Pa, 2.5Pa ve 10Pa olarak alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Petrol Rafinerisi, Çok Delikli Yatay Kuyu, Anizotropik Gözenekli Ortam, Gauss-Siedel, Sonlu Elemanlar Yöntemi

**CALCULATION OF FLOW AT PETROLEUM FILTRATION FROM HORIZONTAL BOREHOLES
ON ANISOTROPIC SURFACE**

ABSTRACT

In the oil refining industry, horizontal wells have lower costs than vertical wells. However, in contrast to the isotropic ambit, there is not enough article to model the liquid filtration process to horizontal wells in an anisotropic, fine-grained and porous medium. In this study, a model has been developed for the calculation of liquid filtration in anisotropic porous ambit. The flow rate of the liquid drawn from the multi-hole horizontal well was solved by Finite Element Method, taking into account the effect of pressure and slope angle. The investigated area was divided into 2464 triangular components, 1362 and 4046 variable linear equation system and solved by considering boundary conditions. Slope angle values (ϕ) were taken as 0° , 30° , 45° , 60° and 90° , and bore-hole pressure values were taken as 1Pa, 1.5Pa, 2.5Pa and 10Pa.

Keywords: Oil Refinery, Gauss-Seidel, Finite Element Method, Horizontal Boreholes, Anisotropic Porous Medium

How to Cite:

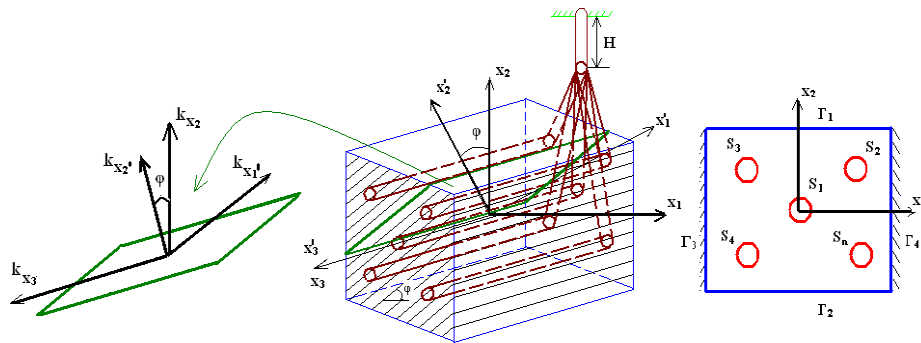
Kuatbekov, B.N., Akbulut, A. ve Kurbankızı Abylova, M., (2020). Anizotropik Yüzeide Çok Delikli Yatay Kuyudan Petrolün Filtrelenmesinde Debinin Hesaplanması, Technological Applied Sciences (NWSATAS), 15(1):1-7, DOI:10.12739/NWSA.2020.15.1.2A0178.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnce gözenekli izotropik ve anizotropik bir ortamda filtrasyon özelliklerini belirleyen Reynolds sayısını hesaplamak için doğal tabakadaki sıvı ve gazın kesin özelliklerini hesaplamak için matematiksel modeller kullanılmalıdır. Günümüzde petrol arıtma alanında dik kazılan kuyulara nazaran yatay, çok delikli kuyuları kullanmak daha ekonomik sonuçlar vermektedir. Rusya, Azerbaycan, Türkmenistan ve Kazakistan gibi pek çok ülkede yatay çok delikli petrol kuyuları daha çok tercih edilmektedir. İzotropik petrol ve gaz alanlarında ortamla ilgili modelleme çalışmaları Borisov U.P. [10], Economides M.J. [11], Joshi S.D. [12], Hristiyanovich A. [1], Lapuk B. [2], Charny I.A. [3], Shelkashev B.N. [4] daha sonraki yıllarda Abbasov M.M. [5], Borisov P. [6], Buzinov S.M. [7] tarafından yapılmıştır. Anizotropik petrol ve gaz alanlarında yatay açılan kuyuların verimlilikleri analitik yöntemlerle mümkün olmamaktadır. Bu nedenle sayısal yöntemlerle gerekli çalışmaların yapılması gerekmektedir. Çok delikli yatay açılan petrol veya gaz kuyuları yerleşim yönüne göre "başlık" veya "iskele" türü (katman boyunca yerleştirilen yatay kuyu deliği), dik kesim türü (iskele türüne dik yerleşen yatay kuyu deliği) ve diyagonal kuyu türü (boy ekseninin iskele yönü ile herhangi bir açıyla kesişen kuyu deliği) olmak üzere üçe ayrılmaktadır Kuatbekov B.N [13]. Yapılan teorik çalışmada Polubarinova-Kochina P.I. [8] tabaka kalınlığını açılan yatay deliğin gövde uzunluğuna eşit almış ve yatay açılan kuyu deliğinin yatay uzunluğundan daha büyük tabaka kalınlığında çalışmasını önermektedir. Çok delikli yatay kuyuların avantajı, yatay kuyuların dallanmasından kaynaklanan etkinin filtrasyon direncini azaltmasıdır. Aliyev V.S. [9] düşük güçte büyük kırımlar üzerinde sıvı alan çoklu kuyuların kullanılmasının neredeyse tek olasılık olabileceğini belirtmiştir. Bu çalışmada Çok Delikli Yatay Kuyunun Basınç ve Akış Hızın Hesaplamak İçin Filtrasyon Yapılan İzotropik Düzlemin Derecelik Eğim Etkisini "Sonlu Elemanlar Yöntemi" İle Hesaplayan Bir Algoritma Kullanılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada toprak katmanına çok delikli yatay kuyular kazılarak, petrolün filtrasyonunun sağlanması hedeflenmiştir. Bununla birlikte tek yönde ve farklı mesafelerde yerleşen N tane deliğe sahip yatay kuyuların dizilişi Şekil 1'de verilmiştir. Yatay düzlem ile katmanlar arasında φ açılık fark mevcuttur. Delik kenarları ve sınırların dışında oluşan basıncın bilindiği kabul edilirse;



