

# ÇOK İŞLETMECİLİ SAHALAR İÇİN ÜRETİM PERFORMANSLARI

**Ö. İnanç TÜREYEN**  
**Abdurrahman SATMAN**

## ÖZET

Geçtiğimiz birkaç yıl içinde, Türkiye'nin jeotermal kaynaklarının geliştirilmesinde özel sektörün girişini de sağlamak amacıyla, MTA Genel Müdürlüğü tarafından 85'e yakın sayıda jeotermal sahaların lisansları ihale edilmiştir. Sahaların doğal olarak farklı jeotermal kaynak özellikleri vardır. İhale edilen sahaların bir kısmı görelî olarak arama çalışmaları tamamlanmış sahalar olup, elektrik üretimi amaçlı kullanılırken, önemli bir bölümü ise kaynak hakkında kısıtlı bilginin olduğu, henüz yeteri kadar aranmamış ve kaynak olarak yeterince tanımlanmamış sahalardır.

Gerek yeteri kadar tanımlanmamış ve gerekse de halen üretim yapılan ve fakat çevresinde komşu sayılan alanların ihale edildiği bu tür kaynakların uygun ve sürdürülebilir gelişmesinde en ciddi risklerden birisi, aynı jeotermal alanda birden çok işletmecinin bulunmasıdır. Bir kaynak alanında birden fazla lisans sahibi işletmecinin devreye girme riskine neden olur. Bu durum, aynı kaynağı kullanan komşu işletmeciler arasında girişim etkisi riskine neden olur. Yeraltındaki kaynak, doğası itibarıyla, bölünmez. dolayısıyla rezervuarın bir bölümüne sahip olan ve üretim yapan bir işletmeci, sahanın diğer bölümlerine sahip olan diğer işletmecileri ve kaynağı etkiler. Türkiye'deki mevcut yasa ve yönetmeliklerde bu konularda ve olası sorunların çözülmesinde belirsizlikler vardır.

Dünya'da çok işletmecili sahalarda için uygulanan bir yaklaşım birleştirme (unitization) olarak tanımlanmaktadır. çok işletmecili saha olmasına rağmen, sahanın bir tek ortak birim olarak işletilmesi gerçekleştirilmektedir.

Bu bildiride, jeotermal kaynak geliştirmede birleştirmenin önemi vurgulanmaktadır. Aynı rezervuarı kullanan birden fazla işletmeci durumunda, rezervuarın basınç ve sıcaklık davranışında girişim etkileri modelleme çalışması sonuçlarıyla sunulmaktadır. Burada sunulan sonuçların, yakın gelecekte çok işletmecili jeotermal sahalarda beklenen sorunları açıklamakta yardımcı olacağı tahmin edilmektedir. Jeotermal kaynakların işletilmesinde birleştirme gereksinimi, Türkiye'de gittikçe büyüyen, sahaların işletilme aşamasına gelindiğinde, bir sorun olma potansiyeline sahiptir ve teknik ve yasal yönleriyle çok ciddi çalışılması gereken bir konudur.

**Anahtar Kelimeler:** Çok işletmecili sahalarda, Birleştirme, Jeotermal rezervuar.

## ABSTRACT

In the last four years, MTA, the Mineral Research and Exploration General Directorate, has held several auctions of geothermal licenses as part of an effort to engage private companies in the development of Turkey's geothermal resources. MTA offered about 85 geothermal licenses in areas where some exploration work has been done. The fields offered have different resource characteristics. Several of the geothermal resources initially investigated by MTA are now producing power. Majority of the licenses and thus resources are offered to the private sector and/or local entities such as municipalities for continued development. Most of these fields are poorly understood geothermal areas with limited information about resources.

One serious risk involved in the adequate and sustainable development of these resources originates from multiple license holders in the same area. There are often several license holders for a given resource area. This situation leads to the potential risk of offset production and interference effects between adjacent developments using the same resource. The current regulatory environment has led to fragmented ownership of geothermal resource rights creating legal entanglements and potential resource sustainability issues.

A well known approach for the multiple license holders problem is unitization. Unitization, in simple wording, is the unit based operation of a geothermal resource by consolidating or merging the entire field or a substantial part of it as a single entity and designating one or more of the parties as operator. A generally acceptable rule is that a geothermal lease is indivisible by its nature. Thus, production from any part of a unit perpetuates all leases within the unit.

The present paper outlines the importance of unitization on the geothermal resource development. The lumped parameter modeling of a hypothetical geothermal field is discussed for better understanding the reservoir performance in terms of pressure and temperature and to demonstrate the interference effects when more than one share holders tap the same reservoir. The results help to appreciate the problems of having multiple license holders in the same area which is something expected to occur in some geothermal fields in Turkey in the near future. The need for unitization in the exploitation of geothermal resources is a matter of growing importance and will be of serious concern in Turkey.

**Key Words:** Multiple license holders, Unitization, Geothermal reservoir.

## 1.GİRİŞ

Son dört yıl içinde, Türkiye'nin jeotermal kaynaklarının geliştirilmesinde özel sektörün girişini de sağlamak amacıyla, MTA Genel Müdürlüğü tarafından 85'e yakın sayıda jeotermal sahaların lisansları ihale edilmiştir [1]. Lisans verilen alanlarda MTA tarafından delinmiş kuyular yeni lisans sahibine devredilmektedir.

Lisans ihaleleri Türkiye'nin her tarafında yapılmaktadır, fakat lisansların çoğunluğu Batı Anadolu'daki sahalara verilmiştir. Sahaların doğal olarak farklı jeotermal kaynak özellikleri vardır. İhale edilen sahaların bir kısmı görece olarak arama çalışmaları tamamlanmış sahalar olup, elektrik üretimi amaçlı kullanılırken, önemli bir bölümü ise kaynak hakkında kısıtlı bilginin olduğu, henüz yeteri kadar aranmamış ve kaynak olarak yeterince tanımlanmamış sahalaradır.

Lisans verilen alanlar genelde küçük alanlardır. Bu arada, bir jeotermal kaynak için birden fazla lisans sahibi yaratılmış durumdadır. Bu durumda, aynı kaynağı kullanan ve fakat komşu olan saha geliştirme projelerinde farklı işleticilerden kaynaklanan girişim riski ortaya çıkmaktadır.

Aynı kaynağı kullanan çoklu-lisans sahiplerinin bu riski ortadan kaldırma veya azaltma yolu, sahada birleştirilmenin uygulanması, birleştirme yönteminin ve stratejisinin oluşturulması ve lisanslarla ilgili veri ve bilgilerin paylaşılmasıdır.

Jeotermal sektörü olgunlaştıkça, jeotermal kaynakların ortak birimlerce işletilmeleri beklenen bir yöntem olacaktır.

