

Sıcak su depolama tankındaki dairesel plakaların ısıl tabakalaşmaya etkisi

Mevlüt ARSLAN*, İ. Necmi KAPTAN, Necdet ALTUNTOP

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Silindirik sıcak su depolama tankı içerisine dairesel plakanın f/H ve g/D oranlarında yerleştirilmesinin ısıl tabakalaşma üzerine etkisi sayısal ve deneysel olarak araştırılmıştır. Silindirik sıcak su depolama tankı modelleri, ortasına g/D oranlarında delik açılmış dairesel plakaların f/H oranlarında tank içerisine yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Depolama tankının içerisine yerleştirilen dairesel plakalar ile tankın üst kısmındaki sıcak su ile alt kısmındaki soğuk suyun birbirleri ile karşılaşması önlenmiş ve tank içerisinde bulunan sıcak suyun ısıl tabakası korunmuştur. Burada H ve D sırası ile tankın yüksekliği ve çapı, f tankın taban yüzeyinden dairesel plakaya olan mesafe ve g ise dairesel plakaya açılan deliğin çapıdır. Isı depolamak için kullanılan sıcak su depolama tankı güneş enerjisi uygulamaları için düşünülmüştür. Fakat bu çalışmada suyun ısıtılması işlemi güneş enerjisi ile değil de, ısıtma tankında bulunan elektrikli ısıtıcı ile yapılmıştır. Bu analiz süreklilik, momentum ve enerji eşitliklerinin üç boyutlu zamana bağlı durumu dikkate alınarak yapılmıştır. Sayısal çalışmanın geçerliliği deneysel olarak da ispatlanmıştır. Sayısal sonuçların elde edilmesinde FLUENT paket programı kullanılmıştır. Tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü, sıcaklık ve sıcaklık farkı dağılımları, çeşitli f/H ve g/D oranlarında ve zamana bağlı olarak şekiller ve grafikler üzerinde gösterilmiştir. Sonuçlar; tank içerisine yerleştirilen dairesel plakanın ısıl tabakalaşmayı iyileştirdiğini ve bunun sonucunda da, engelsiz tank durumuna göre, tanktan sağlanan kullanım suyu sıcaklığını arttırdığını göstermektedir. En iyi ısıl tabakalaşma dairesel plakanın tank içerisine $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranlarında yerleştirilmesi durumunda elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Depolama tankı, ısıl tabakalaşma, dairesel plaka.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Mevlüt ARSLAN. marslan@erciyes.edu.tr; Tel: (354) 242 10 01.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Su ile ısı enerji depolanmasında sıcaklık tabakalaşmasının sayısal ve deneysel olarak araştırılması" adlı doktora tezinin hazırlanmıştır. Makale metni 30.03.2006 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 03.05.2006 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.08.2007 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Effect of circular plates placed in the hot water storage tank on thermal stratification

Extended abstract

In this study, effect of f/H and g/D ratios of circular plates placed in a cylindrical hot water storage tank on thermal stratification is investigated numerically and experimentally. The tank model is designed by placing a circular plate in the tank with a hole in the center at f/H and g/D ratios. Here H and D are the height and diameter of the tank respectively, while f is the distance from the bottom surface of the tank to the circular plates and g is also the diameter of the hole on the plates.

This cylindrical hot water storage tank used to store heat for solar collector application is considered. The most commonly use of solar energy is the solar collector used for water heating. A hot water tank is used for storing part of the solar energy collected by the solar collector for later use. But in this study, the water remaining in the storage tank is heated by the heater tank with an electrical heater placed inside. As soon as hot water is drawn from the tank, cold tap water flows into the tank mixing with the remaining hot water, and therefore lowering the water temperature in the tank. This is an undesirable result. In this study, a solar hot water storage tank with a circular plate placed inside is considered and optimum plate dimensions are searched to minimize the mixing of hot and cold water so that water may be supplied at higher temperatures.

This analysis is based on unsteady, three-dimensional continuity, momentum and energy equations. The governing equations are used to determine the temperature and velocity distributions in the flow field by using boundary and initial conditions. The thermodynamic properties of the water are considered in this study. The velocity is assumed to be zero at the beginning. The operation pressure in the tank is taken 1 atmosphere and the hot water temperature is assumed to be 335 K when the water usage started. The temperature and velocity of water supplied by the heater tank are taken 335 K and 0.8 m/s and these of cold tap water entering the tank are taken 290 K and 0.6 m/s, respectively. The time between the water is started to be used and the water usage was finished is assumed as calculation region.

This time is taken as 30 minute and the problem was solved unsteady.

The velocity and temperature distributions inside the tank were obtained by using FLUENT computer code. Three dimensional unsteady solutions are taken by using implicit method in segregated solver. The discretization is achieved by using Standard method for pressure and by using first upwind method for momentum, energy and continuity equations. The SIMPLE (semi-implicit method for pressure-linked equations) algorithm was used for flow calculations.

A numerical investigation of optimizing dimensions of a plate placed in a hot water tank for thermal stratification is performed. A first observation of temperature distributions in the tank indicates that placing plate in the tank improves thermal stratification compared with no plate case. It appears that increasing f/H ratio increases temperature of stratified region whereas decreasing the volume of this region. In another words, increasing f/H decreases the amount hot water that can be taken from the tank. Increasing g/D ratio decreases the temperature of stratified region, and therefore, smaller values of g/D are desirable

Temperature distributions in the tank, water temperature supplied by the tank, water temperature going to collector, various water temperature differences between tank outlet and inlet and appearance of the temperature values in the tank are shown on the graphs and figures for various f/H and g/D ratios and according to time.

For higher thermal stratification, the temperatures T_3 and T_2 should be high and T_1 should be low. In another words, the differences T_3-T_1 and T_2-T_1 should be as high as possible. An investigation of effects of g/D and f/H ratios of plate dimensions on these temperature differences shows that the best thermal stratification can be obtained for a g/D ratio of 0.2 and an f/H ratio of 0.133 among considered cases. Using circular plates in hot water storage tanks improves thermal stratification in the tank and consequently increases the temperature of hot water supplied by the tank. It also decreases the temperature of water supplied to the collector, and thus improving collector efficiency.

Keywords: Storage tank, thermal stratification, circular plate.

Giriş

Enerjinin depolanması mühendisliğin önemli konularından birisidir. Depolama konusunda çok geniş çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan biri de güneş enerjisinin depolanmasıdır. Güneş olmadığı günlerde bu enerjinin bir kısmı depolanır ve su ısıtma, ürün kurutma, su damıtma ve hacim ısıtma uygulamalarında bu depolanan enerjiden faydalanılır.