a) Filtrasyon Çarpanları b)Uzay c)Yatay Kesiti

Şekil 1. Hesaplama alanının çizimi
(Figure 1. Drawing the calculation area)

Bu durumda $Ox_1x_2x_3$ koordinat sisteminde $k_{ij}, (i, j = 1, 2)$ filtreleme çarpanları aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned} k_{11} &= k_{x_1} \cdot \cos^2 \varphi + k_{x_2} \cdot \sin^2 \varphi, \\ k_{22} &= k_{x_1} \cdot \sin^2 \varphi + k_{x_2} \cdot \cos^2 \varphi, \\ k_{12} &= \left(k_{x_2} - k_{x_1} \right) \sin \varphi \cos \varphi. \end{aligned} \quad (1)$$

İskele türündeki kuyularda ana filtreleme süreci ikinci dereceden kısmi türevli diferansiyel denklem ile modellenmektedir:

$$\beta \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{k_{11}}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x_1} \right) + 2 \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{k_{12}}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x_2} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\frac{k_{22}}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x_2} \right) \quad (2)$$

Burada;

μ yapışkanlık katsayısını, $\beta = \beta^* H$, β^* ortamın, β ise sıvının filtrasyon katsayılarını, H ise katman kalınlığını ifade etmektedir. Bu durumda, basıncı hesaplamada başlangıç şartı

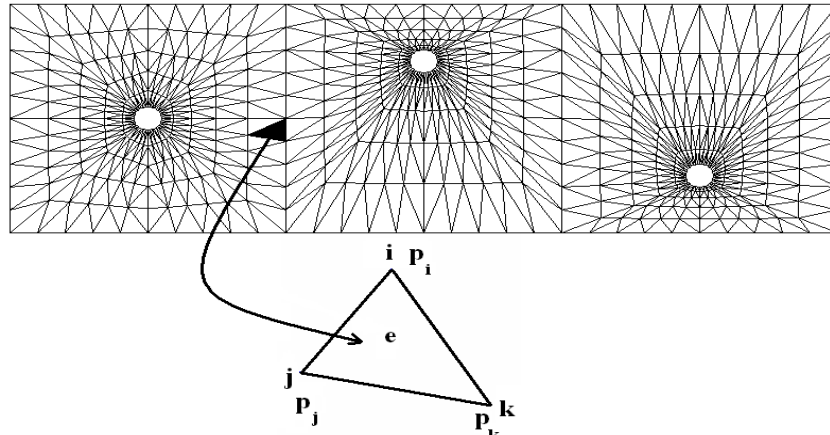
$$p(x_1, x_2, 0) = p_0 \quad (3)$$

ve sınır şartı ise aşağıdaki gibi belirtilir.