### 1.1. Birleştirme; Kuralları, Yararları ve İlkeleri

Jeotermal kaynağın anlaşılmasında genel kural, bir jeotermal kaynağın, doğası itibarıyla, bölünemeyeceğidir. Farklı birimlerce işletilen bir sahada, sahanın herhangi bir biriminde yapılan üretim veya enjeksiyon kaynağı işleten tüm birimleri etkiler.

Bu durumda iki tür işletme yöntemi gündeme gelmektedir. Tüm lisans sahiplerinin anlaşarak oluşturduğu birleştirilmiş işletme (cooperative) yöntemi ve lisans sahiplerinin herbirinin ayrı ayrı hareket ettiği ve işlettiği rekabetçi işletme (competitive) yöntemi.

Çok işletmecili rekabetçi işletmedeki sorunlar incelendiğinde, birleştirilmiş işletmenin tüm lisans sahipleri için yarar sağladığı açıktır. Olası sorunların ve birleştirme yararlarının bir kısmı aşağıda sıralanmaktadır:

- Sahanın bir birim olarak işletilmesi durumunda, rekabetçi işletme durumundaki lisans sahiplerinin mülkiyet alanlarında oluşabilecek ve komşu lisans sahibinin neden olduğu zararları kontrol için yeni kuyular delme gibi maliyet ortadan kalkacaktır. Örneğin iki lisans sahibi bulunan bir jeotermal kaynak işletiminde, birinci lisans sahibinin ortak sınıra yakın bir yerde üretim kuyusu delmesi durumunda ikinci lisans sahibinin de bir başka üretim kuyusu delme sorunu ortadan kalkacaktır. Birleştirme yapılması durumunda sondaj maliyetinin azalması beklenir.
- Benzer bir başka yarar ise birleştirilmiş işletmede, kaynağın daha soğuk olduğu bölgede jeotermal suyun üretimi engellenmiş olur. Jeotermal kaynak işletmede önemli olan ısı üretimidir, soğuk su üretimi kaynağın basıncını olumsuz etkiler.
- Ortak sınırın iki tarafında üretim kuyularının delinmiş olması durumunda, erken üretime başlayan diğerine zarar verir.
- Ortak sınıra yakın yerde delinmiş bir reenjeksiyon kuyusundan basılan soğuk su diğer işletmecinin alanındaki kaynağı soğutur.

Dolayısıyla, rekabetçi işletmede genelde bir işletmeci yarar sağlarken diğeri zarar görmektedir. Ayrıca mülkiyet hakları arasındaki yarar ve zararı ölçmek te kolay değildir. Bu nedenle, birleştirilmiş işletmede amaç, tarafları memnun eden ve tüm ortaklara yarar sağlayan bir yaklaşımın bulunmasıdır [2-4, 8, 9].

Birleştirilmiş işletme yönteminde geçerli bazı tanımlar aşağıda verilmektedir:

**Jeotermal Mülkiyet Hakkı** – Yeraltında jeotermal kaynağın olduğuna inanılan yerin üstündeki alan. Kaynağın üretimle işletilmesi hakkını tanımlar.

**Birleştirilmiş İşletme** – Bir jeotermal mülkiyetin veya yüzeyden sınırlanmış yeraltının ortak işletilmesi için oluşturulmuş plan. Birleştirme anlaşmasına dayanır, ortak bir işletmeci devreye girer ve jeotermal akışkan ve ısının ayrı ayrı veya birlikte işletilmesini hedefler.

**İşletme Planı** – Bir jeotermal kaynağın bir veya daha fazla işletmeci tarafından ayrı ayrı veya birlikte işletilmesi esasına dayanan, mevcut ticari hedefleri sağlamaya yönelik ve yönetmelik sınırlamalarına uyumlu plan.

**Birleştirme Anlaşması** – Bir jeotermal mülkiyetin işletiminde hak sahibi olan iki veya daha fazla lisans sahibi arasında yapılmış bir anlaşma. Bu anlaşma aynı zamanda yasal olarak belirlenmiş ve yetkilendirilmiş yerel veya devlet kurumları tarafından belirlenen işletme koşullarına ve kısıtlarına uyumlu olmak durumundadır.

Birleştirme tarafların anlaşmasına dayanır ve uygulanır. Ancak, yeraltı kaynaklarının belirsizlikler içerdiği ve niceliksel değerlendirmenin kolay olmadığı bir gerçektir. Jeotermal rezervuarların dış sınırlarının belirlenmesindeki zorluklar ve belirsizliklerden dolayı, yerinde ısı ve kütle miktarı ancak tahmin edilebilir, kesin değerler değildir. Ayrıca, üretilebilir akışkan ve ısı miktarları kaynağın üretimi sırasında, doğal beslenme ve uygulanan reenjeksiyon senaryolarına bağlı olarak, değişebilir.

Birleştirmede lisans sahiplerinin haklarını belirleyen bazı ilkeler vardır. Bunlar:

1. Lisans sahiplerinin, anlaşma süresince ve anlaşılan paylaşma oranında, üretilende hakkı vardır.
2. Lisans sahipleri, söz konusu ısı ve akışkan üretim süreçlerinde yapılan her türlü maliyete de ortak olarak katılmak durumundadır.

Jeotermal kaynaklar birleştirildiğinde, bu tür maliyet ve kar-paylaşım sorumlulukları ve yetkilerine dayanan ilkeler gündeme gelir.

## 2.KURAMSAL DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ

Bu çalışmada yaklaşım olarak, iki işletmecili bir saha alınarak ve sahanın ortalama rezervuar basıncının davranışı incelenerek birleştirilmiş ve rekabetçi saha işletmelerinin karşılaştırılması yapıldı.

Konunun basitçe incelenmesi amacıyla, jeotermal saha bir jeotermal rezervuar ve bu rezervuarı besleyen bir doğal beslenme kaynağı olarak gözönüne alındı. Başlangıçta ( $t=0$ ) hem rezervuar ve hem de beslenme kaynağı dengede varsayılarak sistem için basınç ilk basınç ( $p=p_i$ ) olarak alındı. Bu tür bir sistem Tek-Tank Açık Sistem olarak tanımlanmaktadır [5].