Güneş enerjili sistemler içerisinde en yaygın kullanılan ve en ekonomik olanı sıcak su depolama sistemleridir. Güneş enerjili sistemlerde sıcak suyun depolanması; güneş kolektörleri, depolama ünitesi, sirkülasyon pompaları ve kontrol sisteminden v.b. gibi oluşan, bir güneş enerjisi depolama sistemi vasıtası ile yapılır (Kılıç ve Öztürk, 1984). Güneş olmadığı günlerde suyun ısıtılması işlemi elektrikli ısıtıcı kullanılarak yapılır. Bu sistemde depolanan sıcak su, endüstri ve konutların sıcak su ihtiyacının karşılanmasında kullanılır.

Konu ile ilgili olarak geçmişte yapılan çalışmalarda; silindirik paralel depolama tankının ısı davranışı sayısal ve deneysel olarak araştırılmıştır. Sayısal çalışmada bir boyutlu “Turbulent Mixing” ve “Displacement Mixing” modeller kullanılmıştır. Bu modellerin kullanımı ile tank içindeki dikey sıcaklık dağılımının kararsız davranış göstermesi engellenmiştir (Alizadeh, 1999). Sıcak su depolama tanklarında, çeşitli dizayn parametrelerinin tankta oluşan ısı tabakalaşma üzerindeki etkisi ve suyun tanktan istenilen sıcaklıkta çıkması için gereken zaman analitik olarak belirlenmiştir (Al-Nimr, 1994). Güneşli su ısıtma sistemlerinde termosifon etkili sıcak su tanklarında ısı tabakalaşma üzerine teorik ve deneysel olarak çalışılmıştır. Tankta sıcaklık dağılımını veren analitik ifadeler verilmiş ve termosifon sistemlerde zamana bağımlı olarak depolama tankında tabakalar arasındaki iletimle ısı transferi, diyagramlarla gösterilmiştir (Mısra, 1994). Güneşli su depolama tankında oluşan sıcaklık dağılımı üzerinde sıcak su tüketiminin etkisi araştırılmıştır (Helwa ve Mobarak, 1995).

Sıcak su depolama tanklarında oluşan sıcaklık tabakalaşması sayısal ve deneysel olarak çalışılmıştır. Sistem üzerinde, işletme ve çevrenin

ısı tabakalaşmaya etkileri araştırılmış ve sonuçta, su debisinin azaltılmasıyla oluşan sıcaklık farkının artması ile tabakalaşmanın iyileştiği ve sistem için L/D'nin optimum değerinin 3 ile 4 arasında olduğu belirlenmiştir (Harıharan ve Badrınarayana, 1991). Sıcak su depolarında akışkan ve ısı transferi karakteristikleri konusunda çalışma yapılmış ve bu çalışmada depolama verimi, ısı tabakayı elde etmek için kullanılmıştır. Sonuçta, Richardson ve Peclett sayılarındaki artışın dolma verimliliğini artırdığı belirlenmiştir (Hahne ve Chen, 1998). Geniş bölgesel güneşli sıcak sulu sistemlerinin işletme modeli ve birbirine bağlantılı depolama tankları üzerine sayısal olarak çalışma yapılmış ve bu çalışmada hissedilir ısının depolanması için çok sayıda depolama tankının gerekliliği belirlenmiştir. Yüksek performans için; depolama tankları ile yüksek sıcaklık tabakalaşması arasındaki ilişki ve kullanıcıya yüksek derecede çabuk ısı enerji transferi için sistem modeli tahminleri yapılmıştır (Prapas ve Tsiamouris, 1993). Isıl tabakalaşma sağlanan depolama tanklarında kararsız türbülans akış alanı üzerine sayısal olarak çalışılmış ve bu çalışmada k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Sıcak akışkan ile soğuk akışkanın yer değiştirmesi ile oluşan kararsız türbülans akış alanının, tanktaki ısı tabakalaşmaya etkisi araştırılmıştır (Mo ve Miyatake, 1996). Değişken giriş sıcaklıklarında depolama tanklarında oluşan ısı tabakalaşma üzerine analitik çözümler yapılmış ve bu çalışmada, süper pozisyon prensibi kullanılarak plug akış bölgesindeki sıcaklık profilleri başarılı bir şekilde formülize edilmiştir (Yoo ve Kim, 1999). Düşük Reynolds sayısına sahip akışlar için, hissedilir ısı depolamada oluşan ısı tabakalaşma üzerinde, tank geometrisinin etkisi araştırılmıştır. Çeşitli oranlar için bulunan depolama performansı üzerinde akışkanın giriş ve çıkış etkileri, parametrik analiz olarak ortaya koyulmuştur (Eames ve Norton, 1998).

Yukarıda bu konuda yapılan çalışmalardan görüldüğü gibi güneş enerjili veya elektrik ısıtıcılı sıcak su depolama sistemleri üzerine günümüzde bir çok çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar ısı tabakalaşma konusunda çok zayıf kalmıştır. Yapılan bu çalışmalarda bir veya iki boyutlu modeller kullanılmıştır yada sadece za-

r- momentum denklemi:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial V_r^*}{\partial t^*} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial (r^* V_r^* V_r^*)}{\partial r^*} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial (V_\theta^* V_r^*)}{\partial \theta^*} \\ & + \frac{\partial (V_z^* V_r^*)}{\partial z^*} = -\frac{\partial P^*}{\partial r^*} + \frac{1}{\text{Re}} \left[\frac{\partial}{\partial r^*} \left(\frac{1}{r^*} \frac{\partial (r^* V_r^*)}{\partial r^*} \right) + \right. \\ & \left. \frac{1}{r^{*2}} \frac{\partial^2 V_r^*}{\partial \theta^{*2}} + \frac{\partial^2 V_r^*}{\partial z^{*2}} - \frac{2}{r^{*2}} \frac{\partial V_\theta^*}{\partial \theta^*} \right] + \frac{V_\theta^{*2}}{r^*} \\ & + \frac{\text{Gr}}{\text{Re}^2} T^* \cos \theta \end{aligned} \quad (2)$$