$$P \Big|_{\Gamma_1} = P_1, \quad P \Big|_{\Gamma_2} = P_2, \quad P \Big|_{S_k} = P_k^*, \quad (k = \overline{1, N}) \quad (4)$$

$$\frac{\partial p}{\partial n} \Big|_{\Gamma_3} = 0, \quad \frac{\partial p}{\partial n} \Big|_{\Gamma_4} = 0 \quad (5)$$

Bu problemin çok delikli yatay kuyu için analitik yöntem ile çözümü bulunmamakta olup sayısal metod, yani sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapılabilir. Önceden verilmiş olan parametrelere göre hesaplama alanına sonlu elemanlar metodu ile birlikte geliştirilen bir iç program uygulanmıştır. Bu programın yardımı ile hesaplama alanı kuyu deliklerinin ölçümlerine bağlı olarak üçgen bileşenlere ayrılmıştır (Şekil 2). Şekil 2'de görüldüğü üzere hesaplanmak istenen alan sonlu elemanlar metodu kullanılarak üçgen bölgelere ayrılmış olup çalışma kapsamında geliştirilen bir iç program yardımıyla çözüm için yeni bir yöntem geliştirilmiştir.



Şekil 2. Hesaplama alanının üçgen bileşenlere ayırma
(Figure 2. Separation of the calculation area into triangular components)

Yukarıda verilen 1-5 denklemleri kullanılarak çözüm fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\chi = \int \frac{1}{v^2} \left[k_{11} \left(\frac{\partial p}{\partial x_1} \right)^2 + k_{22} \left(\frac{\partial p}{\partial x_2} \right)^2 + 2k_{12} \frac{\partial p}{\partial x_1} \frac{\partial p}{\partial x_2} \right] + \int_{\Gamma_1} p_2 ds + \int_{\Gamma_2} p_6 ds + \sum_{k=1}^n \int p_k^* ds \quad (6)$$

Burada çözümüm minimize edilebilmesi için sonlu elemanlar yöntemi kullanılacaktır. Üçgen bileşenlerin uçlarındaki basınç aşağıdaki formüller ile hesaplanabilmektedir:

$$P_i = N_i P_i + N_j P_j + N_k P_k \quad (7)$$

$$N_i = \frac{1}{2\Delta} (a_i + b_i x_1 + c_i x_2), \quad N_j = \frac{1}{2\Delta} (a_j + b_j x_1 + c_j x_2),$$

$$N_k = \frac{1}{2\Delta} (a_k + b_k x_1 + c_k x_2) \quad (8)$$

$$a_i = x_{1j} x_{2k} - x_{1k} x_{2j}, \quad b_i = x_{2j} - x_{2k}, \quad c_i = x_{1k} - x_{1j}$$

$$a_j = x_{1k} x_{2i} - x_{2k} x_{1i}, \quad b_j = x_{2k} - x_{2i}, \quad c_j = x_{1i} - x_{1k}$$

$$a_k = x_{1i} x_{2j} - x_{1j} x_{2i}, \quad b_k = x_{2i} - x_{2j}, \quad c_k = x_{1j} - x_{1i} \quad (9)$$

burada, N_i, N_j, N_k - form (şekil) fonksiyonlarını ifade etmektedir. Bileşenlerin özellikleri yukarıdaki formülde hesaba katılarak, sınırlama bileşenleri yöntemine uyarlanıp analiz edilmesi gereken yüzey için uygun lineer denklem sistemi oluşturulur.