Bir Tek-Tank Açık Sistem için, sabit üretim debisi ve doğal beslenme kaynağının sabit basıncı varsayımı altında, rezervuarın üretim zamanına göre ilk basınç değerinden olan basınç düşümü aşağıdaki denklemle ifade edilmektedir:

$$\Delta p = \frac{w}{\alpha} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\alpha t}{\kappa}\right) \right] \quad (E.1)$$

veya rezervuar basıncı doğrudan bulunmak istenirse

$$p = p_i - \frac{w}{\alpha} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\alpha t}{\kappa}\right) \right] \quad (E.2)$$

denklemleri kullanılabilir. Burada  $\alpha$  rezervuar beslenme sabiti olup  $\kappa$  ise rezervuar depolanma kapasitesidir. Doğal beslenme, rezervuar tankı ve beslenme kaynağı arasındaki basınç farkı ile doğru orantılıdır (Schilthuis kararlı-akış su girişi yaklaşımı). Rezervuar depolanma kapasitesi,

$$\kappa = V\phi\rho c_t \quad (E.3)$$

olarak tanımlanmaktadır. Üretim zamanının büyük değerlerinde sistem kararlı-akış davranışı gösterir ve bu durumda rezervuarda basınç düşümü

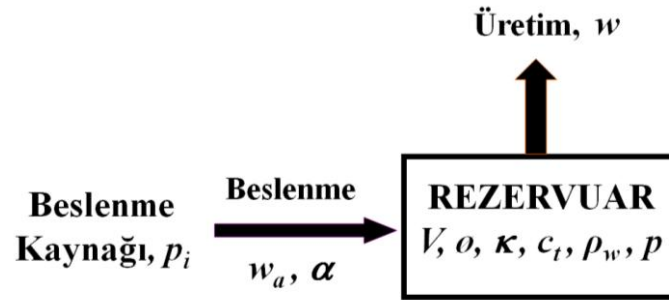
$$\Delta p_{ss} = \frac{w}{\alpha} \quad (E.4)$$

olarak sabitlebilir. Denklem 4 Tek-Tank Açık Model için kararlı-akış basınç düşüm denklemidir. Denklem 4, üretim zamanının büyük değerlerinde, rezervuar ve beslenme kaynağının dengeye ve sabit bir basınç değerine ulaştığını göstermektedir. Kararlı-akış durumunda basınç düşümü rezervuar depolanma sabiti olan  $\kappa$ 'dan bağımsız hale gelir, sadece rezervuar doğal beslenme sabitine,  $\alpha$ , bağlıdır.

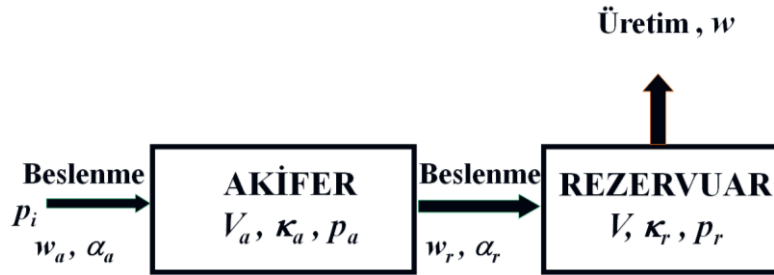
Yukarıda kısaca açıklanan tank model yaklaşımı, istenirse bir rezervuar ve buna bağlı birkaç beslenme (akifer) sistemini veya birden fazla ve fakat birbiriyle hidrolik olarak bağlı rezervuar sistemini modellemek amacıyla geliştirilebilir. Sarak vd. [5] ve Satman vd. [6] bu tür modelleme yaklaşımını ayrıntılı olarak açıklamaktadır. Şekil 1 farklı sistemler için tank modellerini şematik olarak göstermektedir. Şekil 1'de en üstteki sistem bir rezervuar ve bir beslenme kaynağından oluşmuş ve yukarıda basınç davranışı denklemleri verilen Tek-Tank Açık Sistem modelini temsil etmektedir. Rezervuar sabit bir kütleli debide ( $w$ ) üretilirken, sabit basınçlı ( $p_i$ ) beslenme kaynağı sistemi rezervuara su girişi ile besler. Rezervuara reenjeksiyon yapılması durumunda, kütleli debi olan  $w$  üretim debisi ile enjeksiyon debisi arasındaki farkı temsil eder. Kaba (toplam) hacmi  $V$  olan rezervuar için,  $\phi$  rezervuar gözenekliliğini,  $\rho_w$  rezervuarda su yoğunluğunu,  $c_t$  toplam (akışkan+formasyon) sıkıştırılabilirliği,  $w_a$  beslenme kaynağından rezervuar tankına beslenme debisini,  $\alpha$  rezervuar beslenme sabitini,  $p_i$  beslenme kaynağının sabit basıncını ve  $p$  ise rezervuarın hacimsel ortalama basıncını temsil etmektedir.

Şekil 1'de ortadaki şema iki tanktan oluşmuş İki-Tank Açık Sistem modelini göstermektedir. Birinci tank, üretim ve reenjeksiyonun gerçekleştirildiği rezervuarı, birinci tanka hidrolik bağlı olan ikinci tank ise rezervuarı besleyen ve sistemin dış kısmı olan akiferi temsil etmektedir. Akifer, basıncı sabit olan bir beslenme kaynağından beslenmektedir. Birinci tanktan (rezervuar) sıcak su üretilirken, rezervuardaki basınç (veya su seviyesi) düşer. Akifer ile rezervuar arasında oluşan basınç farkından dolayı, ikinci tanktan rezervuara su girişi olur ve dolayısıyla ikinci tankta da basınç düşümü gerçekleşir. Dolayısıyla iki tanktan oluşan jeotermal sistemin tümü üretimden etkilenmiş olur.

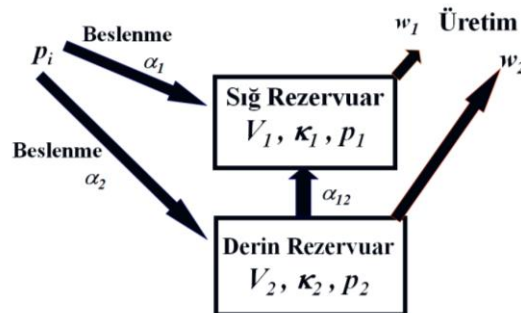
Şekil 1'de alttaki şema iki rezervuarlı sistemi göstermektedir. Şemada gösterildiği gibi, rezervuar bir sığ (üst) rezervuar ve bir derin (alt) olmak üzere birbiriyle hidrolik iletişim içinde iki rezervuardan oluşmuş varsayılmaktadır. Her iki rezervuarda dışardaki aynı beslenme kaynağından beslenmektedir. Her ne kadar bu şemada rezervuarlar düşey konumda iki rezervuar gibi görülsede, modelleme açısından bunlar yatay konumda da birbiriyle bağlantılı iki ayrı rezervuar olarak ta modellenebilir. İkisinden de farklı debilerde üretim gerçekleştirilebilir.