θ - momentum denklemi:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial V_\theta^*}{\partial t^*} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial (r^* V_r^* V_\theta^*)}{\partial r^*} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial (V_\theta^* V_\theta^*)}{\partial \theta^*} \\ & + \frac{\partial (V_z^* V_\theta^*)}{\partial z^*} = -\frac{1}{r^*} \frac{\partial P^*}{\partial \theta^*} + \frac{1}{\text{Re}} \left[\frac{\partial}{\partial r^*} \left(\frac{1}{r^*} \frac{\partial (r^* V_\theta^*)}{\partial r^*} \right) + \right. \\ & \left. \frac{1}{r^{*2}} \frac{\partial^2 V_\theta^*}{\partial \theta^{*2}} + \frac{\partial^2 V_\theta^*}{\partial z^{*2}} + \frac{2}{r^{*2}} \frac{\partial V_r^*}{\partial \theta^*} \right] - \frac{V_r^* V_\theta^*}{r^*} \\ & + \frac{\text{Gr}}{\text{Re}^2} T^* \sin \theta \end{aligned} \quad (3)$$

z- momentum denklemi:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial V_z^*}{\partial t^*} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial (r^* V_r^* V_z^*)}{\partial r^*} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial (V_\theta^* V_z^*)}{\partial \theta^*} \\ & + \frac{\partial (V_z^* V_z^*)}{\partial z^*} = -\frac{\partial P^*}{\partial z^*} + \frac{1}{\text{Re}} \left[\frac{\partial}{\partial r^*} \left(\frac{1}{r^*} \frac{\partial (r^* V_z^*)}{\partial r^*} \right) + \right. \\ & \left. \frac{1}{r^{*2}} \frac{\partial^2 V_z^*}{\partial \theta^{*2}} + \frac{\partial^2 V_z^*}{\partial z^{*2}} \right] + \frac{\text{Gr}}{\text{Re}^2} T^* \end{aligned} \quad (4)$$

Enerji denklemi:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial T^*}{\partial t^*} + V_r^* \frac{\partial T^*}{\partial r^*} + \frac{V_\theta^*}{r^*} \frac{\partial T^*}{\partial \theta^*} + V_z^* \frac{\partial T^*}{\partial z^*} = \frac{1}{\text{Pr Re}} \\ & \left[\frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial r^*} \left(r^* \frac{\partial T^*}{\partial r^*} \right) + \frac{1}{r^{*2}} \frac{\partial^2 T^*}{\partial \theta^{*2}} + \frac{\partial^2 T^*}{\partial z^{*2}} \right] \end{aligned} \quad (5)$$

Boyutsuzlaştırma işleminde karşılaşılan temel güçlük, uygun karakteristik büyüklüklerin se-

çilmesidir. Böylece, boyutsuz değişkenler kabaca aynı mertebeye getirilmiş olur. Tank yüksekliği, tank içerisinde eksenel yöndeki sıcaklık tabakalaşması etkilerini içeren bir büyüklük olduğu için, bu çalışmada karakteristik uzunluk olarak tercih edilmiştir. Korunum denklemlerindeki fiziksel büyüklükler aşağıdaki gibi boyutsuzlaştırılmıştır.

$$\begin{aligned} r^* &= \frac{r}{H}, \quad Z^* = \frac{z}{H}, \quad \varphi^* = \frac{\varphi}{2\pi} \\ V_r^* &= \frac{V_r}{U_0}, \quad V_\theta^* = \frac{V_\theta}{U_0}, \quad V_z^* = \frac{V_z}{U_0} \\ T^* &= \frac{T - T_0}{T_b - T_0}, \quad P^* = \frac{P - P_0}{\rho U_0^2}, \quad t^* = \frac{U_0 t}{H}, \end{aligned}$$

Yukarıdaki denklemlerde de görüldüğü gibi probleme etkiyen boyutsuz sayılar aşağıdaki gibi yazılmışlardır.

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{U_0 H}{\nu}, \quad \text{Gr} = \frac{g \beta (T_b - T_0) H^3}{\nu^2}, \quad \text{Ri} = \frac{\text{Gr}}{\text{Re}^2} \\ \text{Pe} &= \frac{U_0 H}{\alpha} = \text{Re Pr} \end{aligned}$$

Burada T_0 şehir şebeke suyunun tanka giriş sıcaklığı, T_b depolama tankında ilk anda bulunan kullanıma başlamadan önceki ısıtılmış suyun sıcaklığı, P_0 atmosfer basıncı, H karakteristik uzunluk (tankın yüksekliği) ve U_0 ise r yönündeki tanka giren soğuk suyun üniform giriş hızıdır. Dolayısı ile problemin incelenmesinde bu parametreler dikkate alınmalıdır. Bu denklemlerle ilgili başlangıç ve sınır şartları boyutsuz olarak aşağıdaki gibi verilmişlerdir.

Başlangıç şartları:

$$\begin{aligned} & t^* = 0 \text{ ve } (0 < r^* < R/H, 0 < \varphi^* < 1, 0 < z^* < 1) \text{ 'da} \\ & V_r^* = 0, \quad V_\theta^* = 0, \quad V_z^* = 0 \\ & T_1^* = T_2^* = T_3^* = T_4^* = T_5^* = 1 \end{aligned}$$

Giriş sınır şartları:

$$\begin{aligned} & (r^* = R/H, \varphi^* = 0.5, z^* = \delta_3/H) \text{ 'da} \\ & V_{r,4}^* = 1, \quad V_{\theta,4}^* = 0, \quad V_{z,4}^* = 0, \quad T_4^* = 0 \\ & (r^* = R/H, \varphi^* = 0.5, z^* = 1 - \delta_1/H) \text{ 'da} \end{aligned}$$

$$V_{r,2}^* = \frac{U_2}{U_0}, V_{\theta,2}^* = 0, V_{z,2}^* = 0$$

$$T_2^* = 1 - 0.02025 * t^* \quad (g/D = 0.1 \text{ için})$$

$$T_2^* = 1 - 0.01925 * t^* \quad (g/D = 0.2 \text{ için})$$

$$T_2^* = 1 - 0.01875 * t^* \quad (g/D = 0.3 \text{ için})$$

$$T_2^* = 1 - 0.01750 * t^* \quad (g/D = 0.4 \text{ için})$$

$$T_2^* = 1 - 0.01350 * t^* \quad (g/D = 0.5 \text{ için})$$

Duvar sınır şartları:

Silindirik duvar:

$$\left. \frac{\partial T^*}{\partial r^*} \right|_{r^*=R/H} = 0 \quad (0 < \varphi^* < 1, 0 < z^* < 1)$$

$(r^* = R/H, 0 < \varphi^* < 1, 0 < z^* < 1)$ 'da

$$V_r^* = 0, V_\theta^* = 0, V_z^* = 0$$

Üst duvar:

$$\left. \frac{\partial T^*}{\partial z^*} \right|_{z^*=1} = 0 \quad (0 < r^* < R/H, 0 < \varphi^* < 1)$$

$(0 < r^* < R/H, 0 < \varphi^* < 1, z^* = 1)$ 'da

$$V_r^* = 0, V_\theta^* = 0, V_z^* = 0$$

Alt duvar:

$$\left. \frac{\partial T^*}{\partial z^*} \right|_{z^*=0} = 0 \quad (0 < r^* < R/H, 0 < \varphi^* < 1)$$

$(0 < r^* < R/H, 0 < \varphi^* < 1, z^* = 0)$ 'da

$$V_r^* = 0, V_\theta^* = 0, V_z^* = 0$$

olarak yazılmışlardır.

