

BİLİM ve TEKNİĞE KATKILAR



GÜNEŞ HAVUZLARINDA ISI ÇEKME İŞLEMİNİN KARARLILIĞA ETKİSİ

Dr. Selahattin GÖKTUN *
Deniz Harp Okulu Kom.lığı
AR-GE Başkanlığı
İSTANBUL

In this study the heat extraction induced instability of the non-convective zone (insulating layer) which includes a horizontal velocity gradient and serves as an insulator for the storage of solar energy absorbed in salt gradient solar pond has been studied with only convective heat transfer effects taken into consideration. The condition for stability is derived as a relationship between the salinity gradient, temperature gradient and horizontal velocity.

Bu çalışmada derişiklik gradyenli güneş havuzlarında soğurulan güneş enerjisinin depolanabilmesi için bir yalıtıcı vazifesi gören taşınimsız ara bölgenin kararlılığı, havuzdan ısı çekme ameliyesi sırasında bu bölgede oluşacak yatay yöndeki hız gradyeninin sebep olacağı taşınım etkisi göz önüne alınarak incelenmiştir. Taşınimsız ara bölgenin kararlılık koşulu, soğurulan güneş ışınımına, havuzdan çekilen dip akışkan tabakası hızına, sıcaklık ve tuzluluk gradyenlerine bağlı olarak elde edilmiştir.

GİRİŞ

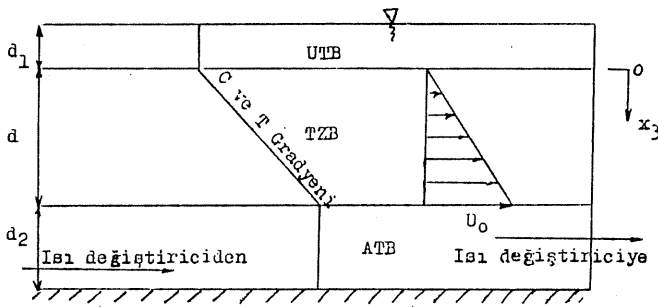
Güneş havuzu, derinliği arttıkça içerdiği akışkanın derişikliği artan bir sistem olup, genellikle üst taşınımlı bölge (ÜTB), taşınimsız ara bölge (TZB) ve alt taşınımlı bölge (ATB) olmak üzere üç bölgeden meydana gelmektedir. Alt taşınımlı bölge, tuz derişikliğinin en fazla olduğu bölgedir. Alt taşınımlı bölge üzerinde, bir yalıtıcı görevi yapan ve üst taşınımlı bölgeye doğru, azalan bir derişiklik gradyeni içeren taşınimsız ara bölge, güneş havuzunun kalbidir. İçerdiği derişiklik gradyeninin yeterince büyük olmasıyla, bu bölgede taşınım hareketi olmayacak, dolayısıyla havuz dibinde soğurulan enerjinin alt taşınımlı bölgede depo edilmesini sağlayacaktır.

Depolanan güneş enerjisinin % 20'sini düşük sıcaklıkta kullanılabilir enerji şekline çevirebilen güneş havuzundan bu enerji, alt taşınımlı bölgeye yerleştirilecek bir ısı değıştirici ile

çekilebileceği gibi, alt taşınımlı bölgeden alınacak sıcak tuzlu suyun havuz dışında bir ısı değıştiriciden geçirilmesiyle de çekilebilir [1]. Etkin bir ısı geçişi için, havuz dibine yerleştirilecek ısı değıştiricinin çok büyük bir yüzey alanına sahip olma gerekliliği ve bir arıza halinde arızanın kolayca lokalize edilememesi ve korozyon nedeniyle onarım güçlüğü birinci metodun kullanımını büyük ölçüde sınırlar [2]. Bu nedenle sunulan çalışmada, ısı çekmek amacıyla havuzun alt taşınımlı bölgesindeki sıcak tuzlu suyun düşük bir hızla ($Re < 1000$) taşınimsız ara bölgenin hemen alt kısmından havuz dışına alınıp, mevcut bir ısı değıştiriciden geçirildikten sonra tekrar havuz dibine enjekte edilmesi düşünülmüştür. Böyle bir işlemde, alt taşınımlı bölgenin taşınimsız ara bölgeye karışmadan havuz dışına çekilebilmesi için, alt taşınımlı bölgede Froude sayısının (Fr) yaklaşık olarak 1'e eşit olması ve Richardson sayısının (Ri) ise, 0.85'den büyük

