



Düşey Mantolu Sıcak Su Tanklarının Isıl Performanslarının Enerji Yükleme ve Boşaltma Periyotlarında Deneysel Olarak İncelenmesi

Experimental Investigation of Thermal Performance of Vertical Mantled Hot Water Tanks in Energy Charging and Discharging Periods

Doğan Erdemir¹

¹Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri, Türkiye

Başyuru/Received: 04/06/2018

Kabul / Accepted: 05/09/2019

Çevrimiçi Basım / Published Online: 27/09/2019

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2020

Öz

Sıcak su tankları ısı enerji depolamanın yaygın kullanılan metotlarından biridir. Bu çalışmada; güneş enerjili sıcak su ve diğer muhtelif sıcak su elde etme sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılan düşey mantolu sıcak su tanklarının ısı performansları deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada 450 litrelik bir düşey mantolu sıcak su tankı için enerji yükleme ve boşaltma periyotlarındaki sıcaklık tabakalaşması farklı çalışma koşullarında araştırılmıştır. Manto giriş sıcaklığı 50, 60 ve 70 °C, manto debisi 2.5, 5 ve 7.5 l/dk ve şebeke debisi 5, 10 ve 15 l/dk olarak alınmıştır. Deneyler sırasında şebeke giriş sıcaklığı ve ortam sıcaklığı sabit kalmıştır. Deneylerde ilk olarak 3 saatlik süre boyunca enerji yükleme periyodu gerçekleştirilmiştir. Ardından ise kullanım suyu çıkış sıcaklığı 30 °C'ye düşene kadar enerji boşaltma periyodu gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda; farklı işletme şartlarında tank içerisindeki sıcaklıkların zamanla değişim davranışı yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür. Ayrıca, tanktan edilen sıcak miktarı üzerinde, şebeke giriş debisinin önemli bir etkiye sahip olduğu ve artan her 5 l/dk debinin elde edilen sıcak su miktarını yaklaşık 20 litre düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Düşey mantolu sıcak su tankı, Sıcak su tankı, Güneş enerjili sıcak su sistemi, Isıl enerji depolama”

Abstract

Hot water tanks are one of the common methods of thermal energy storage. In this study, the thermal performance of vertical hot water tanks which are widely used in solar domestic hot water systems and various other hot water obtaining systems are investigated experimentally. In this study, the temperature stratification for a 450-liter vertical mantled hot water tank was investigated under different operating conditions during the energy charging and discharging periods. Mantle inlet temperature was 50, 60 and 70 °C, mantle flow rate was 2.5, 5 and 7.5 l/min and main line flow rate is 5, 10 and 15 l/min. Main line inlet and ambient temperatures remained constant. During the experiments, the energy charging period was carried out for 3 hours. Then the energy ing period was carried out until the domestic water outlet temperature decreased to 30 °C. As a result of the study; it was found that the temperature distribution changing behavior was approximately the same in different operating conditions. Furthermore, it was seen that main line inlet flow rate has a significant effect on the amount of hot water from the tank. When main line flow rate increased 5l/min, the amount of hot water obtained from the tank decreased nearly 20 liters.

Key Words

“Vertical hot water tank, Hot water tank, Solar domestic hot water system, Thermal energy storage”

1. Giriş

Enerji depolama; enerji kaynağının aktif olmadığı dönemlerde de kullanılmasına devam etmek, enerji tüketim maliyetlerini düşürmek ya da enerji pik yüklerini pik olmayan zamanlara kaydırmak için kullanılabilir en önemli araçlardan biridir. Bu yüzden, enerji dönüşüm sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynakları doğası gereği sürekli olarak aktif olmadıklarından, bu kaynaklardan enerji kaynağı aktif değilken de yararlanmak için enerji depolama yöntemleri kullanılmaktadır. Enerji; her bir enerji türünde depolanmaktadır. Enerji depolama yöntemlerinin avantajları (Dincer and Rosen 2011) tarafından sıralanmıştır. Ayrıca (Acar 2018) teknik uygunluk, çevresel etki, maliyet, ömür gibi kriterler üzerinden enerji depolama sistemlerini karşılaştırmıştır. Isıl enerji depolama, enerji depolama yöntemleri arasında en eski ve olgunlaşmış türlerden biridir. Ayrıca üretilen ve tüketilen enerjinin büyük kısmı da ısı olduğundan ısı enerji depolama sistemleri zaman içerisinde çok sayıda araştırmacı tarafından incelenmiştir. Güneş enerjili sıcak su sistemleri hem yenilenebilir enerji uygulaması hem de enerji depolama uygulaması olarak yaygın kullanılan sistemlerden biridir. Sıcak su depolama tankları, ısı enerji depolamanın en temel uygulamalarından biridir. Bu sebepten sıcak su tanklarının tasarımı, ısı performanslarının belirleme yöntemleri ve ısı performanslarını iyileştirme ile alakalı çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Sıcak su tanklarındaki en önemli performans kriteri tank içerisindeki sıcaklık tabakalaşmasıdır. İyileştirilmiş sıcaklık tabakalaşması sıcak su tanklarının ısı enerji depolama performansını arttırmaktadır.

(Kurşun and Ökten 2018) prizmatik bir sıcak su tankında tankın konumlandırma açısının ve en/boy oranının sıcaklık tabakalaşması üzerindeki etkilerini sayısal olarak araştırmıştır. Çalışmanın sonucunda en iyi sıcaklık tabakalaşmasının tankın yatayla 45° açısı yaptığı ve D/H oranının 0.5 olduğu durumda görülmüştür. (Kurşun 2018) silindirik ve prizmatik sıcak su tanklarında, tank tabanından üst kısımlarına doğru farklı kalınlıklarda yalıtım uygulaması yapılmasının sıcaklık tabakalaşması üzerindeki etkisini sayısal olarak incelemiştir. Bu çalışmanın sonucunda, prizmatik ya da kesik koni şeklindeki yalıtım uygulamalarının sıcaklık tabakalaşmasını iyileştirdiği tespit edilmiştir. (Arslan and Igci 2015) mantolu ısı değiştiricisine sahip bir sıcak su tankındaki sıcaklık tabakalaşmasını enerji boşaltma dönemi için sayısal olarak incelemiştir. (Erdemir and Altuntop 2016) mantolu sıcak su tanklarındaki sıcaklık tabakalaşmasının tank içerisinde yerleştirilen engeller ile iyileştirilmesini manto ve şebeke çevriminin aktif olduğu durumlarda deneysel olarak araştırmışlardır. Ayrıca yine (Erdemir and Altuntop 2016) sıcaklık tabakalaşmasının düşey mantolu sıcak su tankının enerji ve ekserji verimliliği üzerindeki etkisini incelemiştir. (Chandra and Matuska 2019) sıcak su tanklarının tasarım kriterlerinin ve işletme şartlarının sıcaklık tabakalaşması üzerindeki etkilerini irdeleyen kapsamlı bir derleme ve değerlendirme çalışması gerçekleştirmiştir. (Deng, Furbo et al. 2018) mantolu sıcak su tanklarında manto içerisinde faz değiştiren malzeme kullanımının sıcaklık tabakalaşması üzerindeki etkisini incelemiştir. (Kurşun and Ökten 2016) düşey sıcak su tanklarında farklı D/H oranlarında yalıtım kalınlığının sıcaklık tabakalaşması üzerindeki etkisi araştırmışlardır. (Dragsted, Furbo et al. 2017) sıcak su tanklarında farklı giriş tabakalaştırıcılarının sıcaklık tabakalaşması üzerindeki etkisini incelemiştir. (Bouhal, Fertahi et al. 2017) sıcaklık tabakalaşmasının farklı çalışma koşullarında optimize etmeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. (Fan, Furbo et al. 2015) sıcak su tanklarındaki sıcaklık tabakalaşmasını daha iyi tahminlemek için bir simülasyon programı geliştirmişlerdir. (Fan and Furbo 2012) sıcak su tanklarında bekleme periyodunda gerçekleşen ısı kaybının sıcaklık tabakalaşması üzerindeki etkisini incelemiştir. (Kenjo, Inard et al. 2007) düşey mantolu sıcak su tanklarında sıcaklık tabakalaşmasını deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. (Assari, Basirat Tabrizi et al. 2018) tank giriş ve çıkışlarının tankın ısı enerji depolama performansı üzerindeki etkisini incelemiştir. (Dehghan and Barzegar 2011) enerji boşaltma periyodunda tankın sıcaklık tabakalaşmasının nasıl etkilendiğini belirlemek için sayısal bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. (Zachár 2015) serpantinli bir sıcak su tankında yeni helisel bir dağıtıcı kullanımının enerji boşaltma döneminde sıcaklık tabakalaşması üzerindeki etkisini araştırmışlardır. (Fertahi, Jamil et al. 2018) sıcaklık tabakalaşmasını iyileştiren ve sıcaklık tabakalaşmasının derecesini belirleyen parametreleri inceleyen bir derleme ve değerlendirme çalışması yapmışlardır.