Deneysel çalışma

Su ile ısı enerjisi depolama ünitelerindeki sıcak su depolama tanklarında oluşan sıcaklık tabakalaşmasının deneysel olarak incelenmesi için bir deney düzeneği kurulmuştur. Bu deney düzeneği, sıcak su depolama tankı, su ısıtma tankı, sirkülasyon pompası (3 debi ayarlı), debi ölçer, selenoid vana, elektrikli rezistans (ısıtıcı 10 kW), sıcaklık kontrol sistemi, 36 adet

termoeleman, su seviye göstergesi kabı ve düzeneği, elektrik hattı paneli, bilgisayar ve veri toplama ünitesinden oluşmaktadır. Kullanım sırasında depolama tankına şehir şebekesinden giren soğuk su (T_4), ısıtma tankı ve depolama tankından oluşan kapalı çevrimdeki ısıtma tankında ısıtılmış ve geri depolama tankına sirkülasyon pompası vasıtasıyla gönderilmiştir.

Bu düzenekteki silindirik sıcak su depolama tankı Şekil 2'de görüldüğü gibi, 5 mm cidar kalınlığında, 1 m çap ve 1.5 m boyundadır ve dikey olarak konumlandırılmıştır. Bu tankın üst kısmına yakın silindirik yüzeyde ve radyal doğrultuda sıcak su kullanım kanalı (T_3), sıcak su kullanım kanalına tam simetrik ve aynı eksen üzerinde radyal doğrultuda silindirik yüzeye yerleştirilmiş ısıtma tankından gelen sıcak su giriş kanalı (T_2), Tankın alt kısmına yakın silindirik yüzeyde ve radyal doğrultuda şehir şebekesinden gelen soğuk su giriş kanalı (T_4), soğuk su giriş kanalına tam simetrik ve aynı eksen üzerinde radyal doğrultuda silindirik yüzeye yerleştirilmiş ısıtma tankına giden su çıkış kanalı (T_1) bulunmaktadır.

Sıcak ve soğuk su giriş-çıkış kanallarının çapları 0.02 m, boyları ise 0.1 m'dir. Soğuk su giriş ve çıkış kanallarının tankın alt kısmına olan mesafesi 0.06 m ve sabittir. Sıcak su giriş kanalının tankın üzerine olan yükseklik mesafesi $\delta_1=0.2$ m'dir. Sıcak su giriş kanalına göre tam simetrik olarak yerleştirilmiş sıcak su (kullanım suyu) çıkış kanalının tankın üzerine mesafesi ise $\delta_2=0.15$ m'dir. Bu tank sıcak su depolama tankı olarak kullanılmaktadır. Bu tankın üst kısmında yani sıcak su kullanım kanalının bulunduğu bölgede kullanım esnasında yüksek sıcaklıkta uzun süre sıcak su bulundurulması istenmektedir. Bu nedenle bu bölgede sıcaklık tabakalaşması oluşturmak için tankın içerisine g çapında ortasına delik açılmış dairesel plaka f yüksekliğinde aksel olarak yerleştirilmiştir.

Depolama tankının çevresine 0.08 m kalınlığında cam yünü sarılarak yalıtım sağlanmıştır. Bu sıcak su depolama tankındaki su sıcaklıkları, tankın silindirik yüzeyine aksel ve radyal yönde çeşitli basamak ve mesafelerde yerleştirilmiştir.

Yapılan sayısal bir çalışmada çözümün yakınsama kriterlerine uyması, bilgisayarlı akışkanlar dinamiği modellemesinde çok önemlidir. Paket programda temel denklemlere ait cebirsel eşitliklerin her birinin sayısal çözümü, bir kalıntı (sayısal hata) içerir. Bu hata ise kontrol hacmi içindeki bütün hücreler için hesaplanan eşitliklerdeki kalıntıların toplamıdır.

Bu hata değerleri aşağıda verilen değerlerin altında olduğu zaman, programın temel denklemlere ait cebirsel denklemleri sayısal olarak doğru çözdüğü kabul edilir. Süreklilik ve momentum denklemlerinin yakınsama kriterleri için 1×10^{-3} ve enerji denkleminin yakınsama kriteri için ise 1×10^{-6} değerleri seçilmiştir.

İrdeleme

Bu bölümde, yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların değerlendirilmesi birlikte yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı, sıcak su depolama tankından uzun süre sıcaklık tabakalaşması bozulmadan yüksek sıcaklıkta su (kullanım suyu) temin etmektir. Sıcak su kullanımı anında, depolama tankında bulunan sıcak suyun ısı tabakasının, sıcak su depolama tankına giren soğuk şehir şebeke suyu tarafından bozulmaması istenmektedir. Bu nedenle sıcak su depolama tankının içerisine $g/D=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ ve $f/H=0.067, 0.133, 0.2, 0.27, 0.33$ oranlarında dairesel plakalar yerleştirilmiştir.

g/D oranlarındaki bu dairesel plakalar; tanka giren soğuk suyun, tankın içindeki sıcak su ile optimum alanda temas etmesine ve bunun sonucunda da sıcak su tabakasının korunmasına neden olmaktadır. g/D oranlarındaki dairesel plakalar f/H oranlarında aksel yönde depolama tankının içine yerleştirilerek, tabakalaşmış sıcak su hacmi küçültülmüş veya büyütülmüş ve istenilen sıcaklık değerinde sıcak su elde edilmesine gidilmiştir. Geliştirilen bu sıcak su depolama tankı modelindeki sıcaklık tabakalaşmasının oluşumunu daha iyi gözlemlemek için, engelsiz tank modelinde de deneysel ve sayısal çözümler elde edilmiştir.

Sayısal çalışmada ise sıcak su depolama tankının dış yüzeylerinin ideal yalıtıldığı kabul edil-

miştir. Depolama tankının içine konan dairesel plaka üzerinden, tank içerisindeki sıcak akışkandan yine tank içerisinde bulunan soğuk akışkana doğru iletimle ısı transferi gerçekleşmektedir.