Beslenme Kaynaklı Bir Rezervuar (Tek-Tank Açık)



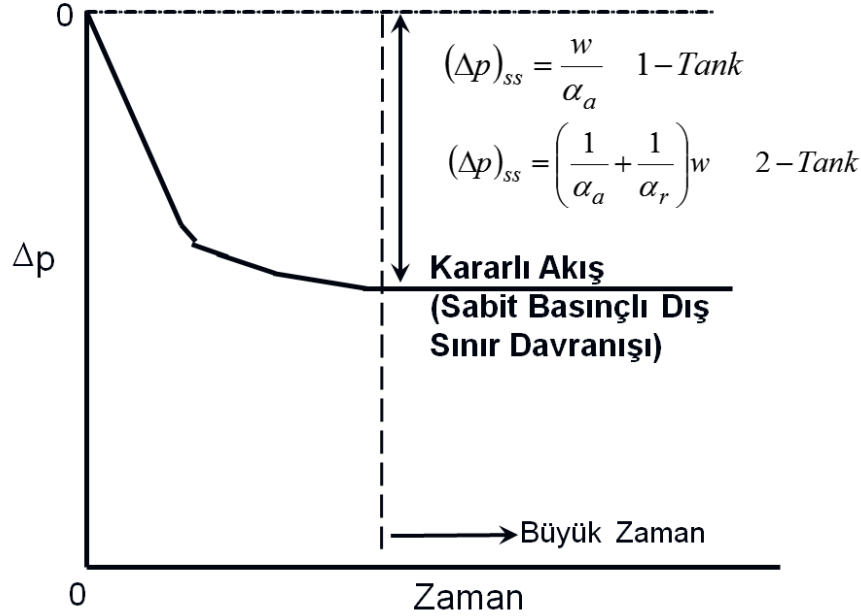
Beslenme Kaynaklı Bir akifer ve Bir Rezervuar (İki-Tank Açık)



Beslenme Kaynaklı İki Rezervuar

Şekil 1. Tek-Tank ve İki-Tank Açık Sistem modellerinin şematik görünümü.

Şekil 2’de sabit üretim debisinde Tek-Tank ve İki-Tank Açık modeller için rezervuar basınç davranışı gösterilmektedir. Büyük zaman değerlerinde, Tek-Tank Açık Sistem için Denklem 4’le verilen kararlı-basınç düşüm değerine ( $\Delta p_{ss}$ ) ulaşılırken, İki-Tank Açık Sistem için Şekil 2’de verilen denklemle bulunan kararlı-akış basınç düşüm değeri geçerlidir.



Şekil 2. Tek-Tank ve İki-Tank Açık modeller için kararlı-akış basınç davranışı.

### 3.TARTIŞMA

Birleştirilmiş ve rekabetçi işletme durumlarını karşılaştırabilmek amacıyla, aynı rezervuarda lisansı olan iki işletmeci (İşletmeci 1 ve İşletmeci 2) düşünelim. Yeryüzünde koordinatları verilen alanlara lisans almış bu işletmeciler keşfedilmiş bu rezervuardan üretim yapmayı hedeflemektedirler. Rekabetçi işletme yöntemi ile bu iki lisans sahibi kendi kişisel çıkarlarını düşünmektedirler. Sahanın iki farklı işletmecinin amaçları doğrultusunda işletme yapmaları durumunda rezervuarda oluşan davranış ile rezervuarın tek bir işletmeci ile işletilmesi durumundaki (birleştirilmiş durum) rezervuar davranışı karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırmada, jeotermal projelerin yürütülmesinde genelde sürdürülebilirliğin ölçüsü olan rezervuar basınç düşümü, karşılaştırmada kullanılan parametre olarak varsayılmaktadır ve bu karşılaştırmada değerlendirilmektedir.

İki işletmeci tarafından sahiplenilen iki ayrı rezervuar hacmi, Şekil 1’de gösterilmekte olan beslenme kaynaklı iki rezervuarlı (tanklı) açık sistem olarak modelleneyecektir.

Eğer sistem birleştirilmiş sistem gibi, veya bir başka deyişle rezervuar bölünmemiş gibi, işletilseydi rezervuarda üretim sonucu oluşan kararlı-basınç düşümü Denklem 4 ile belirlenebilir. Ancak, rekabetçi işletim durumunda, iki ayrı rezervuar için iki ayrı basınç düşümü söz konusu olur. Rekabetçi işletmede, İşletmeci 1 ve 2’nin sahiplendikleri rezervuarların kararlı-akış basınç düşümleri aşağıdaki denklemle bulunabilir:

$$\Delta p_{ss1} = \frac{w_1 + w_2}{\alpha_1} \quad (E.5)$$

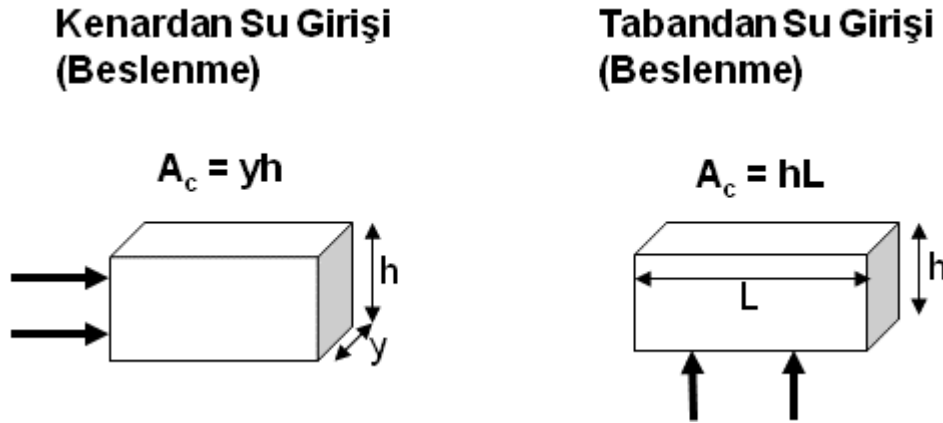
ve

$$\Delta p_{ss2} = \Delta p_{ss1} + \frac{w_2}{\alpha_{12}} \quad (E.6)$$

Burada  $\alpha_{12}$  rezervuarlar-arası beslenme sabitidir ve aşağıdaki ilişkiyle tanımlanmaktadır:

$$\alpha_{12} \propto \frac{kA_c \rho}{\mu \Delta L} \quad (E.7)$$

Burada  $k$  rezervuar geçirgenliği,  $A_c$  rezervuarlar arası kesit alanı (esas itibariyle rezervuar kalınlığı ve genişliğinin çarpımı),  $\rho$  su yoğunluğu,  $\mu$  akma viskozitesi ve  $\Delta L$  ise karakteristik uzunluktur (rezervuarın bir tarafından su girişi/beslenmesi olması durumunda rezervuar yarı-uzunluğu olarak alınabilir). Rezervuara su girişinin yönüne bağlı olarak, rezervuara bir yönden doğrusal giriş veya çevrel akış gibi,  $A_c$  farklı tanımlar alabilir. Şekil 3'te kenardan su girişi veya tabandan su girişi olması durumları için  $A_c$  'nin aldığı tanımlar gösterilmektedir.