Güneş enerjili sıcak ısıtma sistemleri hem yenilenebilir enerji uygulaması hem de ısı enerji uygulaması olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yüzden, sıcak su depolarının performanslarının iyileştirilmesi bir mühendislik uygulaması olarak önemli bir konudur. Bu çalışmanın temel amacı, düşey mantolu sıcak su tanklarındaki sıcaklık tabakalaşmasının farklı çalışma koşulları altında nasıl etkilendiğini deneysel olarak belirlemektir. Bu kapsamda, güneş enerjili ve diğer sıcak su elde sistemlerinde yaygın olarak kullanılan düşey mantolu sıcaklık tankındaki sıcaklık tabakalaşması enerji boşaltma ve yükleme periyotlarında incelenmiştir. Ayrıca farklı çalışma koşullarında tanktan ne kadar sıcak su temin edilebileceği deneysel olarak araştırılmıştır.

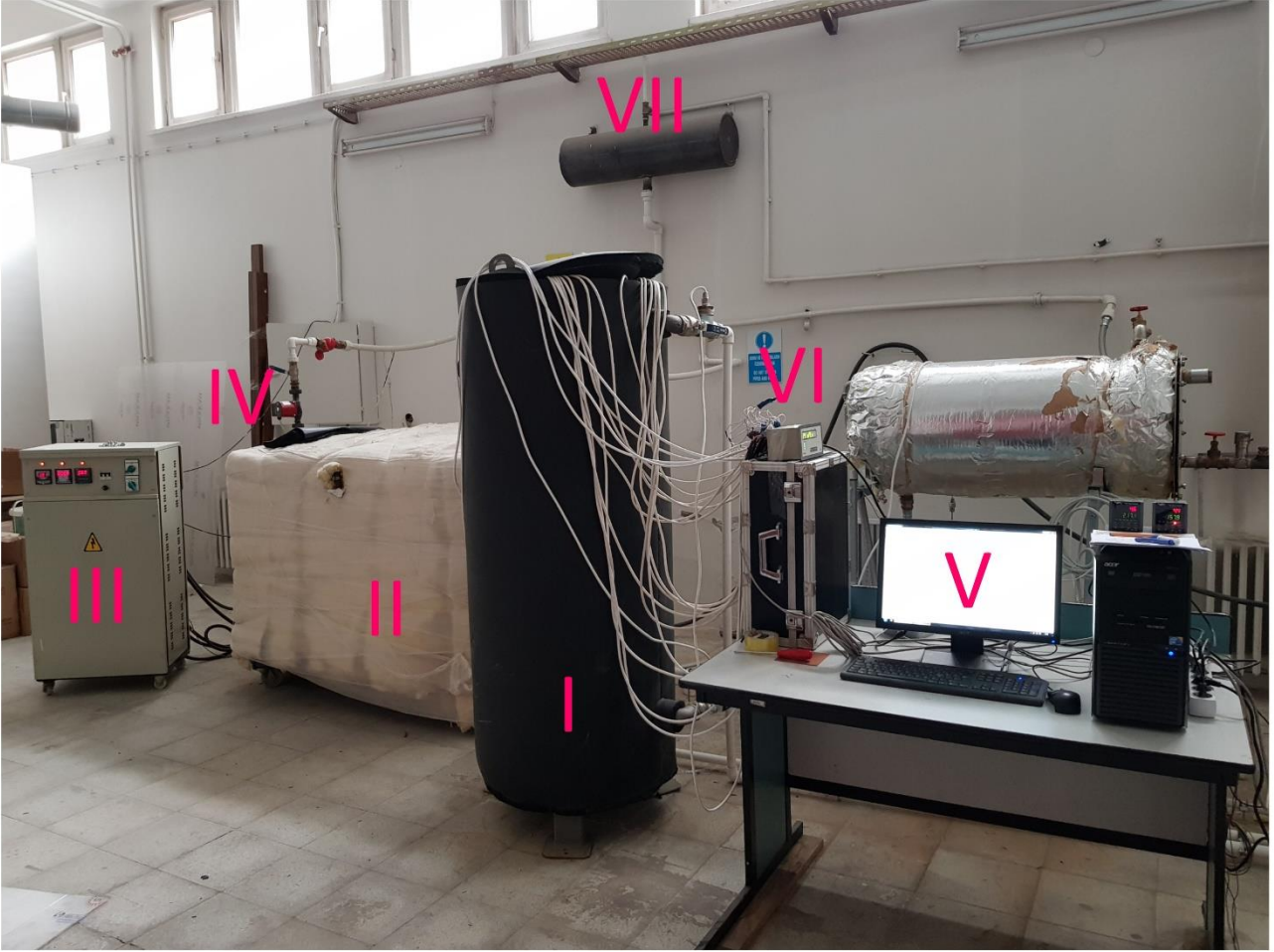
Terminoloji

$T_{m,g}$	Manto giriş sıcaklığı
$T_{m,\zeta}$	Manto çıkış sıcaklığı
$T_{\zeta,g}$	Şebeke giriş sıcaklığı
$T_{\zeta,\zeta}$	Şebeke çıkış sıcaklığı
V_{manto}	Manto debisi
$V_{\zeta,şebeke}$	Şebeke debisi
S	Sensör