$$K\{P\} = F \quad (10)$$

Bu sistemdeki denklemlerin derecesi üçgen bileşenlere ayrılmış hesaplama alanındaki kilit noktalara bağlıdır. Kilit noktalar sayısını arttırma ve azaltma yolu ile de hesaplama alanını bileşenlere bölme yöntemleri mevcuttur. Hesaplama alanında bulunması gereken basınç, her bir kilit nokta için hesaplanacaktır. Basınç elde edildikten sonra, çok delikli yatay kuyunun akış hızı A.B. Fadeev'in [14] hesaplama yöntemine göre aşağıdaki formüller ile hesaplanır:

$$Q_{ij} = a(H_i - H_j), \quad Q_{jk} = c(H_j - H_k), \quad Q_{ki} = b(H_k - H_i) \quad (11)$$

$$a = \Delta K_\phi [(x_{2k} - x_{2i})(x_{2j} - x_{2k}) + (x_{1i} - x_{1k})(x_{1k} - x_{1j})] \quad (12)$$

$$H_i = \frac{p_i}{pg} + x_{2i}, \quad H_j = \frac{p_j}{pg} + x_{2j}, \quad H_k = \frac{p_k}{pg} + x_{2k} \quad (13)$$

$$[k] = \begin{bmatrix} -(a+b) & a & b \\ a & (a+c) & c \\ b & c & -(b+c) \end{bmatrix}, \quad [k] = \Delta [B]^T [D] [B] \quad (14)$$

Son ifade bileşenlerin filtreden geçirme özelliğinden dolayı oluşan matristir. $[k]$ ise bileşenlerin sertlik matrisini ifade etmektedir.

$$D = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} \quad (15)$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDING AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada çok delikli yatay kuyunun basınç ve akış hızını hesaplamak için, filtreleme yapılan izotropik düzleminin ϕ eğim açısının etkisi, "Sonlu Elemanlar Yöntemi" ile hesaplayan algoritmalar, sistemli bir şekilde kullanılmıştır. Basınca göre kuyu ($\tau/24$ saat) akış hızının değişimi ve önerilen algoritma ile oluşturulan program yazılımının doğruluğu, uygulanan test hesaplamaları ile kontrol edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiş olup Borisov P. [6] tarafından yapılan net çözüme göre %5 oranında farklılık göstermektedir.

Tablo 1. Uygulanan yöntemden elde edilen sonuçların Analitik çözüm ile karşılaştırması

(Table 1. Comparison of the results obtained from the applied method with the analytical solution)

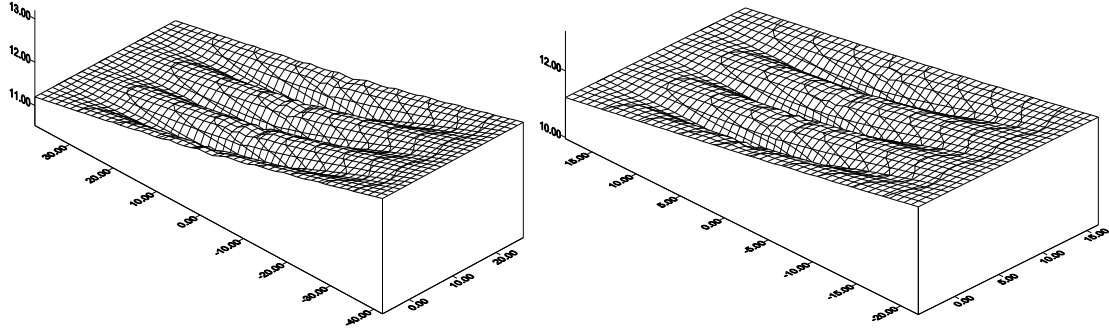
L(M) Q($\tau/24$ saat)	1	2.5	5	7.5	10
Analitik Çözüm	9.587	23.967	47.935	71.902	95.870
Sınırlama Bileşenler Yöntemi	9.592	23.980	47.961	71.942	95.923
Mutlak Hata Oranı	0.005	0.013	0.026	0.04	0.053