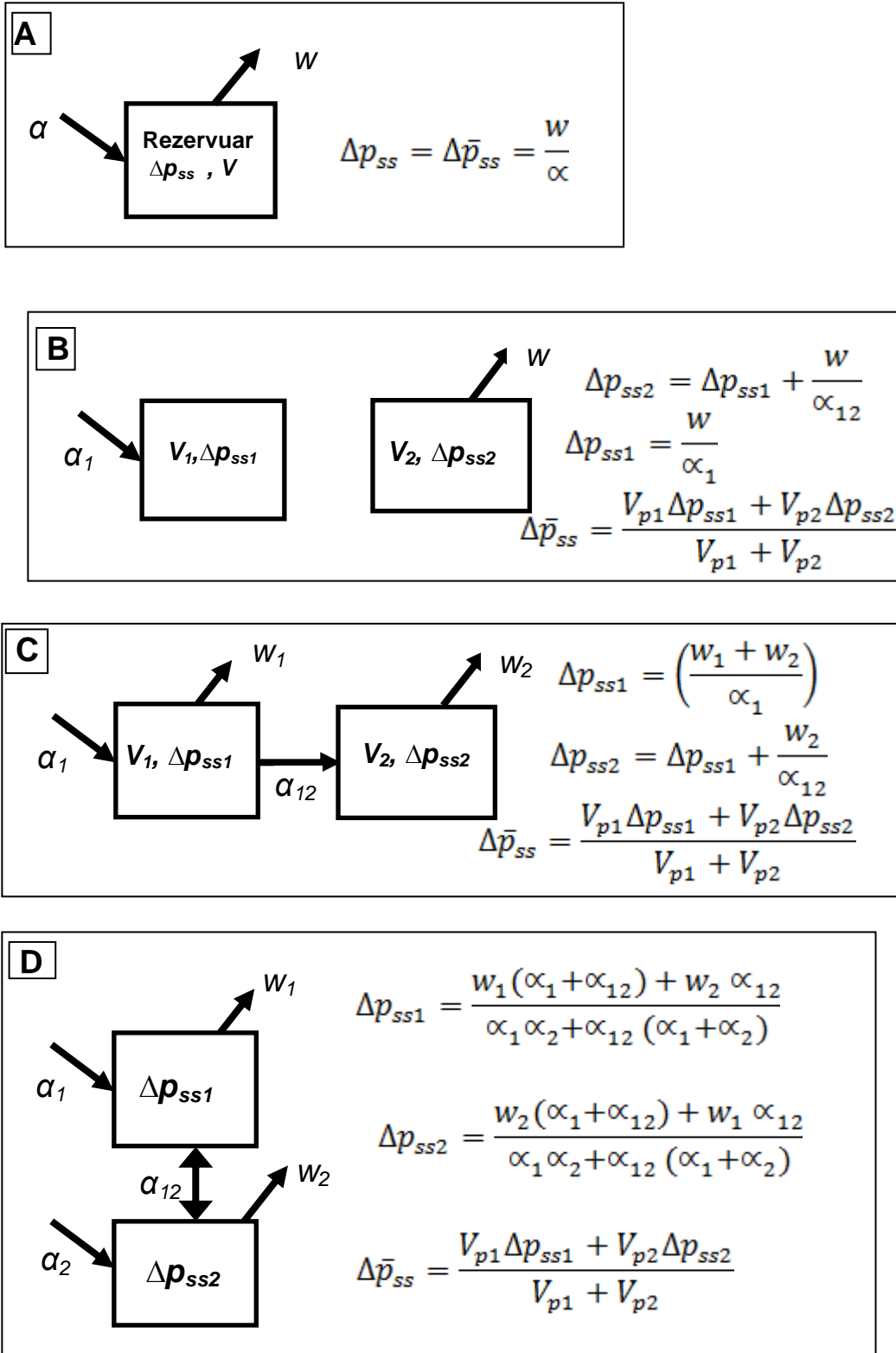


**Şekil 3.** Kenardan ve tabandan su girişi olması durumlarında kesit alanının tanımları.

Farklı kombinasyonlardaki rezervuar sistemleri için ortalama rezervuar basıncı cinsinden kararlı-akış basınç düşüm değerleri Şekil 4'te verilmektedir. Şekil 4'te ortalama rezervuar basınçları rezervuarların gözenek hacmi ( $V_p=V\phi$ ) ağırlıklı olarak hesaplanmaktadır.

Şekil 4'te D ile gösterilen durum genel durumu temsil etmektedir, A'dan C'ye olan diğer durumlar  $w$ ,  $V$ , ve  $\alpha$  değerlerine bağlı olarak D'den türetilir. Örneğin, Durum D'de eğer  $V_1=V_2=V/2$ ,  $w_1+w_2=w$ , ve  $\alpha_1=\alpha_2=\alpha/2$  alınırsa Durum A elde edilir ve hacimsel ortalama rezervuar basıncı  $\bar{p}_{ss}$  rezervuarlar-arası beslenme sabiti  $\alpha_{12}$ 'den bağımsız hale gelir, Denklem 4 geçerli olur.

Hem birleştirilmiş işletme yönteminde ve hem de iki işletmecinin rekabetçi işletme yöntemlerinde geçerli olmak üzere, sistemden toplam üretim debisini ( $w=w_1+w_2$ ) 100 kg/s, sistemin başlangıç basıncını ( $p_i$ ) 50 bar, ve  $\alpha=\alpha_{12}=5$  kg/s.bar varsayarak, iki ayrı yöntemde oluşacak basınç davranışını karşılaştıralım. Ek olarak, doğal beslenmenin rezervuarı sadece bir taraftan beslediği ve dolayısıyla rekabetçi işletme sisteminde işletmecilerden birine doğal beslenme olduğunu ve diğerinin doğal beslenme ile doğrudan hidrolik bağlantısı olmadığını varsayalım. Birleştirilmiş işletmede rezervuardan 100 kg/s kütleli debide akışkan üretilirken, rekabetçi işletmede iki ayrı rezervuardan yine toplam 100 kg/s debide akışkan üretilmesine rağmen, birinci ve ikinci rezervuardan ayrı ayrı debilerde üretim yapılması durumu burada değerlendirilecektir.