2. Materyal ve Metot

2.1. Deney Sistemi

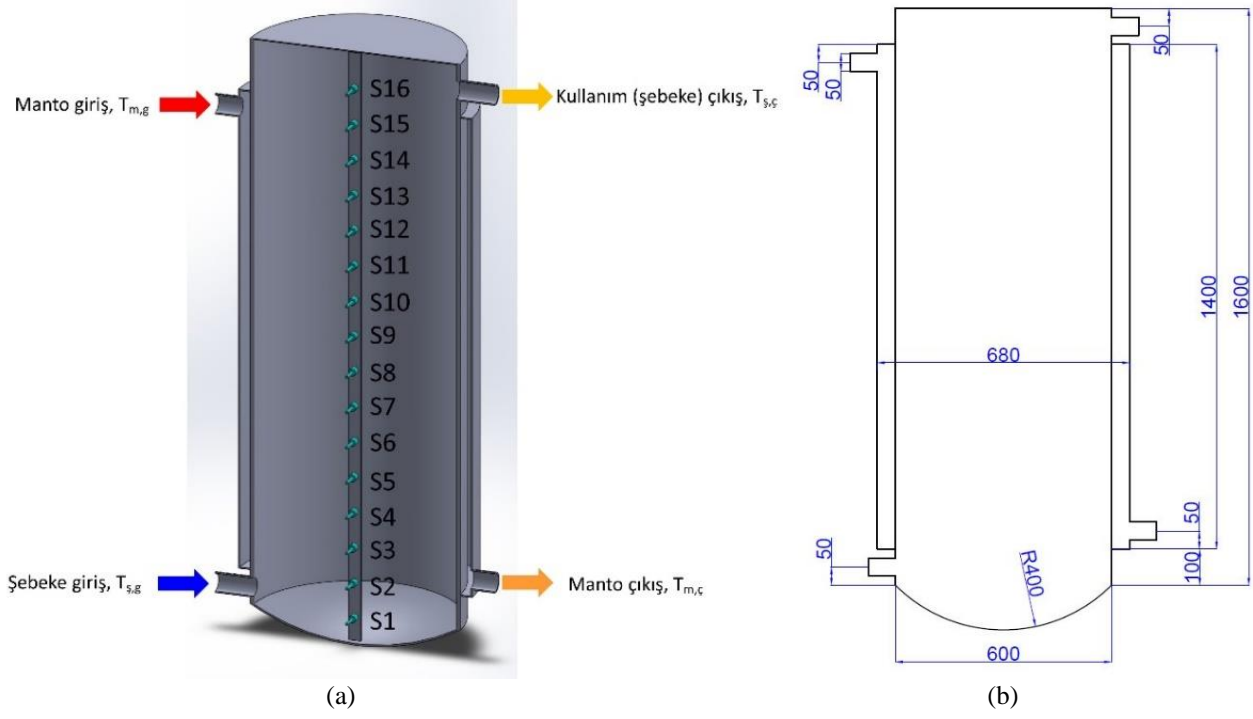
Bu çalışmada Şekil 1’de görülen deney sistemi kullanılmıştır. Şekil 1’den görüldüğü üzere, deney sistemi; test tankı, ısıtıcı, varyak trafo, pompa, bilgisayar, veri toplayıcı ve genişleme tankından oluşmaktadır. Ayrıca manto ve şebeke çevrimindeki akışkan debisini ölçmek için 2 adet debimetre kullanılmıştır. Tankın içerisindeki, giriş ve çıkışlarındaki sıcaklıklar PT100 tipi termokupllar ile ölçülmüştür. Manto ve şebekeden geçen akışkanların debisini kontrol etmek için vanalar kullanılmıştır. Isıtıcı tank (II) içerisinde toplamda 15 kW güce sahip rezistans bulunmaktadır ve rezistanslara varyak trafo (III) vasıtası ile farklı akımda güç sağlanarak test tankı için sıcak su üretilmektedir. Isıtıcı içerisindeki üretilen suyun sıcaklığını ± 2 °C sıcaklıkta sabit tutmak için varyak trafonun üzerindeki bir otomatik kontrol birimi bulunmaktadır. Isıtıcı tanktaki su, bir sirkülasyon pompası (IV) aracılığıyla test tankının manto kısmına pompalanmaktadır. Şebeke çevrimi ise direk olarak ana şebekeden alınan su ile sağlanmaktadır. Bu yüzden deneylerde şebeke suyu giriş sıcaklığı yaklaşık olarak sabit kalmıştır. Deney sistemindeki sıcaklık farklılıklarından kaynaklanan hacim değişimlerinin sisteme zarar vermemesi için bir genişleme tankı (VII) entegre edilmiştir. Termokupllardan ve debimetrelerden gelen bilgileri toplamak ve işlemek için bir adet ELİMKO E680 marka ve model veri toplayıcı (VI) kullanılmıştır. Veri toplayıcı sistemi ile her 10s bir ölçüm değerleri alınmıştır. Alınan verilerin işlenmesi ve kaydedilmesi için bir adet bilgisayar (V) kullanılmıştır. Debi ölçümlerinde KOBOLT DPM marka debimetreler kullanılmıştır. Debi ölçümleri $\pm\%1.5$ ve sıcaklık ölçümleri ise ± 0.5 °C hassasiyet ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil. 1. Deney sisteminin görünümü (I: test tankı, II: ısıtıcı, III: varyak trafo, IV: pompa, V: bilgisayar, VI: veri toplayıcı, VII: genişleme tankı)

2.2. Test Tankı

Bu çalışmada Şekil 1’de görülen ve Şekil 2’de şematik verilmiş olan 450 litre depolama hacmine sahip düşey mantolu sıcak su tankı kullanılmıştır. Tankın ölçüleri Şekil 2.b’de verilmiştir. Tank 1.5 mm kalınlığında paslanmaz çelik levhadan üretilmiştir. Tankın giriş ve çıkışları 50 mm çaptadır. Tanktan çevreye olan ısı kaybını azaltmak için tankın üzeri 6 cm kalınlığında kauçuk köpük yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır. Tankın içerisine tank tabanından her 10 cm’de bir sıcaklık ölçümü almak için 16 adet termokupl yerleştirilmiştir. Termokuplların tank içerisinde sabit konum tutmak için 40 mm genişliğinde bir çubuk kullanılmıştır. Şekil 2.a’dan görüldüğü üzere, termokupllar tankın alt tarafından üst tarafına doğru S1, S2 ... S16 olarak sırasıyla adlandırılmıştır.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan düşey mantolu sıcak su tankının (a) Şematik gösterimi; (b) Ölçüleri