Isıl tabakalaşmayı yok eden etkileri ortadan kaldırmak için uygun tank konfigürasyonu ve dizayn parametreleri seçilmelidir. Bu nedenle sıcak su depolama tankının radyal yöndeki şehir şebeke suyu giriş ve ısıtma tankına giden çıkış kanalları, aynı eksen üzerinde ve simetrik konumda yapılmışlardır. Bu model seçimi nedeniyle, tanka giren soğuk şehir şebeke suyunun büyük bir kısmı ısıtma tankına gidiş kanalına yönlendirilmiştir. Bu durum sonucunda tank içerisindeki suda oluşmuş ısı tabakasının korunması sağlanmıştır. Sonuç olarak, sıcak su depolama tankı içerisinde sağlanan sıcaklık tabakalaşmasını bozucu etkiler azaltılmıştır.

Depolama tankı içerisine dairesel plakaların g/D ve f/H oranlarında yerleştirilmesi ile oluşturulmuş tank modelleri için 120, 240, 360, 480, 600 ve 720 boyutsuz zaman dilimlerinde hem sayısal çözümler üretilmiş hem de deneysel sonuçlar elde edilmiştir.

Boyutsuz sıcaklık değerleri ve farklar incelendiğinde, deneysel değerler sayısal değerlerden her zaman küçük çıkmaktadır. Sebebi ise sayısal çözümde depolama tankının ideal yalıtıldığı kabul edilmiştir. Fakat deney sırasında depolama tankı ne kadar yalıtılırsa yalıtılsın çevreye ısı kaybı olmaktadır. Sıcak su alınmaya başlandığı zamandan, $t^*=720$ boyutsuz zamana kadar, her bir 120 boyutsuz zaman aralığında alınan deneysel ve sayısal veriler incelendiğinde; zaman ilerledikçe T_{3s}^* , T_{3d}^* değerlerinde çok az düşüş, T_{1s}^* , T_{1d}^* değerlerinde ise sıcak su kullanım zamanı arttıkça hızla düşüş gözlenmiştir. Bunun sonucunda $T_{3s}^* - T_{1s}^*$, $T_{3d}^* - T_{1d}^*$ değerleri de, kullanım esnasında tanka giren soğuk su nedeni ile zaman ilerledikçe artmıştır.

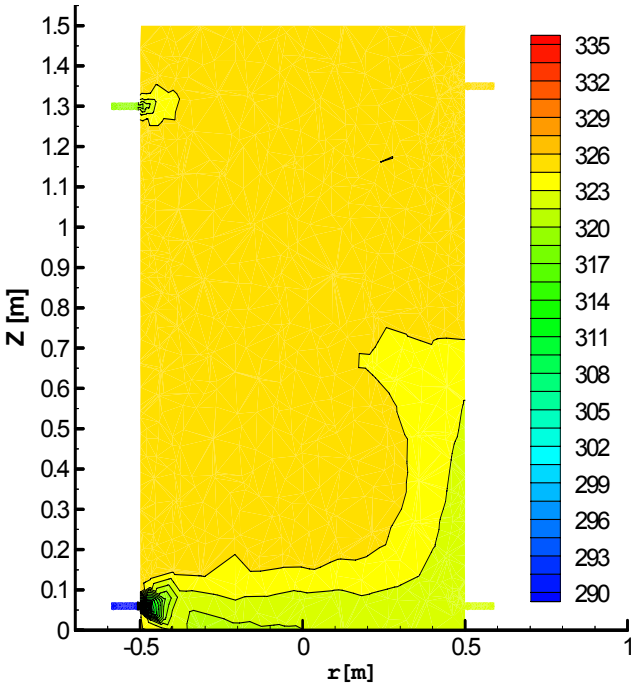
Grafikler üzerinde n: sayısal verileri, d: ise deneysel verileri göstermektedir. Deneysel sonuçlar; grafikler üzerinde kesikli eğri ile, sayısal

sonuçlar ise düz (kesiksiz) eğri ile gösterilmişlerdir. Değişik tank modellerine ait üretilen çözümler arasından en iyi ısıl tabakalaşmanın sağlandığı çözüm, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile bulunmuştur.

Engelsiz tank modeli

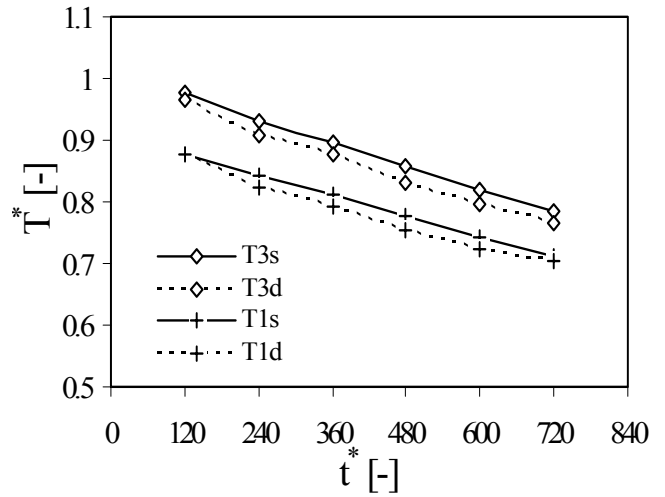
Engelsiz tank içerisindeki ısıl tabakalaşmadan fazla söz edilemez. Çünkü kullanım suyu tüketimi anında, depolama tankı içinde bulunan sıcak su kütlesi, şehir şebekesinden tanka dolan soğuk su ile karışmış ve bu su kütlesindeki sıcaklık tabakası giderek bozulmuştur.

Engelsiz tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.785 m^2 'dir. Sıcak su depolama tankının içinde engel olmadığı için yukarıdaki alan silindirik tankın aksel yöndeki kesit alanına eşittir. Depolama tankından kullanım suyu alınmaya başlandığı andan itibaren, tankın içerisindeki depolanmış suyun sıcaklığı engel olmadığından düşmüştür. Bunun sonucunda depolama tankından yüksek sıcaklıkta kullanım suyu alınamamıştır. Bu durum aşağıdaki Şekil 3'teki engelsiz tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin z-r düzlemindeki görünümüne bakılarak da gözlenmiştir.