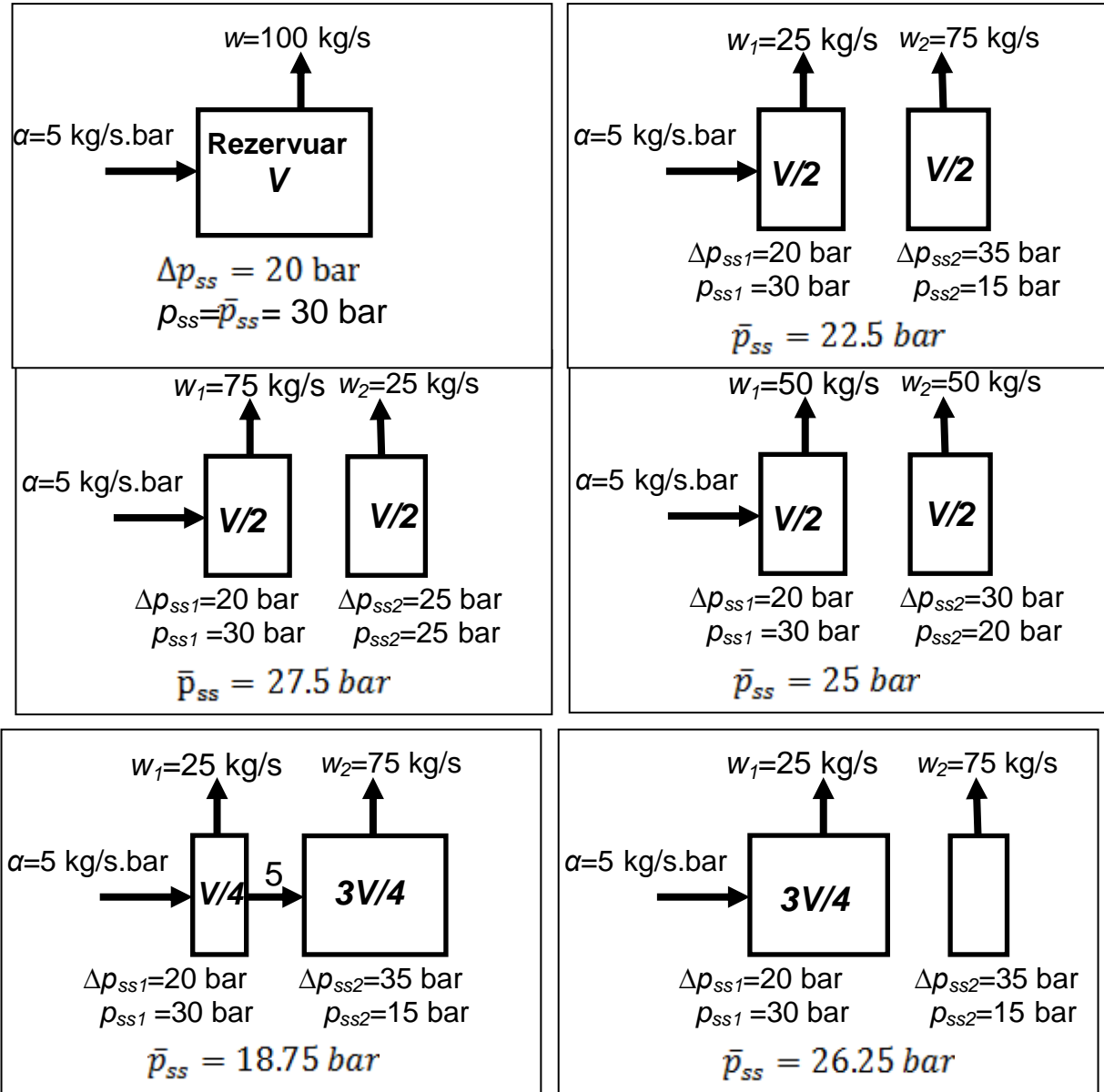
**Şekil 4.** Farklı kombinasyonlardaki rezervuar sistemleri için ortalama rezervuar basıncı cinsinden kararlı-akış basınç düşüm değerleri.

Birleştirilmiş işletme için ve birinci ve ikinci rezervuardan farklı debilerde üretim durumlarını varsayan rekabetçi durum için oluşan kararlı-akış basınç düşüm değerleri ve ortalama rezervuar



basıncı değerleri Şekil 5'te gösterilmektedir. Şekil 5'teki sonuçlar değerlendirildiğinde, beslenmeyle bağlantılı birinci rezervuarın kararlı-akış basınç değerinin ( $p_{ss1}$ ) tüm durumlar için belirli bir değerde (30 bar) sabit kaldığı gözlenmektedir. Fakat, ikinci rezervuarın kararlı-akış basıncı ve ayrıca tüm rezervuar için geçerli ortalama basınç ( $p_{ss2}$  ve  $\bar{p}_{ss}$ ), rezervuardaki hacim paylaşım oranına ( $V_1$ ,  $V_2$ ), rezervuardan yapılan üretim debisi farklılıklarına ( $w_1$ ,  $w_2$ ) ve rezervuarlar-arası beslenme sabitine ( $\alpha_{12}$ ) bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