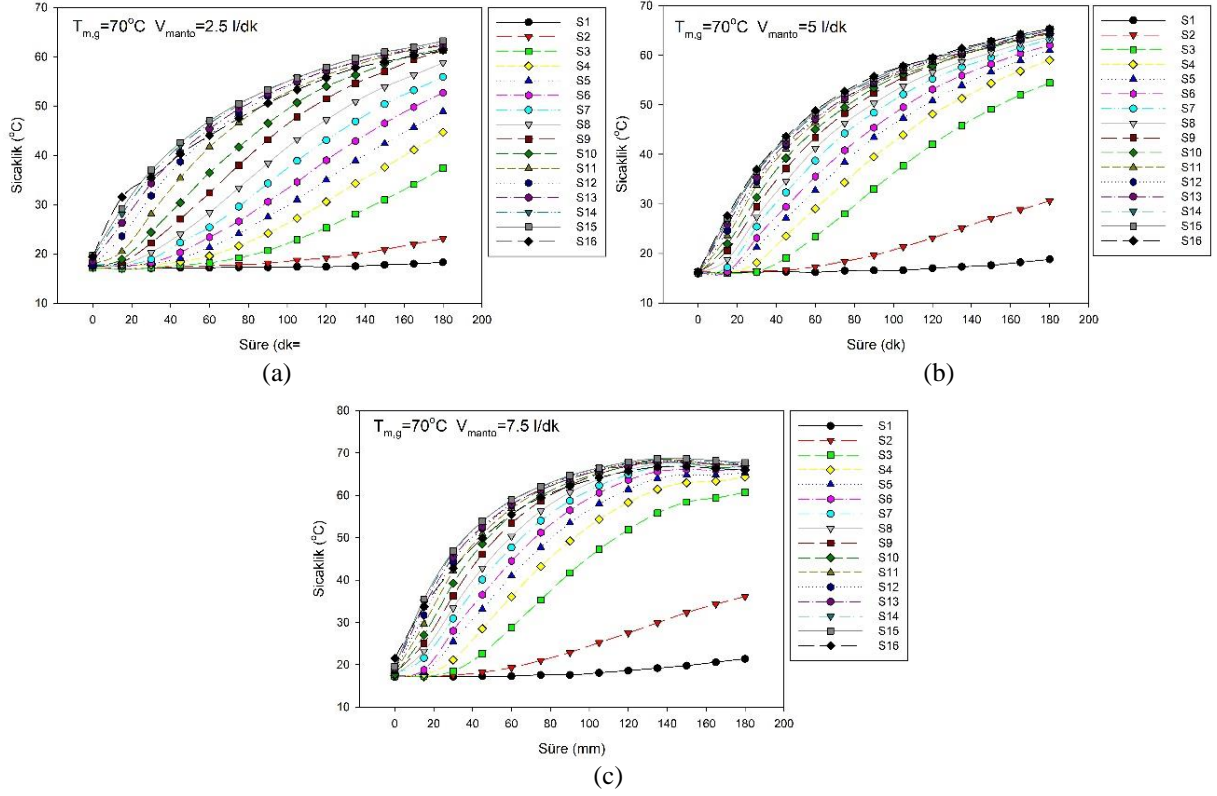
2.3. Deney Prosedürü

Bu çalışma kapsamında, üç farklı manto giriş sıcaklığının (50, 60 ve 70 °C), üç farklı manto giriş debisinin (2.5, 5, 7.5 l/dk) ve üç farklı şebeke giriş debisinin (5, 10 ve 15 l/dk) sıcaklık tabakalaşması üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında şebekeden gelen su direk olarak kullanıldığı için şebeke suyu sıcaklığı çalışma boyunca yaklaşık olarak 18 °C'de kalmıştır. Deneyler sırasında ilk olarak enerji yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Enerji yükleme deneyinde manto çevrimi aktif hale getirilmiş ısıtıcıda (II) belli sıcaklıkta tutulan sıcak su pompa (IV) aracılığı ile test tankına (I) yollanmıştır. Böylece test tankı (I) içerisindeki su ısıtılmıştır. Enerji yükleme periyodu 3 saatlik bir süre için gerçekleştirilmiştir. Enerji yükleme deneyinin tamamlanmasının hemen ardından enerji boşaltma deneyi yapılmıştır. Enerji boşaltma periyodunda tank içerisindeki depolanan sıcak su, şebekeden gelen suyun tanka gönderilmesi ile tanktan alınmıştır. Enerji boşaltma periyodunda manto çevrimi kapalı durumdadır. Deneysel sırasında tank içerisinden 16 sıcaklık, tankın giriş ve çıkışlarındaki 4 sıcaklık ve 1 ortam sıcaklığı olmak üzere 21 sıcaklık değeri her 10 s'de bir ölçülmüştür. Manto ve şebeke hatlarındaki suyun debisi ise anlık olarak yine her 10 s'de ölçülerek kaydedilmiştir. Ayrıca deneyler sırasında manto çevriminde dolaşan toplam su hacmi ve tanktan alınan toplam sıcak su miktarı da ölçülmüştür.

3. Bulgular ve Tartışma

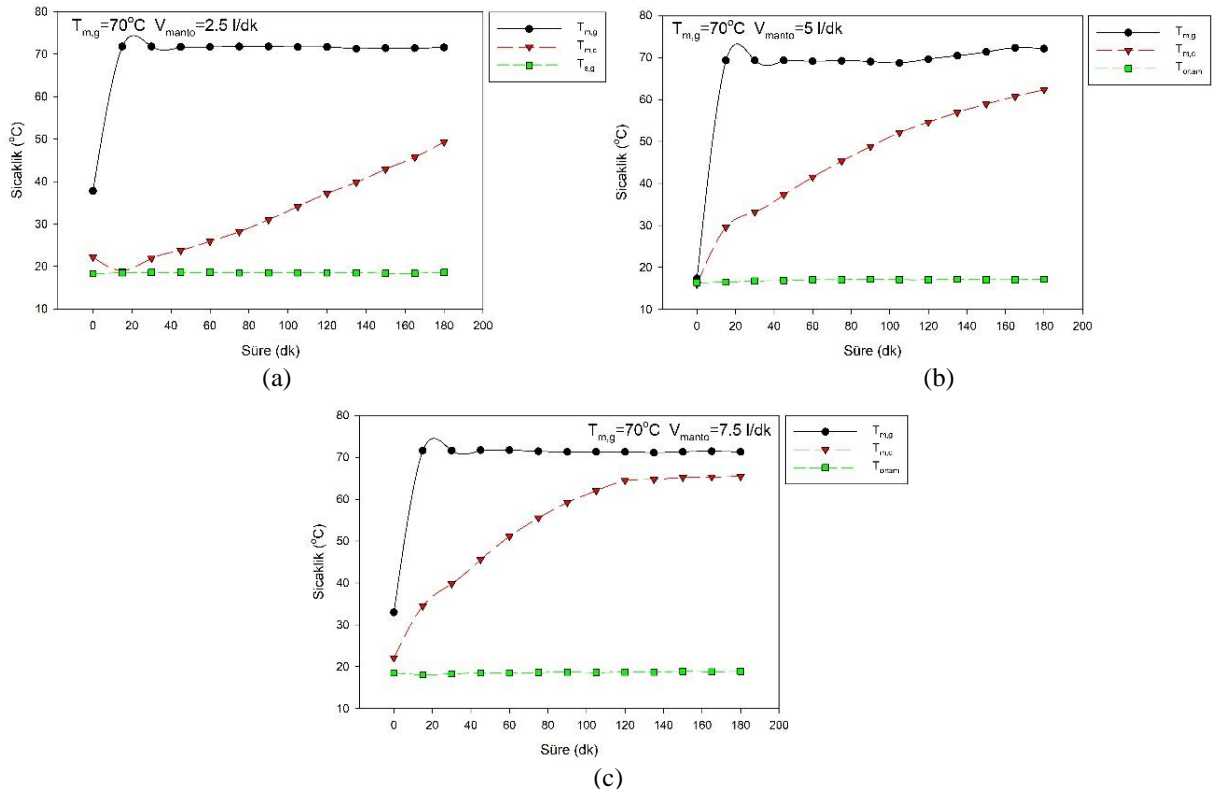
3.1. Enerji Yükleme Periyodu için Sonuçlar

Düşey mantolu sıcak su tanklarının kullanıldığı sıcak su hazırlama sistemlerinde enerji yükleme periyodunda sadece manto çevrimi çalışır ve iç tank içerisindeki suyun sıcaklığı artırılır. Şekil 3'de manto giriş sıcaklığının $T_{m,g}=70$ °C olduğu durumda farklı manto debileri için sıcaklık dağılımının zamanla değişimini göstermektedir. Deneylerin başlangıcında tank içerisinde tüm yüksekliklerde yaklaşık şebeke giriş suyu sıcaklığında bulunmaktadır. Yani tank içerisinde sıcaklık tabakalaşması yoktur. Enerji yükleme periyodunun başlamasıyla beraber tank içerisindeki sıcaklık tabakalaşması oluşmaya başlamıştır. 180 dakikalık test süresi sonunda, Şekil 3'de tüm durumlar için tankın tabanından 200 mm mesafede bir soğuk su bölgesi bulunduğu görülmektedir. Manto debisinin $\dot{V}_m = 2.5$ l/dk olduğu durumda (Şekil 3.a) tank tabanından 300 mm sonra sıcaklık artmaya başlamış, tankın yarısından (800 mm) sonra hemen hemen 60 °C sıcaklıkta bir sıcak su bölgesi vardır. Artan manto giriş debisiyle (Şekil 3.b ve Şekil 3.c) tank tabanından 200 mm ve 800 mm arasında olan sıcaklık tabakalaşmasının etkisi azalmıştır. 400 mm mesafeden sonra tank içerisinde sıcak su bölgesi oluşmuştur. Sıcak su bölgeleri $\dot{V}_m = 5$ l/dk için yaklaşık olarak 63 °C iken, $\dot{V}_m = 7.5$ l/dk için ise 65 °C'dir. Bu sonuçlardan görüldüğü üzere, artan manto debisi ile tank içerisindeki sıcaklık seviyesi artmıştır. Bu duruma artan manto debisi ile manto ve iç tank arasındaki ısı geçiş katsayısının artması neden olmuştur. Bu çalışma kapsamında irdelenen tüm durumlarda, enerji yükleme periyodundaki sıcaklık dağılım davranışı Şekil 3'deki durumla benzerlik göstermiştir.