Araştırılan alan, Delphi nesne yönelimli programlama dilinde yazılan program ile üçgen şeklindeki sonlu elemanlara ayrılmıştır. Örneğin, 3 delikli yatay kuyulu alan 1362 kilit noktalar yardımı ile 2464 üçgen bileşenlere ayrılmıştır. Filtreleme hesabı 1362 ve 4046 değişkenli lineer denklem sistemi oluşturularak ve bu sınırlama koşulların hesaba katarak Gauss-Seidel yöntemi ile çözülmüştür. Açık ve basınç değerlerinin değişimine bağlı olarak yatay kuyu açılacak alanın katman kalınlık oranına göre petrol akış hızı değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kuyu basıncına göre akış hızının değişimi
(Table 2. Variation of flow rate according to well pressure)

k_{11}/k_{22}	Φ Δp	0	30°	45°	60°	90°
0.1	1	9.985	6.209	4.340	3.335	3.095
	1,5	14.629	9.534	6.679	4.838	3.898
	2	19.273	12.859	9.018	6.341	4.701
	5	47.140	32.811	23.054	15.362	9.519
	10	93.584	66.063	46.446	30.395	17.548
0.5	1	7.871	6.779	5.918	5.241	4.727
	1,5	12.135	10.485	9.108	7.946	6.975
	2	16.399	14.192	12.298	10.650	9.223
	5	41.982	36.432	31.437	26.879	22.711
	10	84.622	73.499	63.335	53.926	45.192
1	1	7.891	7.891	7.891	7.891	7.891
	1,5	12.144	12.144	12.144	12.144	12.144
	2	16.397	16.397	16.397	16.397	16.397
	5	41.916	41.916	41.916	41.916	41.916
	10	84.447	84.447	84.447	84.447	84.447
5	1	16.901	12.723	13.578	19.959	44.728
	1,5	22.612	21.735	25.686	35.571	67.027
	2	28.322	30.748	37.794	51.183	89.237
	5	62.585	84.823	110.443	144.855	223.124
	10	119.690	174.949	231.523	300.975	446.119

Şekil 3'de tabaka kalınlıklarının 0m ve 80m olması durumundaki debi değişimi verilmiştir.



Şekil 3. H=40m ve H=80 iken $\frac{k_{11}}{k_{22}} = 0.5$ durumundaki debi değişimi
(Figure 3 Flow rate change at $\frac{k_{11}}{k_{22}} = 0.5$ when H=40m and H=80m)

4. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada çok delikli yatay kuyunun basınç ve akış hızını hesaplamak için filtrasyon yapılan izotropik düzlemin ϕ açılık eğim etkisini "Sonlu Elemanlar Yöntemi" ile hesaplayan bir algoritma kullanılmıştır. Uygulanan yöntemden elde edilen sonuçlar Analitik yöntemle karşılaştırıldığında yatay açılan deliğin gövde uzunluğuna bağlı olarak mutlak hata farkları Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde yatay delik gövde uzunluğunun artması ile hata miktarının da arttığı, ancak maksimum hata miktarının gövde uzunluğunun 10m olması durumunda 0.053 olduğu görülmektedir. Hata oranının en düşük olduğu 0.005 değeri, gövde uzunluğunun 1m olması durumunda elde edilmiştir. Tablo 2'de çok delikli yatay kuyunun basınç ve akış hızın hesaplamak için filtrasyon yapılan izotropik düzlemin ϕ derecelik eğim etkisini belirlemek için 0°, 30°, 45°, 60° ve 90° değerlerinde açılar ve 1, 1.5, 2, 5 ve 10Pa değerlerinde basınç kullanılarak petrolün debi değişimi verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde ϕ değeri arttıkça petrolün akış hızının azaldığı, aynı eğim açısı değeri için ise basıncın artması ile akış hızının da arttığı görülmektedir. Akış hızının en düşük olduğu durum k_{11}/k_{22} oranının 0.1 ve eğim açısının 90° olması durumunda 3.095t/gün olarak elde edilmiştir. En ilgi çekici sonuçlardan birisi k_{11}/k_{22} oranının 1 olması durumunda petrol akış hızının aynı basınç değerleri için tüm eğim açısı değerlerinde aynı kaldığı ve değişmediği görülmüştür. k_{11}/k_{22} oranının 5 olması durumunda eğim açısının artmasıyla aynı basınç değerlerinde akış hızının azalmadığı, eğim açısının 90° olması durumunda en yüksek değerleri aldığı belirlenmiştir. Şekil 3'de k_{11}/k_{22} oranının 0.5 olması durumunda eğim açısı ve basınç değerlerinin değişimine bağlı olarak petrol akış hızında ki değişim detaylı olarak verilmiştir.