* Yazar 10. Cilt 3. Sayıda tanıtılmıştır.

olması şeklinde kriterlere literatürde rastlanmıyorsa da, alt taşınımı bölge çekilirken aynı anda güneş ışımasını soğuran ve yatay yönde bir hız gradyeni içeren taşınimsız ara bölgenin kararlı kalabilmesi (düşey yönde taşınım ile ısı geçişinin başlamaması) için gerekli bir kriterle rastlanılamamıştır [2,3,4,5]. Bu nedenle taşınimsız ara bölgenin kararlılık koşulunu elde etmek için önce ana hidrodinamik denklemler belirlenmiş ve bunlara Boussinesq yaklaşımı uygulanmıştır [6]. Daha sonra çıkarılan ana tedirgenlik denklemleri kullanılarak ısı çekme işleminin kararlılık üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu işlemler sırasında Şekil 1'de görüldüğü gibi taşınimsız ara bölgede $U=U_0(x_3/d)$ şeklinde bir hız gradyeninin oluşacağı kabul edilmiştir.



Şekil 1 Güneş havuzunun yapısı ve ısı çekme işlemi

TEORİ

Dış kuvvet olarak sadece yerçekimi etkisinde olan "d" kalınlığındaki taşınimsız ara bölge kararlı bir sıcaklık ve derişiklik gradyeni içerir. Şekil 1'de görülen bu bölge yatay yönde sonsuz uzunlukta kabul edilip, sınır koşulları

$$x_3 = 0 \quad \text{ için } \quad T = T_1, \quad C = C_1 \quad (1)$$

$$x_3 = d \quad \text{ için } \quad T = T_2, \quad C = C_2$$

şeklinde yazılabilir.

Boyutsuz değişkenlerle çalışmak uygulamada kolaylık sağlayacağından, $x_3=d-x_3=1$ ve $U=(U_0/\alpha)x_3$ şeklinde yazılabilir. Lineerize edilmiş ana hidrodinamik denklemler, sonsuz küçüklükteki tedirgenlik büyüklüklerini ihtiva edecek şekilde yazılıp, tedirgenlik büyüklüklerinin çarpımları diğer terimler yanında ihmal edilirse, süreklilik, momentum, enerji ve difüzyon denklemleri sırasıyla;

$$u_{i,1} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{1}{Pr} (u_{i,t} + U u_{i,1} + u_3 U_{,3} \delta_{i1}) = -P_{,i} + (R_C C - R_T T) \delta_{i3} + u_{i,jj} \quad (3)$$

$$T_{,t} + U T_{,1} + u_3 (1 + \Delta_r) = T_{,jj} \quad (4)$$

$$C_{,t} + U C_{,1} + u_3 = \frac{1}{Le} C_{,jj} \quad (5)$$

$i,j=1,3$

şeklinde elde edilebilir.

Yukarıdaki denklemlerde u_i bileşenlerini, $u_{i,t}$ hız bileşenlerinin zamana göre kısmi türevlerini, $u_{i,j}$ hız bileşenlerinin j yerel değişkenine göre kısmi türevlerini, $u_{i,1}$ hız bileşenlerinin yatay x_1 koordinatına göre kısmi türevlerini, u_3 düşey yöndeki hız bileşenini, P izotropik basıncı, T mutlak sıcaklığı, C çözünen maddenin (inorganik tuz) derişikliğini, R_C ve R_T sırasıyla derişiklik ve ısı Rayleigh sayısını, δ_i Kronecker deltası, Δ_r ışıının soğurulma etkisini gösteren boyutsuz terimi, Pr ve Le sırasıyla Prandtl ve Lewis sayısını göstermektedir [6].

Momentum denklemindeki $P_{,i}$ basınç terimini yok etmek için bu denkleme $(Curl)_i = \epsilon_{ijk} ()_{,j}$ şeklinde tanımlanan Curl operatörü uygulanıp, enerji ve difüzyon denklemlerinde yatay yöndeki akılar ihmal edilirse, kararlılık analizi için gerekli olan aşağıdaki üç denklem elde edilebilir.