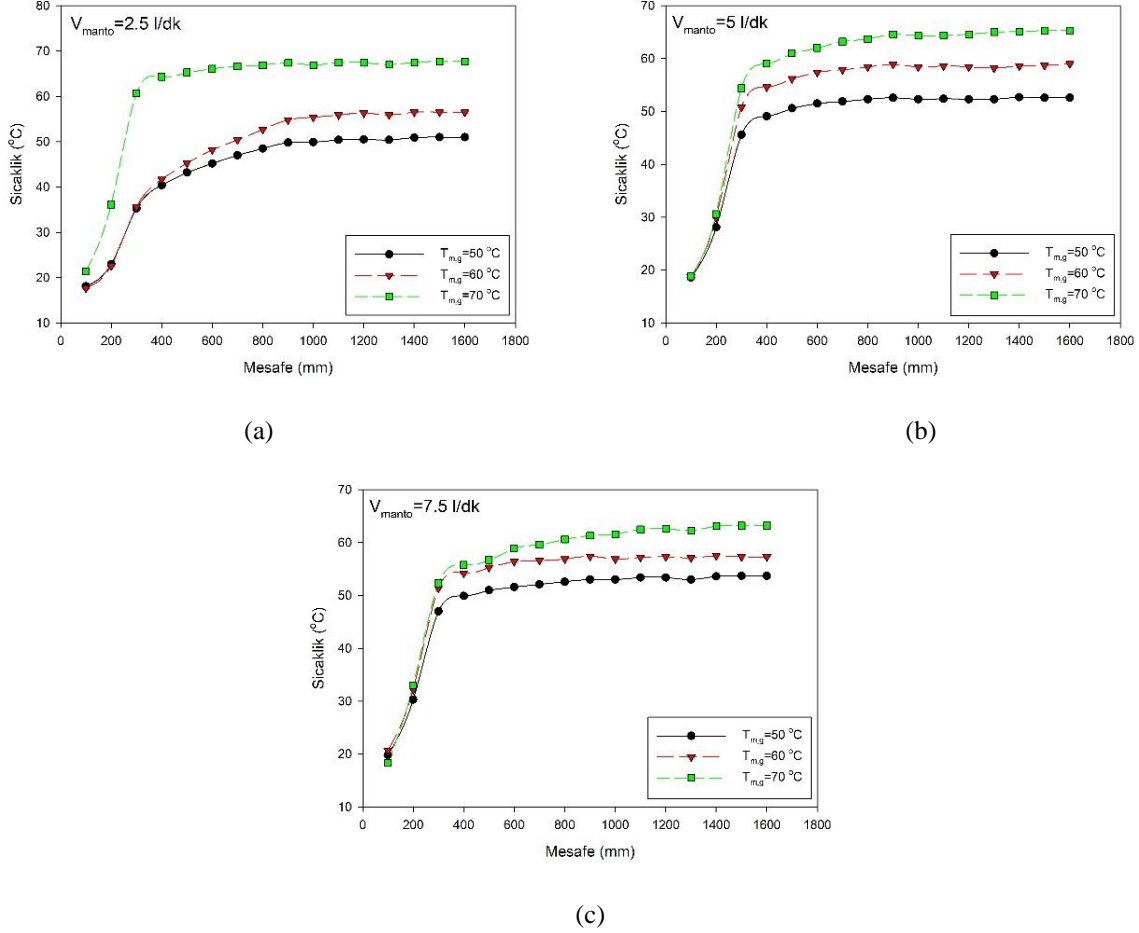
Şekil 3. $T_{m,g} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu durumda farklı manto giriş hızları için tank içerisindeki sıcaklık dağılımının zamanla değişimi (a) $\dot{V}_m = 2.5\text{ l/dk}$; (b) $\dot{V}_m = 5\text{ l/dk}$; (c) $\dot{V}_m = 7.5\text{ l/dk}$

Enerji yükleme periyodunda manto giriş/çıkış ve ortam sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 4’te görülmektedir. Şekil 4’ten manto debisinin tanka yüklenen enerji üzerindeki etkisi açık bir şekilde görülmektedir. Artan manto debisi ile manto ile iç tank arasındaki yüzeydeki ısı geçiş miktarı artar. Çünkü artan debi manto içerisindeki akışın Reynold sayısı değerini arttırmaktadır. Artan Reynold sayısı ile türbülans etkileri arttığından ortalama ısı geçiş kat sayısı da artmaktadır. Bu sayede tanka daha fazla miktarda enerji yüklenir. Manto giriş hızının $\dot{V}_m = 2.5\text{ l/dk}$ ve $\dot{V}_m = 5\text{ l/dk}$ olduğu durumda manto çıkış sıcaklığı kararlı hale ulaşmazken, $\dot{V}_m = 7.5\text{ l/dk}$ olduğu durumda test süresinin 130 dakikasından itibaren kararlı koşullara ulaşmıştır. Ayrıca Şekil 3 ve Şekil 4 beraber değerlendirildiği zaman, artan ısı geçişi ile tank içerisindeki suyun sıcaklığının da arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4. $T_{m,g} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu durumda farklı manto giriş hızları için manto giriş/çıkış ve ortam sıcaklıklarının zamanla değişimi (a) $\dot{V}_m = 2.5\text{ l/dk}$; (b) $\dot{V}_m = 5\text{ l/dk}$; (c) $\dot{V}_m = 7.5\text{ l/dk}$

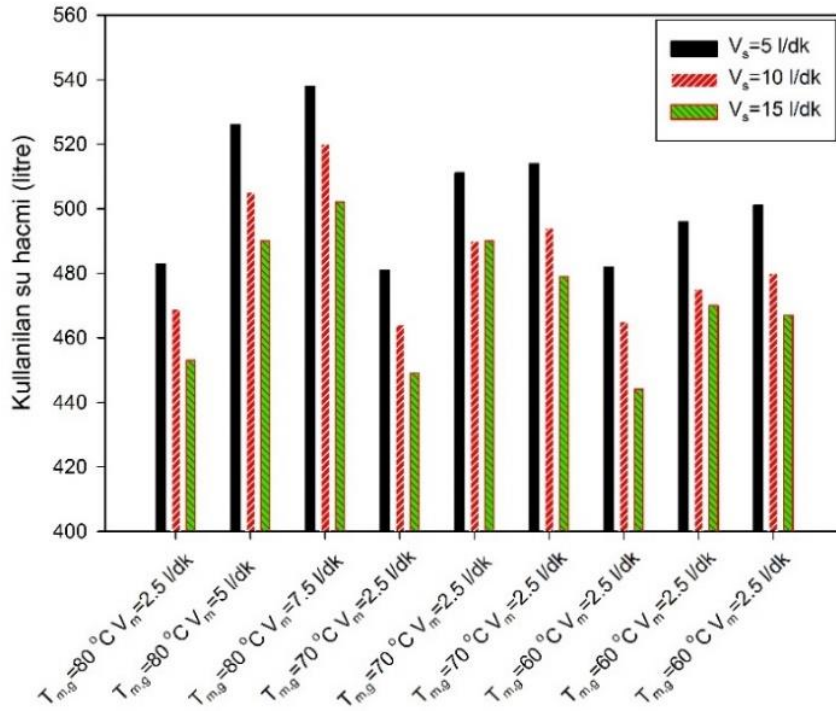
Şekil 5'te incelenen bazı durumlar için 180 dakikalık enerji yükleme periyodu sonundaki tank içerisindeki sıcaklık görülmektedir. Şekil 5'ten görüldüğü üzere, manto giriş sıcaklığı ile tank içerisindeki sıcaklık seviyesi önemli ölçüde değişim göstermiştir. Manto giriş sıcaklığındaki 10 °C artış, tank içerisindeki sıcaklığı yaklaşık olarak 5 °C artırmıştır. $\dot{V}_m = 2.5 \text{ l/dk}$ ve manto giriş sıcaklıklarının daha düşük olduğu $T_{m,g} = 50 \text{ °C}$ ve $T_{m,g} = 60 \text{ °C}$ olduğu durumda tank içerisindeki yaklaşık 100 cm'ye kadar sıcaklık tabakalaşması bölgesi vardır. Artan manto giriş sıcaklığı ile $T_{m,g} = 70 \text{ °C}$ olduğu durumda tabakalaşma tank tabanından 40 cm'ye kadar görülmüştür. Manto giriş debisinin $\dot{V}_m = 5 \text{ l/dk}$ ve $\dot{V}_m = 7.5 \text{ l/dk}$ olduğu durumlarda tüm manto giriş sıcaklıklarında yaklaşık olarak tank tabanından 50 cm'ye kadar sıcaklık tabakalaşması vardır. Tank içerisindeki sıcaklık tabakalaşması durumları göz önünde bulundurulduğu zaman, daha fazla miktarda ve yüksek sıcaklıkta su depolamak için manto giriş debisinin ve sıcaklığının yüksek olması gerekmektedir.