SEMBOLLER (SYMBOLS)

μ	:Yapışkanlık katsayısı
H	:Katman kalınlığı (m)
B^*	:Ortamın katsayısı
B	:Sıvının filtrasyon katsayısı
N_i, N_j, N_k	:Form (şekil) fonksiyonları



TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Abdullah Akbulut, ikinci yazar, Hoca Ahmet Yesevi Uluslar Arası Türk-Kazak Üniversitesine ve Mütevelli Heyet Başkanlığına görevlendirildiği süre boyunca bilimsel çalışmalara verdikleri desteklerden dolayı teşekkür eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Hristianovich, C.A.O., (1941). Dvijeni Gazirovanni Jidkosti V Poristih Porodah, Prikl. mat. meh. T:5, pp:277-282.
- [2] Lapuk, B.B.K., (1939). Itogam po Podzemnoi Gazifikasi Neftinih Plastov, Azerb. Neft. H-vo. N:2, pp:31-36.
- [3] Charni, I.A., Krilov, A.P., Glogovski, M.M., Mirscnik, M.F., and Nikolaevski, N.M., (2004). Naushnie Osnovi Razrabotki Neftinih Mestorojdeni. M, Ijevsk: Insitute komputernih issledovani, pp:416
- [4] Shelkashev, B.N., Lapuk, B.B., and Podzemnaia Gidravlika, M.L., (1949). Gostoptehizdat, pp:524.
- [5] Abasov, A.A., (1962). Raspredelenie Temperature Pri Vitesneni Nefti Goriachim Agentom iz Plasta Izv. AN SSSR, ser. fiz. matem. i tahn. N:4, pp:105-111.
- [6] Borisov, J.P. and Pilatovski, B.P., and Tabakov, B.P., (1964). Razrabotka Neftinih Mestorojdeni Gorizontalnimi I Mnogozaboinimi Skvajinami. M, Nedra, pp:154.
- [7] Buzinov, C.N. and Umrihin, I.D., (1973). Gidrodindmisheskie Metodi Issledovanie Skvajin I Plastov. M, Nedra, pp:248.
- [8] Polubarinova-Kochina, P.I., (1977). Teoria Dvijenie Gruntovih Vod. M: Izdatelstva «Nauka» Glavnaia Redaksia Fiziko-Matematicheskoi Literaturi.
- [9] Aliev, Z.C., (2004). Issledovanie Gorizontalnih Skvajin. M, FGUP Izd-vo "Neft i gaz" RGU nefti i gaza im. I.M. Gubkina, pp:300.
- [10] Borisov, J.P., Pilatovski, B.P., and Tabakov, B.P., (1964). Razrabotka Neftinih Mestorojdeni Gorizontalnimi I Mnogozaboinimi Skvajinami. M, Nedra, pp:154.
- [11] Economides, M.J., Hill, A.D., and Ehlig-Economides, C.A., (1994). Petroleum Production Systems. Engle Wood Cliffs. PTR Prentice Hall, pp:611.
- [12] Joshi, S.D., (1991). Horizontal Well Technoljgy: Penn Well. Tulsa. ok.
- [13] Kuatbekov, B.N., (2010). Gorizontaldik Ungilarga Suiktin Anizotropti Suzgilenuin Matematikalik Modeldeu (Algoritmi, Bagdarlamasi Jane Analizi).
- [14] Fadeev, A.B., (1987). MKI v Geomehanike. Nedra, pp:221.