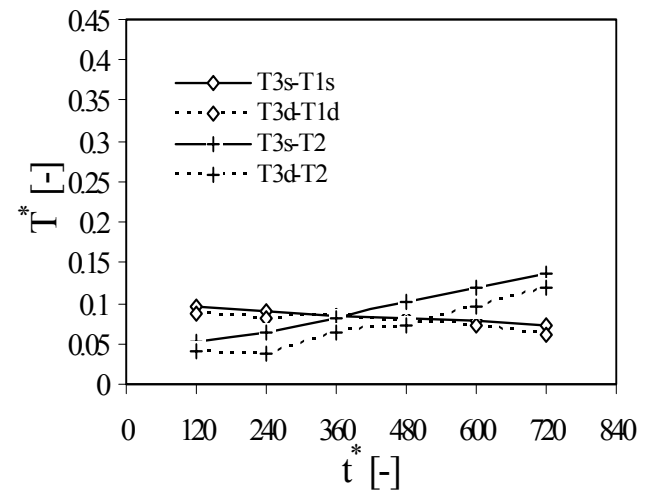


Şekil 3. z-r düzleminde engelsiz tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü

Şekil 4'teki grafikte görüldüğü gibi, kullanım suyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.78$, $T_{3d}^* = 0.77$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.71$, $T_{1d}^* = 0.70$ 'dir. Şekil 5'te görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.07$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.06$ ve kullanım suyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.14$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.12$ dir.



Şekil 4. Engelsiz tank içerisinde sıcaklık dağılımları



Şekil 5. Engelsiz tank içerisinde sıcaklık farkı dağılımları

Engelli tank modeli

Engelli tank içindeki ısıl tabakalaşmayı görmek için değişik f/H ve g/D oranlarında çözümler üretilmiştir. Bu şartlar altında üretilen çözümlerde tank içinde oluşturulan sıcaklık dağılımları incelenerek; en iyi tabakalaşmanın hangi f/H ve g/D oranlarında olduğu belirlenmeye çalışılmıştır.

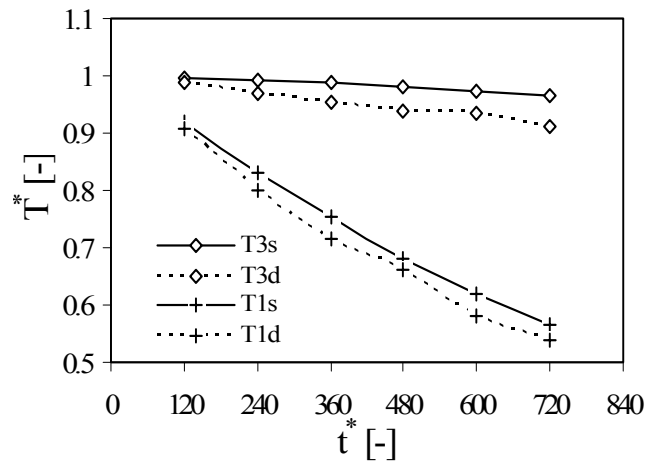
g/D oranı arttıkça T_{3s}^* ve T_{3d}^* değerlerinde düşme olmasına rağmen, T_{1s}^* ve T_{1d}^* değerlerinde artma gözlenmiştir. Çünkü tankın içerisindeki engelin üzerinde kalan sıcak su hacmi ile engelin altında kalan ve şehir şebekesinden gelen soğuk su ile doldurulan hacmin temas alanı artmaktadır. Bunun sonucunda engel altında kalan soğuk su kütlelerinin, engel üzerinde kalan sıcak su kütleleri ile temas alanı vasıtasıyla karışımı gerçekleşmiş ve dolayısı ile sıcak sudan soğuk suya taşınımı ısı transferi olmuştur. Bu nedenle engelin üzerinde kalan sıcak su hacminin sıcaklığında gözle görülür düşme gerçekleşmiştir.

f/H oranı arttıkça T_{3s}^* ve T_{3d}^* değerlerinde düşme olmasına rağmen, T_{1s}^* ve T_{1d}^* değerlerinde artma olmuştur. Çünkü depolama tankının içerisindeki engelin yukarısında kalan tabakalaşmış sıcak su hacmi, f/H oranının artışına bağlı olarak azalmaktadır. Bu durumda tanktan sürekli sıcak kullanım suyu alındığı düşünülürse; $t^* = 720$ boyutsuz zaman boyunca sürekli kullanım için bu azalan hacimden sıcak su alındığından ve bu azalan sıcak su hacmine ısıtma tankından sürekli 1 boyutsuz sıcaklık değerinde su gelmediğinden, depolama tankının üst kısmından alınan kullanım suyu sıcaklığı T_{3s}^* ve T_{3d}^* değerlerinde az da olsa düşme gözlenmiştir.

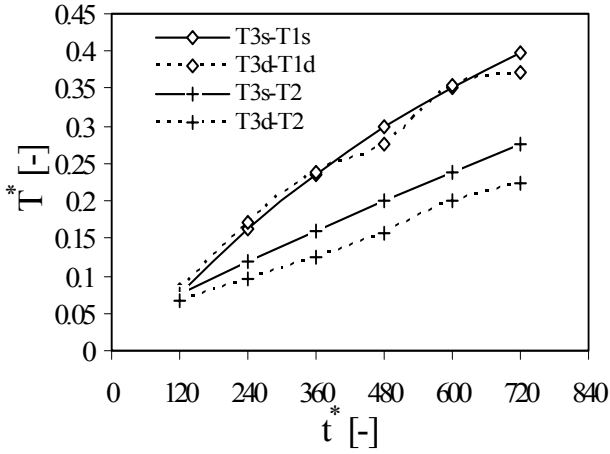
f/H oranı artışı ile engel altında kalan tankın içindeki hacim de artmaktadır. Çünkü kullanıma başlamadan önce tankın içerisinde tamamen sıcak su bulunmaktadır. Kullanım sırasında şehir şebekesinden tank içindeki engel altında kalan hacme soğuk su girişi olmaktadır. Bu hacimdeki soğuk su ile sıcak su birbirleri ile karıştığından, taşınım ile sıcaktan soğuğa ısı transferi gerçekleşmiştir. Bu nedenlerden dolayı, engel altında

kalan hacimdeki suyun boyutsuz sıcaklığında, şehir şebekesi suyunun sıcaklığına göre daha fazla artış olmuştur. Bunun sonucunda ısıtıcı tanka giden suyun T_{1s}^* ve T_{1d}^* sıcaklık değerlerinde f/H oranının artışına bağlı olarak artış gözlenmesine rağmen $T_{3s}^* - T_{1s}^*$ ve $T_{3d}^* - T_{1d}^*$ sıcaklık farkı değerlerinde de düşüş gözlenmiştir. Bununla birlikte kullanım suyu zamanının artışına ve g/D ve f/H oranlarındaki artışa bağlı olarak $T_{3s}^* - T_2^*$ ve $T_{3d}^* - T_2^*$ değerlerinde gözle görülür düşüş gerçekleşmiştir.