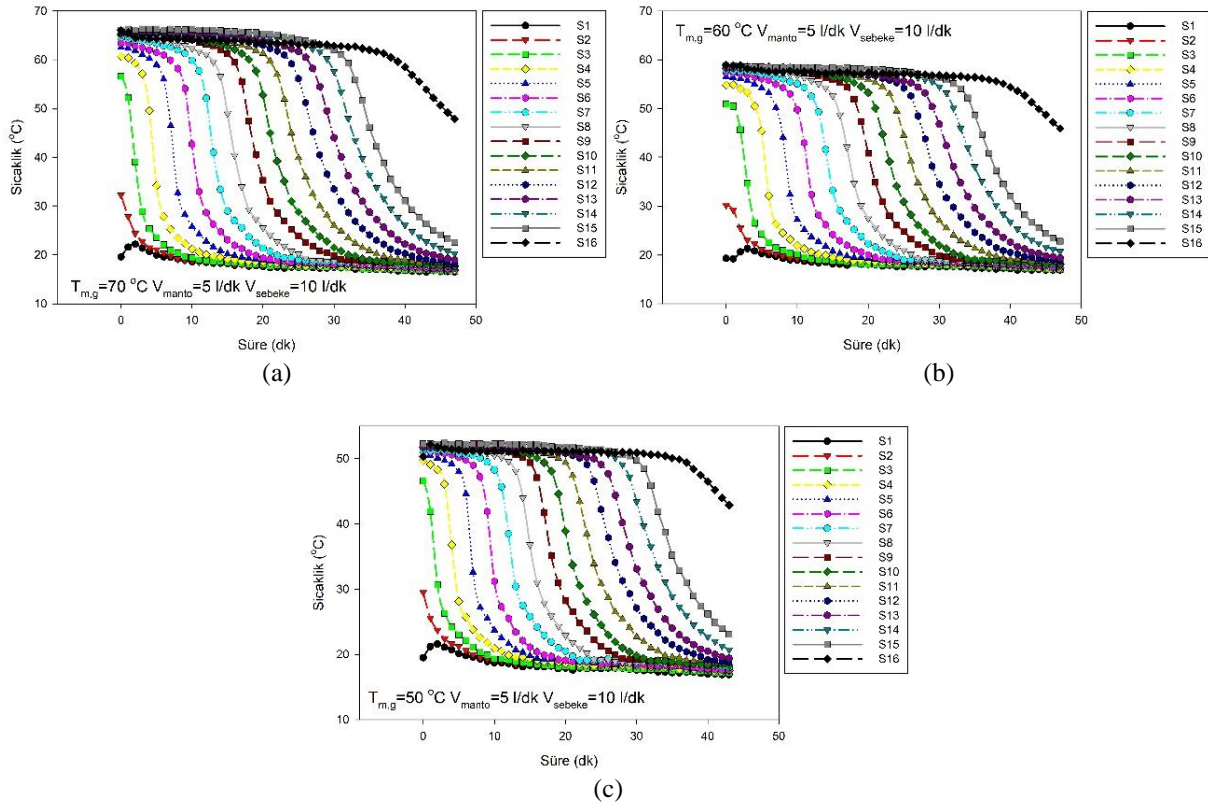
Şekil. 5. 180 dk'lık enerji yükleme periyodu sonunda manto giriş debilerine göre gruplandırılmış tank içerisindeki sıcaklık dağılımı (a) $\dot{V}_m = 2.5 \text{ l/dk}$; (b) $\dot{V}_m = 5 \text{ l/dk}$; (c) $\dot{V}_m = 7.5 \text{ l/dk}$

3.2. Enerji Yükleme Periyodu için Sonuçlar

Enerji boşaltma periyodu, bir sıcak su tankı için depolanan suyun direk olarak kullanılmasıdır. Kullanılacak suyun sıcaklık seviyesi ve miktarı bir sıcak su tankı için önemli performans ve memnuniyet kriterlerinden biridir. Genellikle bir sıcak su tankından mümkün olan en yüksek sıcaklıkta ve miktarda sıcak su elde edilmek istenir. Bu çalışmada enerji boşaltma periyodu, yükleme periyodunun hemen ardından başlatılmış ve kullanım suyu çıkış sıcaklığı 30 °C'ye düşene kadar sürdürülmüştür. Bu çalışmada incelenen tüm durumlar için tanktan elde edilen sıcak su miktarları Şekil 6'da verilmiştir. **Error! Reference source not found.**'dan görüldüğü üzere, şebeke giriş debisi tanktan alınan sıcak su miktarı üzerindeki önemli etkiye sahiptir. Aynı manto giriş sıcaklığı ve debisinde artan şebeke giriş debisi ile kullanılan sıcak su miktarı azalmıştır. Şebeke giriş debisi her 5 l/dk arttığında elde edilen sıcak su miktarı yaklaşık olarak 20 l düşmüştür. Bu durum üzerinde en önemli etken tank girişinde yüksek akışkan hızına bağlı olarak karışma etkisinin artmasıdır. Şekil 6'dan manto giriş debisinin artmasıyla tanktan alınan sıcak su miktarının arttığı görülmektedir. Çünkü artan manto debisiyle sisteme daha enerji yüklendiği için sistemden daha fazla miktarda sıcak su elde edilebilmektedir, başka bir deyişle daha fazla miktarda enerji boşaltılabilmektedir. Artan manto giriş sıcaklığı ile tanktan elde edilen sıcak su miktarı da artmaktadır. Ancak bu artış manto debisinin ve şebeke giriş debisinin etkisine bakarak daha az seviyededir. Çünkü artan manto giriş sıcaklığı ile tank içerisindeki daha yüksek sıcaklıkta bu depolanmaktadır (Şekil 4). Bu durum ise bir miktar daha fazla sıcak su elde etmeye olanak sağlamaktadır.