$$\frac{1}{Pr} \left[u_{3,jjt} + \frac{U_0}{\alpha} x_3 (u_{3,1111} + u_{3,3311}) + \frac{U_0}{\alpha} u_{3,1133} \right] = -(R_T T_{,11} - R_C C_{,11}) + u_{3,jjkk} \quad (6)$$

$$T_{,t} + u_3 (1 + \Delta_r) = T_{,jj} \quad (7)$$

$$C_{,t} + u_3 = \frac{1}{Le} C_{,jj} \quad (8)$$

Taşınimsız ara bölge için serbest yüzey koşulları;

$$x_3 = 0 \quad \text{ ve } \quad x_3 = 1 \quad \text{ için } \quad u_{i,3} = 0$$

$$\begin{aligned}
x_3 = 0 \text{ ve } x_3 = 1 \text{ için } u_{3,33} &= 0 \\
x_3 = 0 \text{ ve } x_3 = 1 \text{ için } T &= 0, \\
C &= 0 ; u_3 = 0
\end{aligned} \quad (9)$$

şeklinde yazılabilir. (9) denklemleri ile verilen sınır koşullarını sağlayan çözümler;

$$u_3(x_1, x_3, t) = A_1(t) \sin \tilde{k}_1 x_1 \sin \tilde{k}_3 x_3$$

$$T(x_1, x_3, t) = A_2(t) \sin \tilde{k}_1 x_1 \sin \tilde{k}_3 x_3$$

$$C(x_1, x_3, t) = A_3(t) \sin \tilde{k}_1 x_1 \sin \tilde{k}_3 x_3$$

$$\tilde{k}_3 = \pi$$

eşitlikler şeklinde göz önüne alınıp, (6-8) denklemlerinde yerlerine konulursa, Kaynak [7]'deki notasyona uygun olarak

$$\bar{D} = \begin{vmatrix} \frac{U_o}{k^2} \frac{x_3}{\alpha} & -\frac{\tilde{k}_1^2}{k^2} \text{Pr} R_T & \frac{\tilde{k}_1^2}{k^2} \text{Pr} R_C \\ - (1 + \Delta_T) & -\tilde{k}^2 & 0 \\ -1 & 0 & -\tilde{k}^2 \frac{1}{Le} \end{vmatrix}$$

matrisi elde edilebilir. Sistemin kararlılık durumunu elde etmek için $\bar{D} = 0$ 'dan, sürekli kararlılık için

$$R_T \text{Pr}(1 + \Delta_T) + \frac{R_T U_o}{2\alpha} x_3 \leq Le R_C \text{Pr} \quad (12)$$

bağıntısı elde edilebilir. $\bar{D}$ matrisinde $\tilde{k}^2 = (\tilde{k}_1^2 + \tilde{k}_3^2)$ şeklinde, düşey düzlemdeki tedirgenliklerin dalga sayısını gösteren ve 0 ile ∞ arasında değişen büyüklüktür.

SONUÇ

Derişiklik gradyenli bir güneş havuzunun enerji depolama kapasitesi alt taşınımlı bölgenin büyümesi ile artar. Bu bölgenin büyümesi havuz dibi ile yüzeyi arasındaki derişiklik farkına ve özellikle ışıının şiddetine bağlıdır. Işıının şiddetinin artması halinde alt taşınımlı bölgenin daha da büyümesi, depolanacak enerji miktarını artırmakla beraber, taşınımsız ara bölgenin küçülmesine ve bu bölgede taşınım

hareketinin başlamasına sebep olabilir. Yalıtıcı bölgede, dengenin bozulup taşınımla ısı geçişinin başlaması sistemden sürekli ısı kaybına neden olacağından, depolanan enerjinin belirli zaman aralıklarında havuzdan çekilmesi gerekir. Bu maksatla, alt taşınımlı bölgedeki sıcak tuzlu suyun düşük bir hızla ($Re < 1000$) havuz dışına