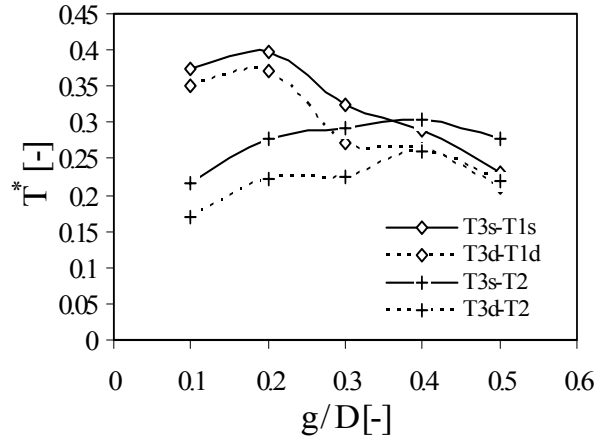
$g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.0314 m^2 'dir. Silindirik engelden üst kısımda kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 1.0205 m^3 'tür. Şekil 6, Şekil 8 ve Şekil 9'da görüldüğü gibi, kullanım suyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.96$, $T_{3d}^* = 0.91$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.57$, $T_{1d}^* = 0.54$ 'tür. Şekil 7, Şekil 10 ve Şekil 11'de görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.40$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.37$ ve kullanım suyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.28$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.22$ 'dir.



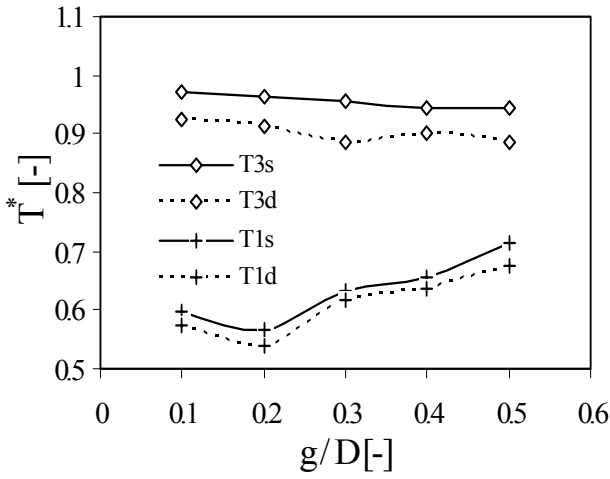
Şekil 6. $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranlarında sıcaklık dağılımları



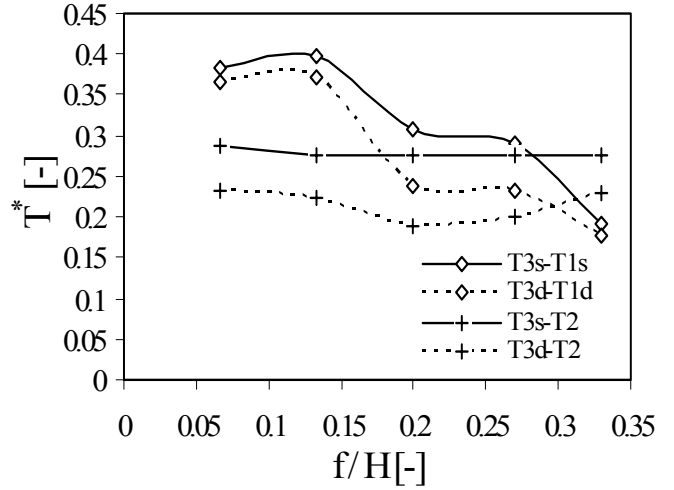
Şekil 7. $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranlarında sıcaklık farkı dağılımları



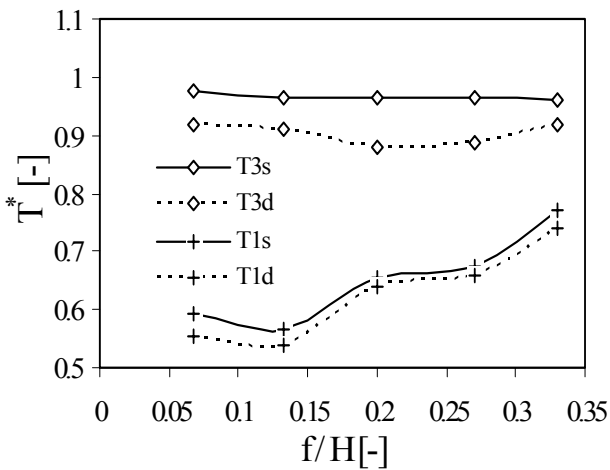
Şekil 10. $t^* =720$ ve $f/H=0.133$ oranında sıcaklık farkı dağılımları



Şekil 8. $t^* =720$ ve $f/H=0.133$ oranında sıcaklık dağılımları



Şekil 11. $t^* =720$ ve $g/D=0.2$ oranında sıcaklık farkı dağılımları

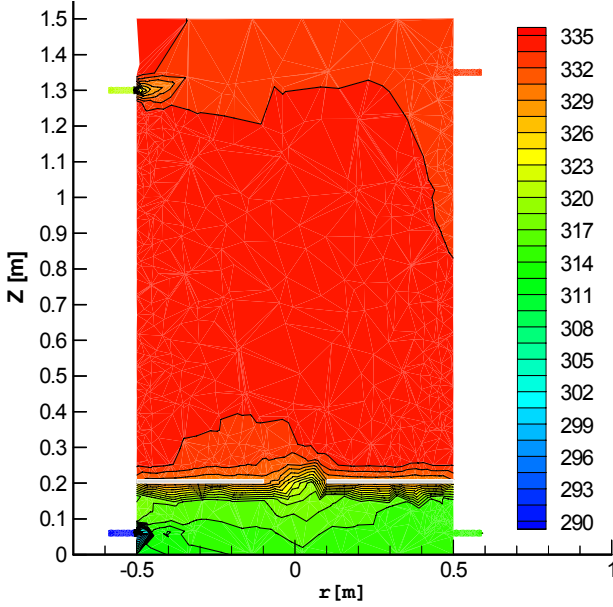


Şekil 9. $t^* =720$ ve $g/D=0.2$ oranında sıcaklık dağılımları

Engelli tank modelleri için oluşturulmuş grafiklerdeki boyutsuz sıcaklık ve sıcaklık farkı dağılımları incelendiğinde, en kabul edilebilir (optimum) sıcaklık tabakalaşmasının sağlandığı tank modeli $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranlarındaki tank modelidir. Bu modele içinde oluşan sıcaklık değerlerinin görünümü de aşağıdaki Şekil 12'de verilmiştir.

Sonuçlar

Bu çalışmada üzerinde çalışılan sıcak su depolama tankında engelsiz ve f/H , g/D oranlarındaki engelli tank modellerine ait sıcaklık değerleri, zamana bağlı olarak hem deneysel hem de sayısal olarak oluşturulmuştur.