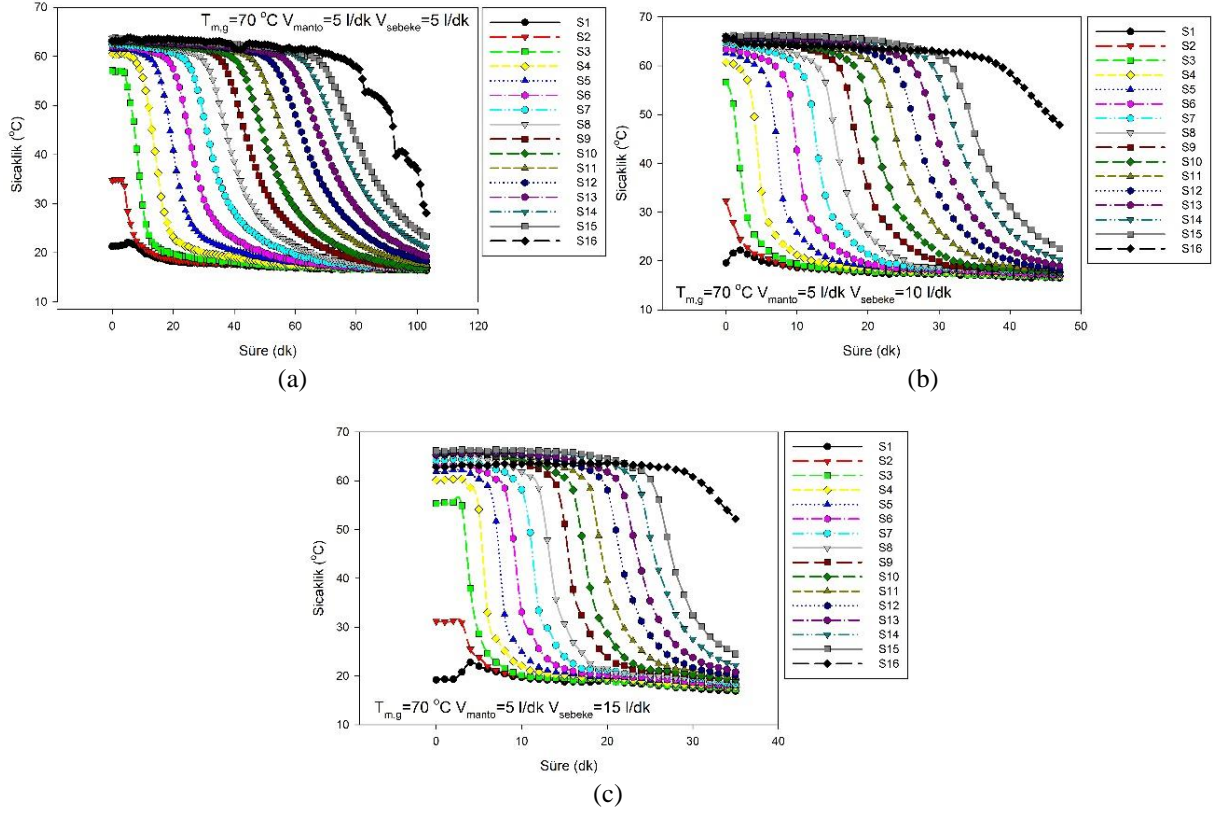


Şekil 6. İncelenen tüm durumlar için enerji boşaltma periyodunda tanktan elde edilen sıcak su miktarları



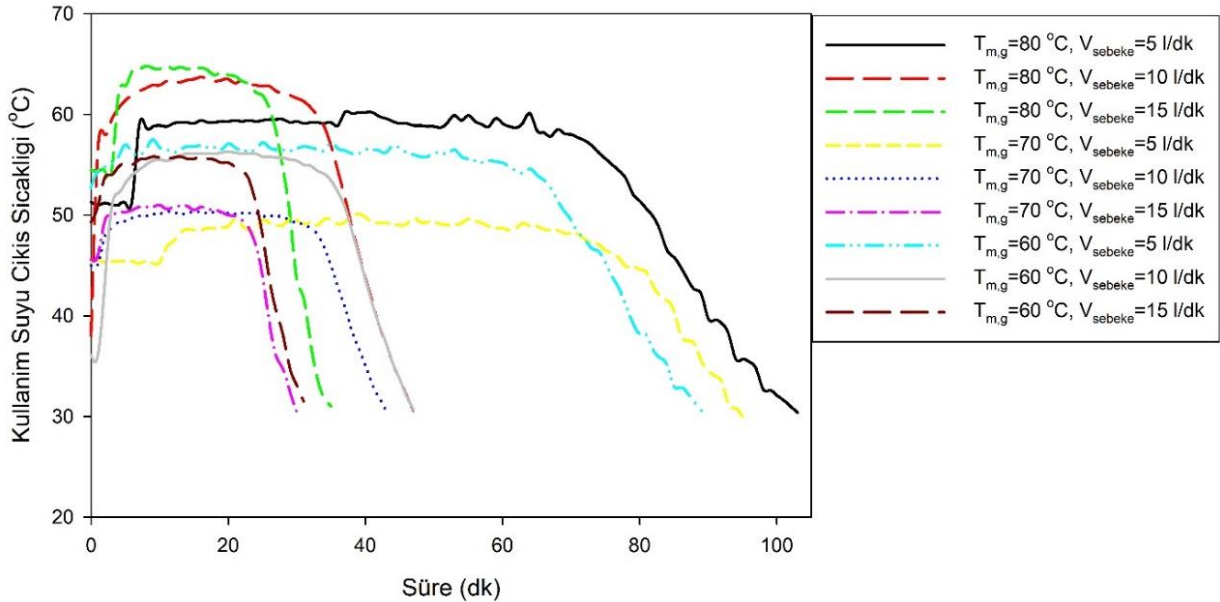
Şekil 7. (a) $T_{m,g} = 80$ °C ve $\dot{V}_m = 5$ l/dk; (b) $T_{m,g} = 70$ °C ve $\dot{V}_m = 5$ l/dk; (c) $T_{m,g} = 60$ °C ve $\dot{V}_m = 5$ l/dk olduğu durumlarda tank içerisindeki sıcaklık dağılımının zamanla değişimi

Şekil 7’de farklı manto giriş sıcaklıkları ile aynı manto giriş debisinde enerji yüklenmiş ve sabit enerji boşaltma debilerindeki sıcaklık dağılımlarının zamanla değişimi görülmektedir. Şekil 7’den görüldüğü üzere, tank içerisindeki sıcaklık tank tabanından başlayarak zaman içerisinde soğumaya başlamıştır. Tankın en üst kısmında kalan yüksek sıcaklık bölgesi nedeni sıcaklık sensörünün bulunduğu seviyenin kullanım suyu çıkış seviyesinin üst kısmında kalmasıdır. Bu bölgede kalan sıcak havadan hacmi bulunmaktadır. Tank içerisindeki sıcaklık dağılımının zamanla değişimi, farklı manto giriş debileri, manto giriş debileri ve şebeke giriş debileri için benzer davranışı göstermiştir.



Şekil. 8. Farklı şebeke giriş debileri için tank içerisindeki sıcaklık dağılımının zamanla değişimi (a) $\dot{V}_{sebeke} = 5 \text{ l/dk}$; (b) $\dot{V}_{sebeke} = 10 \text{ l/dk}$; (c) $\dot{V}_{sebeke} = 15 \text{ l/dk}$

Şekil 8'de şebeke giriş debisinin tank içerisindeki sıcaklık dağılımı üzerindeki etkisi görülmektedir. Beklendiği üzere tank içerisindeki sıcaklık seviyesi yüksek şebeke giriş debilerinde daha hızlı düşmektedir. Şekil 8.a'da görüldüğü üzere, tankın üst kısmındaki hava hacmine bağlı olarak kalan sıcak bölge, şebeke giriş debisinin düşmesi ile daha düşük seviyelere gerilemiştir. Bu durum zaman içerisinde çevreye olan ısı kaybının artmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 7 ve Şekil 8'den görüldüğü üzere, tank içerisindeki sıcaklık dağılımı karakteristiği tüm çalışma koşullarında benzerdir. Enerji boşaltma döneminde tank içerisindeki sıcaklık, tank tabanından üst kısımlarına doğru katman katman düşmüştür. Sıcaklığı düşen bölgenin yerini şebeke suyu sıcaklığında soğuk su hacmi almıştır. Şebeke debisine göre sıcaklık düşümünün tank içerisindeki yayılması artan şebeke hızı ile artmıştır. Tank içerisindeki sıcaklık dağılımları tek başına enerji boşaltma periyodundaki performansı değerlendirmede yeterli olmayacağından, Şekil 7 ve Şekil 8'den elde edilen bulgular Şekil 6 ile değerlendirildiği zaman, şebeke giriş debisinin daha düşük olmasının sıcak su elde etme açısından daha iyi performans sağlayacağı görülmektedir.