alınp, bir ısı değıştiriciden geçirildikten sonra tekrar havuz dibine enjektisi mümkündür. Bu çalışmada güneş havuzundan ısı çekme işleminin, taşınımsız ara bölgenin kararlılık koşulu üzerindeki etkisi teorik olarak incelenmiş ve doğal veya yapay güneş havuzları üzerinde yapılacak araştırmalarda elde edilecek verilerin kullanılabilceğı bir kararlılık koşulu elde edilmiştir. Bu koşuldan elde edilebilecek hız büyüklüğünün Kaynak [2-5]'de verilen kriterlerde de kullanılıp kullanılmayacağını tespiti için $Pr=3$, $Le=100$, $x_3=d=2$ m, $\Delta_T=0.5$, $\alpha=2.10^{-5}$ m²/s, $R_T=2.10^8$, $R_C=5.10^8$ alınmış ve $U_o=0.015$ m/s elde edilmiştir. Bu hız kullanılarak $Fr=1$ ve $Ri>0.85$ bulunmuştur. Bu sonuçlar, sunulan çalışmada taşınımsız ara bölge için elde edilen kararlılık koşulu yardımı ile hesaplanacak alt taşınımlı bölge hızının, bölgeler arasındaki girişimin önlenmesi için gerekli kriterleri sağlayabileceğini, aynı zamanda taşınımsız ara bölgenin hangi hız limitinde kararlı kalabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak (12) eşitliği ile verilen kararlılık koşulunun, güneş havuzlarının ısı çekmek amacı ile yapılacak tasarımlarında emniyet ile kullanılabilceğı ifade edilebilir. Ancak geliştirilen bu teorelin deneysel çalışmalarla da tahkik ve tasdik edilmesi tavsiye olunur.

SEMBOLLER

- A zamana bağılı katsayı
- C derişiklik, kg/m³
- d akışkan tabakası kalınlığı, m
- $\tilde{k}$ tedirgenliğin dalga sayısı, m⁻¹
- P basınç, N/m²
- T sıcaklık, K
- U taşınımsız ara bölgedeki hız gradyeni, m/s
- u_1 hız bileşenleri, m/s
- x kartezyen koordinatlar, m
- x_3 taşınımsız ara bölge yüzeyinden itibaren düşey koordinat, m
- α ısı yayılım katsayısı, m²/s

İndisler

- o genlik
- $j (= \frac{\partial}{\partial x_j})$ j yerel değişkenine göre kısmi türev
- $_{jj} = \frac{\partial}{\partial x_j} (\frac{\partial}{\partial x_j})$ j yerel değişkenine göre ikinci merteye kısmi türev
- $_{t} (= \frac{\partial}{\partial t})$ zamana göre kısmi türev

KAYNAKLAR

1. Tabor, H., "Large Area Solar Collectors For Power Production", Solar Energy, 4, 189, 1963.
2. Dixon, A.E. and Leslie, J.D., "Solar Energy Conversion", Pergamon Press, 1978.

3. Sabetta, F., Pacetti, M. and Principi, P., "An Internal Heat Extraction System For Solar Ponds", Solar Energy, 34, 297, 1985.
4. Rubin, H. and Bemporad, G.A., "Analysis of Turbulent Flow in Thermal Layers of the Advanced Solar Pond (ASP)", Solar Energy, 1, 25, 1989.
5. Rubin, H. and Bemporad, G.A., "The Advanced Solar Pond (ASP): Basic Theoretical Aspects", Solar Energy, 1, 35, 1989.
6. Göktun, S., "Güneş Enerjisinin Güneş Havuzlarında Depolanması", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 10, 15, 1987.
7. Finlayson, B.A., "The Galerkin Method Applied to Convective Instability Problems", J. Fluid Mech. 33, 201, 1968.

ERCIYES ÜNİVERSİTESİ ve TIBTD İŞBİRLİĞİYLE

TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ KANUNU ÇALIŞMA TOPLANTISI

27-29 AĞUSTOS 1990 KAYSERİ

- Temel Görüşler: Genişletilmiş tersinmez termodinamik, istatistik yaklaşım, termodinamik özelliklerin tayini
- Tersinmezliğin Minimumlaştırılması: Isı değiştiricilerine, yanmaya, soğutma ve iklimlendirmeye, güç üretimi sistemlerine uygulama
- Termoekonomik Yaklaşım: Kullanılabilir enerji (ekserji)'nin maliyeti, zaman ve belirsizlik tesirleri, optimizasyon teknikleri, ısı sistemlerinin sentez metodları
- Termodinamik Öğretimi ve Terimleri

Toplantıda çağrılı bildiriler, araştırma sonuçları ve gelişme raporları sunulacaktır. Bir daktilo sayfasını geçmeyen özetlerin ve bildirisiz katılım isteklerinin **30 Haziran 1990**'dan önce aşağıdaki adreslerden birine yollanması gerekmektedir.

Prof.Dr. Aksel ÖZTÜRK
Mühendislik Fakültesi Dekanı
Erciyes Üniversitesi
38090 KAYSERİ
Tel: (35) 180759

Prof.Dr. Yalçın GÖĞÜŞ
Havacılık Mühendisliği Bölümü
ODTÜ 06531 ANKARA
Tel: (4) 2237100/2471