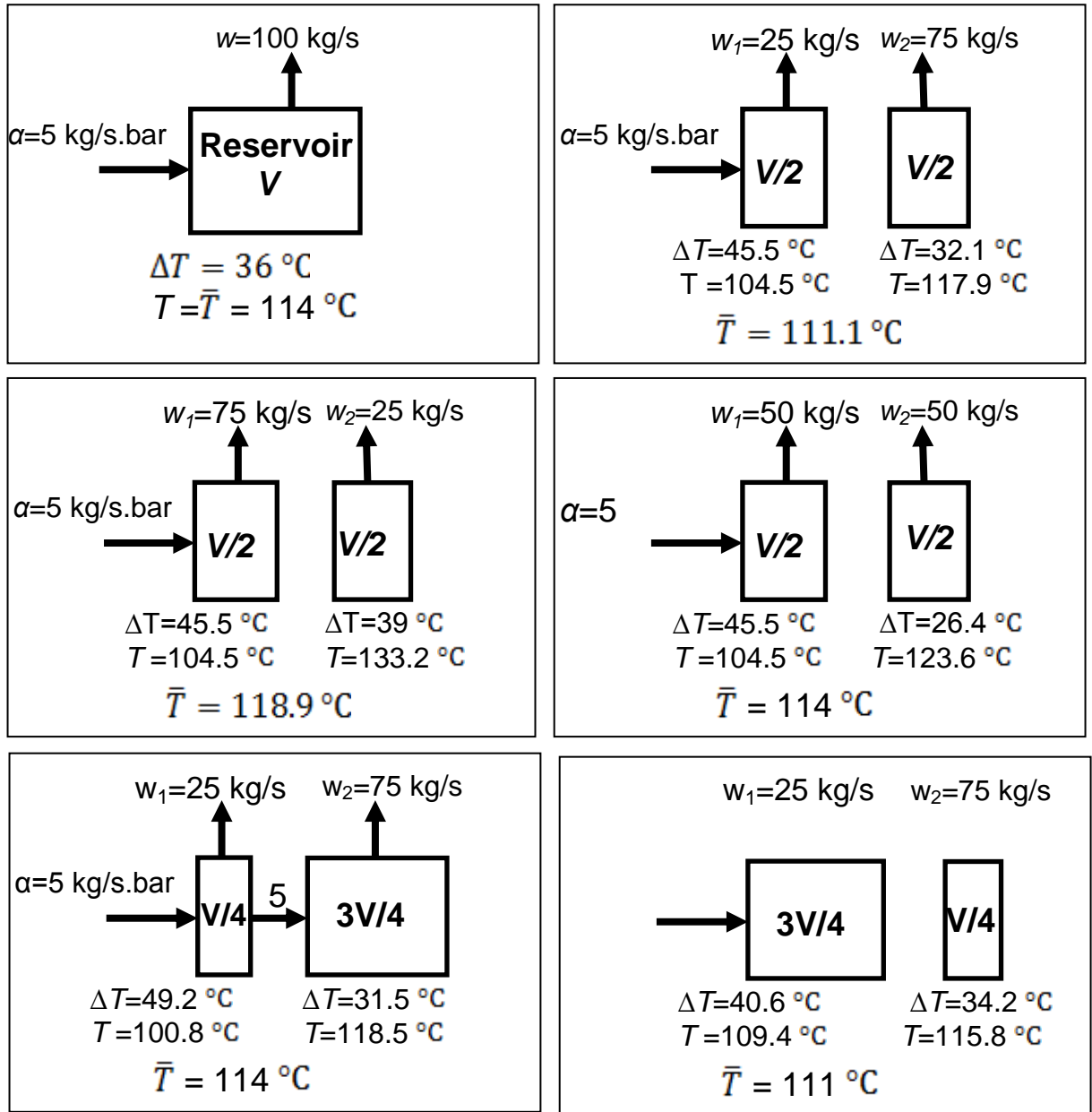
Şekil 5'te sunulan sonuçlar incelendiğinde ve rezervuarlar için geçerli olan  $p_{ss}$  değerleri karşılaştırıldığında, rekabetçi işletme yöntemi durumunda işletmecilerden birinin diğerine göre daha avantajlı durumda olduğu gözlemlenmektedir. Beslenmeyle doğrudan sınırı olan rezervuarda daha az basınç düşümü yaşamaktadır. Bunun yanı sıra esas önemli olan gözlem ise, rekabetçi işletme yönteminde oluşan ortalama rezervuar basıncı değerleri (18.75-27.5 bar) birleştirilmiş işletme yöntemindeki (Tek-Tank Modeli,  $w=100$  kg/s) basınçtan (30 bar) daha düşük kalmaktadır.



Şekil 5. Toplam kütsel debi  $w=w_1+w_2=100$  kg/s,  $p_i=50$  bar, ve  $\alpha=\alpha_{12}=5$  kg/s.bar için kararlı-akış basınç düşümü ve hacimsel ortalama rezervuar basıncı değişimleri.

İşletmeciler 1 ve 2'nin sahip olduğu rezervuarların basınç davranışını analiz ettikten sonra, şimdi de yukarıda tartışılan aynı durumlar için sıcaklık davranışına bakalım. Başlangıçtaki rezervuar sıcaklığı ve rezervuara doğal beslenmeyle giren suyun sıcaklığı bu incelemede farklı varsayılmaktadır. Başlangıçtaki rezervuar sıcaklığı  $150\text{ }^\circ\text{C}$  ve giren suyun sıcaklığı  $100\text{ }^\circ\text{C}$  olarak varsayılmaktadır; bir başka deyişle rezervuara beslenme daha düşük sıcaklıkta suyla sağlanmaktadır.

27 yıllık bir işletme dönemi sonrasında, birleştirilmiş ve rekabetçi işletme yöntemlerinin kullanılması göz önüne alındığında incelenen altı farklı durum için, oluşan sıcaklık düşümleri ve son ortalama sıcaklık değerleri Şekil 6'da gösterilmektedir. Söz konusu modelleme çalışmasında Türeyen vd. [7] modeli kullanılmıştır.



**Şekil 6.** Birleştirilmiş ve rekabetçi işletme yöntemlerinde 27 yıllık işletme sonucunda, toplam üretim debisi  $100\text{ kg/s}$ ,  $p_i=50\text{ bar}$ ,  $\alpha=\alpha_{12}=5\text{ kg/s.bar}$ ,  $T_i=150\text{ }^\circ\text{C}$  ve doğal beslenme sıcaklığı  $100\text{ }^\circ\text{C}$  için oluşan rezervuar sıcaklıkları ve ortalama rezervuar sıcaklıkları.

Şekil 6'da verilen sonuçlar analiz edildiğinde, Şekil 5'te verilen basınç davranışına benzer sonuçlar elde edilmiştir. Rekabetçi işletme yaklaşımında yine bir işletmeci diğerine göre avantaj sağlamaktadır. Doğal beslenmeyle giren suyun sıcaklığı rezervuar sıcaklığından daha düşük olduğundan dolayı, doğal beslenmeye sınırı olan rezervuarda soğuma daha belirgin hale gelmektedir. Ancak bu sonucun, giren su sıcaklığının başlangıçtaki rezervuar sıcaklığından daha düşük olması varsayımından kaynaklandığı unutulmamalıdır. Eğer giren su sıcaklığı başlangıçtaki rezervuar sıcaklığından yüksek olsaydı, tersi sonuç oluşurdu.

Şekil 6'da gösterilen durumlar için hacimsel ortalama sıcaklıklar analiz edildiğinde, tüm rezervuar için geçerli ortalama sıcaklık ( $\bar{T}$ ), rezervuardaki hacim paylaşım oranına ( $V_1, V_2$ ), rezervuardan yapılan üretim debisi farklılıklarına ( $w_1, w_2$ ), başlangıçtaki rezervuar sıcaklığına ( $T_i$ ), doğal beslenmeyle giren su sıcaklığına ( $T_a$ ) ve rezervuarlar-arası beslenme sabitine ( $\alpha_{12}$ ) bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Şekil 5 ve 6'da gösterilen sonuçlar, basıncın kararlı-akışa geçtiği durumdaki son basınçları ve sıcaklığın ise 27 yıllık üretim dönemi sonrasındaki (ve basıncın kararlı-akış davranışına geçtiği durumda) son sıcaklıkları vermektedir. Söz konusu 27 yıllık dönem içinde incelenen durumlar için basınç ve sıcaklığın zamana göre değişimi Şekil 7'de verilmektedir. Şekil 7'de açıkça görüldüğü gibi, rekabetçi işletme yönteminde oluşan basınç ve sıcaklık davranışları birleştirilmiş işletme yöntemindeki basınç ve sıcaklık davranışından farklı olduğu gibi, rekabetçi işletme yönteminde bir işletmecinin diğer işletmeciye göre daha avantajlı olduğu durumlar gündeme gelmektedir.