Şekil. 9. Kullanım suyu çıkış sıcaklığının zamanla değişimi (not: tüm durumlarda şebeke giriş debisi 5 l/dk'dır)

Kullanım suyu sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 9'da görülmektedir. Şekil 9'dan görüldüğü üzere, tank içerisindeki en yüksek sıcaklık seviyesindeki su belli bir süreye kadar tanktan elde edilmiştir. Daha sonra kullanım suyu çıkış sıcaklığı hızla 30°C'ye düşmüştür. Suyun sıcaklığının düşme davranışı, tank içerisindeki sıcaklık seviyesi göre değişse de aynı sıcaklık seviyesi için benzerdir. Şekil 9'dan elde edilen bulgulardan görüldüğü üzere, tanktan elde edilen sıcak su miktarını arttırmak için ya en yüksek seviyeden alınan sıcak su miktarını arttırmak ya da sıcaklık düşümü sırasında geçen süreyi uzatmak gerekmektedir. Şekil 6 ve Şekil 9 birlikte değerlendirildiği zaman, bir düşey mantolu sıcak su tankından maksimum miktarda sıcak su elde etmek için şebeke giriş debisinin düşük olması gerekmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada sıcak su hazırlama sistemlerinde yaygın olarak kullanılan düşey mantolu sıcak su tanklarındaki sıcaklık tabakalaşmasını enerji yükleme ve boşaltma periyotları için deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada farklı manto giriş debisi, manto giriş sıcaklığı ve şebeke giriş debisinin etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Enerji yükleme periyodunda artan manto debisi ve manto giriş sıcaklığı tankta yüklenen enerji miktarını ve dolayısı ile tank içerisindeki sıcaklık seviyesini arttırmıştır.
- Enerji yükleme periyodunda farklı manto debisi ve manto giriş sıcaklığı ile tank içerisindeki sıcaklık dağılım karakteristiği önemli ölçüde değişmemiştir. Sıcaklık dağılım karakteristiği tüm durumlarda benzer davranış göstermiştir.
- Enerji boşaltma periyodunda, sıcak su tankından elde edilen sıcak su hacminin üzerindeki en büyük etkiye şebeke debisi sahiptir. Artan şebeke giriş debisiyle sıcak su tankından elde edilen sıcak su miktarı azalmaktadır. Artan her 5 l/dk şebeke debisi yaklaşık olarak elde edilen sıcak su hacmini 20 litre düşürmüştür. Tanktan en yüksek miktarda sıcak su elde etmek için şebeke giriş debisini düşük seviyede olması gerekmektedir.
- Artan manto giriş sıcaklığı ve manto debisi ile de tanktan elde edilen sıcak su miktarı artış eğilimi göstermektedir. Ancak manto giriş debisi ve sıcaklığının tanktan elde edilen sıcak su üzerindeki etkisi şebeke giriş debisine göre daha düşüktür.
- Sonuç olarak bir sıcak su tankından mümkün olan en yüksek sıcaklıkta ve miktarda sıcak su elde etmek için enerji yükleme periyodunda manto giriş debisi ve sıcaklığının yüksek olması ve şebeke giriş debisinin ise düşük olması gerekmektedir.

Teşekkürler

Bu çalışma TÜBİTAK 1002 Hızlı Destek Programı kapsamında 217M993 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Yazar sağladığı destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunar.

Referanslar

- Acar, C. (2018). "A comprehensive evaluation of energy storage options for better sustainability." *International Journal of Energy Research* 0(0).
- Arslan, M. and A. A. Igci (2015). "Thermal performance of a vertical solar hot water storage tank with a mantle heat exchanger depending on the discharging operation parameters." *Solar Energy* 116: 184-204.
- Assari, M. R., H. Basirat Tabrizi and M. Savadkoho (2018). "Numerical and experimental study of inlet-outlet locations effect in horizontal storage tank of solar water heater." *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 25: 181-190.
- Bouhal, T., S. Fertahi, Y. Agrouaz, T. El Rhafiki, T. Kousksou and A. Jamil (2017). "Numerical modeling and optimization of thermal stratification in solar hot water storage tanks for domestic applications: CFD study." *Solar Energy* 157: 441-455.
- Chandra, Y. P. and T. Matuska (2019). "Stratification analysis of domestic hot water storage tanks: A comprehensive review." *Energy and Buildings*.
- Dehghan, A. A. and A. Barzegar (2011). "Thermal performance behavior of a domestic hot water solar storage tank during consumption operation." *Energy Conversion and Management* 52(1): 468-476.
- Deng, J., S. Furbo, W. Kong and J. Fan (2018). "Thermal performance assessment and improvement of a solar domestic hot water tank with PCM in the mantle." *Energy and Buildings* 172: 10-21.
- Dincer, I. and M. A. Rosen (2011). *Thermal Energy Storage Systems and Applications*, Wiley and Sons, Ltd., Publication.
- Dragsted, J., S. Furbo, M. Dannemand and F. Bava (2017). "Thermal stratification built up in hot water tank with different inlet stratifiers." *Solar Energy* 147: 414-425.
- Erdemir, D. and N. Altuntop (2016). "Effect of thermal stratification on energy and exergy in vertical mantled heat exchanger." *International Journal of Exergy* 20(1): 105-121.

- Erdemir, D. and N. Altuntop (2016). "Improved thermal stratification with obstacles placed inside the vertical mantled hot water tanks." *Applied Thermal Engineering* 100: 20-29.
- Fan, J. and S. Furbo (2012). "Thermal stratification in a hot water tank established by heat loss from the tank." *Solar Energy* 86(11): 3460-3469.
- Fan, J., S. Furbo and H. Yue (2015). "Development of a Hot Water Tank Simulation Program with Improved Prediction of Thermal Stratification in the Tank." *Energy Procedia* 70: 193-202.
- Fertahi, S. e.-D. n., A. Jamil and A. Benbassou (2018). "Review on Solar Thermal Stratified Storage Tanks (STSST): Insight on stratification studies and efficiency indicators." *Solar Energy* 176: 126-145.
- Kenjo, L., C. Inard and D. Caccavelli (2007). "Experimental and numerical study of thermal stratification in a mantle tank of a solar domestic hot water system." *Applied Thermal Engineering* 27(11): 1986-1995.
- Kurşun, B. (2018). "Thermal stratification enhancement in cylindrical and rectangular hot water tanks with truncated cone and pyramid shaped insulation geometry." *Solar Energy* 169: 512-525.
- Kurşun, B. and K. Ökten (2016). "Sıcak Su Tanklarında Yalıtım Kalınlığının Isıl Katmanlaşmaya Etkisi." *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji* 6(1): 105-115.
- Kurşun, B. and K. Ökten (2018). "Effect of rectangular hot water tank position and aspect ratio on thermal stratification enhancement." *Renewable Energy* 116: 639-646.
- Zachár, A. (2015). "Investigation of a new helical flow distributor design to extract thermal energy from hot water storage tanks." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 80: 844-857.