Şekil 12. $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü

Engelsiz tank içerisindeki tabakalaşmadan fazla söz edilemez. Çünkü kullanım suyu tüketimi anında, depolama tankı içinde bulunan sıcak su kütlesi, şehir şebekesinden tanka dolan soğuk su ile karışmış ve bu su kütlesindeki sıcaklık tabakası giderek bozulmuştur. Bu nedenle depolama tankından kullanım suyu alınmaya başlandığı andan itibaren, tankın içerisindeki depolanmış suyun sıcaklığı engel olmadığından düşmüştür. Bu nedenle ısıtma tankına giden suyun boyutsuz sıcaklığında (T_{1s}^* , T_{1d}^*) istenmeyen artış, kullanım suyunun boyutsuz sıcaklığında (T_{3s}^* , T_{3d}^*) ise istenmeyen düşüş olmaktadır. Sonuç olarak yüksek sıcaklıkta uzun süre kullanım suyu almak mümkün olmamaktadır.

f/H oranı arttıkça T_{3s}^* ve T_{3d}^* değerlerinde düşme olmasına rağmen, T_{1s}^* ve T_{1d}^* değerlerinde artma olmuştur. Buna bağlı olarak $T_{3s}^* - T_{1s}^*$ ve $T_{3d}^* - T_{1d}^*$ değerlerinde de düşüş gözlenmiştir. g/D oranının artmasına bağlı olarak da; T_{3s}^* , T_{3d}^* değerlerinde düşüş, fakat T_{1s}^* , T_{1d}^* değerlerinde artış gözlenmiştir. Buna bağlı olarak aynı şekilde $T_{3s}^* - T_{1s}^*$ ve $T_{3d}^* - T_{1d}^*$ değerlerinde de düşüş olmuştur.

Sıcak su alınmaya başlandığı zamandan, 720 boyutsuz zaman dilimine kadar her bir 120 boyutsuz zaman aralıklarında alınan deneysel ve sayısal verilere bakıldığında, T_{3s}^* , T_{3d}^* , T_{1s}^* , T_{1d}^* değerleri sıcak su kullanım zamanı arttıkça düşmüştür. Fakat $T_{3s}^* - T_{1s}^*$, $T_{3d}^* - T_{1d}^*$ değerleri de kullanım esnasında tanka giren soğuk nedeni ile zaman ilerledikçe artmıştır.

T_2^* boyutsuz sıcaklıklarının her bir 120 boyutsuz zaman dilimindeki değerleri ölçüldüğünde, zaman ilerledikçe bu ölçülen değerlerde düşüş olmuştur. Fakat bu düşüş aynı boyutsuz zaman dilimindeki ölçülen T_{3s}^* ve T_{3d}^* değerlerindeki düşüşe göre daha fazla olmuştur. Bu gözlemlerin sonucunda $T_{3s}^* - T_2^*$ ve $T_{3d}^* - T_2^*$ değerlerinde, kullanım suyu alma zamanı ilerledikçe, az da olsa artış olmuştur. Bununla birlikte g/D ve f/H oranları arttıkça da $T_{3s}^* - T_2^*$ ve $T_{3d}^* - T_2^*$ değerlerinde gözle görülür artış gerçekleşmiştir.

Depolama tankında bulunan suda oluşmuş ısı tabakanın korunması için, hem tank içinde sıcak su ile soğuk suyun temas alanının en düşük olduğu, hem de tank içindeki tabakalaşmış sıcak su hacminin en büyük olduğu tank modelinin seçilmesi gerekmektedir. Buna göre bu sıcak su depolama tank modeli de $g/D=0.1$ ve $f/H=0.067$ oranlarındaki modeldir. Fakat bu oranlarda tasarlanmış sıcak su depolama tankı içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı olduğundan; bu durum, dairesel plaka üzerinde kalan hacimdeki sıcak su ile dairesel plaka altında kalan soğuk su arasında oluşan eşanjör (ısı değiştirgeci) etkisini daha da fazla artırmaktadır. Bu da istenmeyen sonuçtur.

Yukarıdaki nedenlerden dolayı optimum tank modeli seçiminde, $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranlarındaki tank modeli tercih edilmiştir. Seçilen bu tank modeline ait değerler, diğer modellerdeki değerlere göre en kabul edilebilir (optimum) değerlerdir.

Kaynaklar

Alizadeh, S., (1999). An experimental and numerical study of thermal stratification in a horizontal

- cylindrical solar storage tank, *Solar Energy*, **66**, 6, 409-421.
- Al-Nimr, M.A., (1994). Temperature distribution inside electrical hot water storage tanks, *Applied Energy*, **48**, 353-362.
- Eames, P.C., Norton, B., (1998). The effect of tank geometry on thermally stratified sensible heat storage subject to low Reynolds number flows, *International Journal of Heat Transfer*, **41**, 14, 2131-2142.
- FLUENT Support Group, (1999). Fluent 5 User's Guide, *Fluent Inc.*
- Hahne, E., Chen, Y., (1998). Numerical study of flow and heat transfer characteristics in hot water stores, *Solar Energy*, **64**, 1-3, 9-18.
- Hariharan, K., Badrinarayana, K., (1991). Temperature stratification in hot water storage tanks, *Energy*, **16**, 7, 977-982.
- Helwa, N.H., Mobarak, A.M., (1995). Effect of hot water consumption on temperature distribution in a horizontal solar water storage tank, *Applied Energy*, **52**, 185-197.
- Kalkan F. ve Çalışkan N., (2005). Aylık güneş ışınımı değerleri, Teknik Rapor 12, Yozgat Meteoroloji Müdürlüğü, Yozgat.
- Kılıç A. ve Öztürk A., (1984). *Güneş Enerjisi*, 57, İ.T.Ü. Makine Fakültesi, Gümüşsuyu, İstanbul.
- Mısra, R. S., (1994). Thermal stratification with thermosyphon effects in solar water heating systems, *Energy Conversion Management*, **35**, 3, 193-203.
- Mo, Y., Miyatake, O., (1996). Numerical analysis of the transient turbulent flow field in a thermally stratified thermal storage water tank, *Numerical Heat Transfer, Part A*, **30**, 649-667.
- Prapas, D.E., Tsiamouris, S.G., (1993). Storage tanks interconnection and operation modes in large DHW solar systems, *Solar Energy*, **51**, 2, 83-91.
- Yoo, H., Kim, C.J., (1999). Approximate analytical solutions for stratified thermal storage under variable inlet temperature, *Solar Energy*, **66**, 1, 47-56.