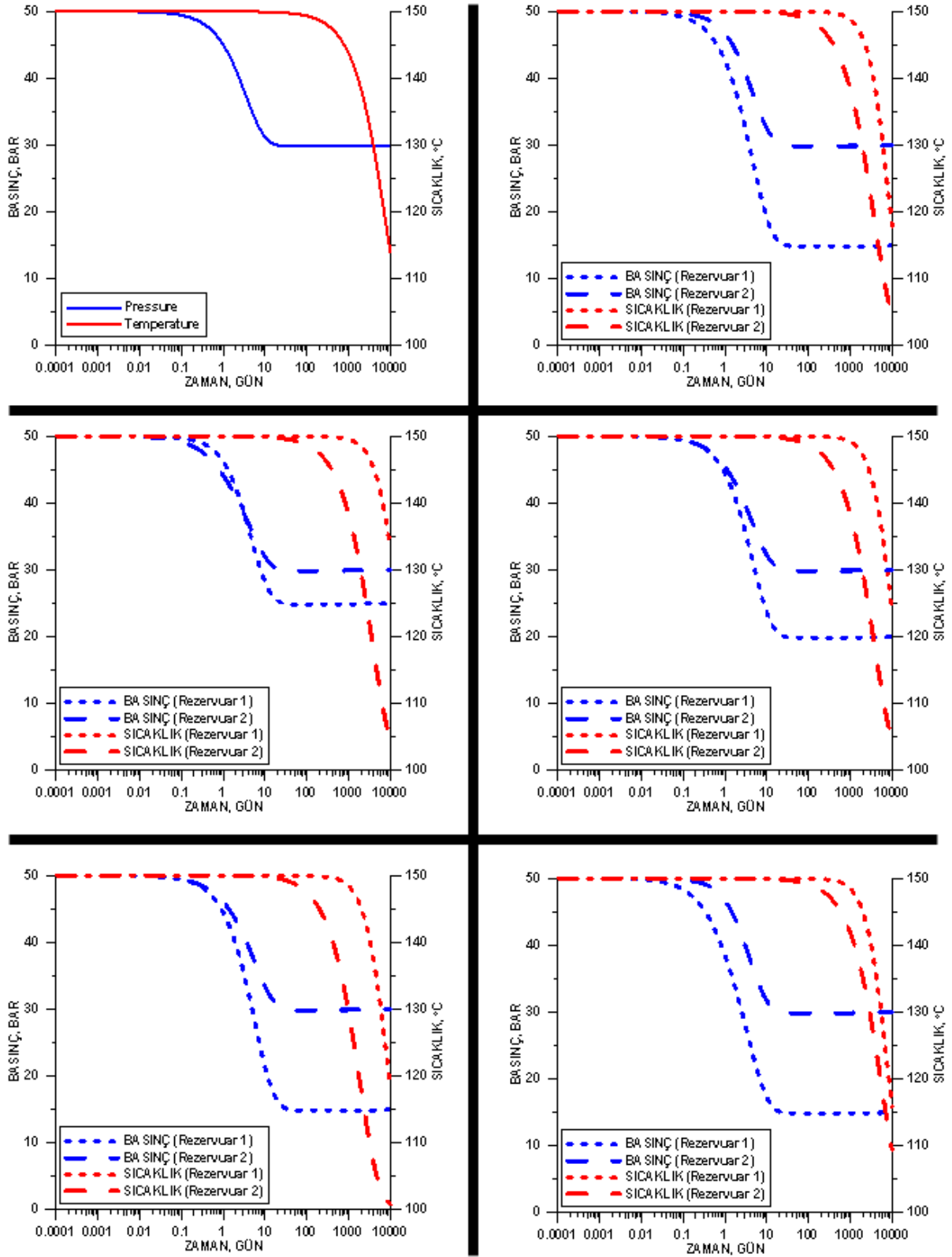
## SONUÇLAR

Yeraltı enerji sistemleri için yapılan analizlerde rezerv, hacim ve sınır tanımlarının önemli belirsizlikler taşıdığı bir gerçektir. Yeraltındaki jeotermal sistem tanımlarının belirsizlikler içerdiği gerçeğinden hareketle, aynı jeotermal kaynağının yeryüzünden koordinatları verilen kısımlarına sahip olan paydaşların çok işletmecili saha işletme yönteminde yeraltının ne kadarına gerçekten sahip olduklarını tayin etmek kolay değildir. Ayrıca yeraltında jeotermal kaynağın bir bütün olarak alınması gerektiği, kaynağın herhangi bir yerinde yapılan üretimin veya reenjeksiyonun yeraltı rezervuarının basınç ve sıcaklık davranışını etkilediği göz önüne alındığında, birleştirilmiş işletme yönteminin rekabetçi işletim yöntemine göre avantajları ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada sunulan analiz, değerlendirme ve görüşler, jeotermal rezervuar özelliklerinin ve davranışının basitleştirilmiş bir yaklaşımla modellenmesi sonucu elde edilmiştir. Dolayısıyla sadece niteliksel değerlendirmelerde ve basit karşılaştırmalarda anlamlıdır. Her jeotermal rezervuarın diğerlerinden farklılıkları olan ayrı bir rezervuar olduğu, bir rezervuar için bulunan modelime sonuçlarının diğerleri için geçerli olmayacağı ve her rezervuarın ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Rezervuarın basınç ve sıcaklık davranışının yanı sıra işletimdeki ekonomik ve yasal koşullar ve kısıtlar birleştirilmiş ve rekabetçi işletme yöntemlerinin karşılaştırılmasında ayrıca dikkate alınmalıdır.

Bu bildiride tartışılan ve ağırlıklı olarak modelleme çalışmasına dayanan önemli sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır:

1. Türkiye'de jeotermal kaynakların işletiminde birleştirme gereksinimi önümüzdeki dönemde önem kazanacak ve gündemi meşgul edecektir.
2. Jeotermal rezervuarlara olan doğal beslenme rezervuarların basınç ve sıcaklık davranışını etkileyen en önemli parametrelerin başında gelmektedir ve dolayısıyla doğal beslenmenin niceliksel ve rezervuara göre geometrik özelliklerinin belirlenmesi özel önem taşımaktadır.
3. Her rekabetçi işletim yöntemi ayrı bir durum olarak değerlendirilmelidir. Doğal beslenme sabiti, rezervuarlar-arası beslenme sabiti ve işletmecilerin rezervuar hacmi ve üretim debisi payları rekabetçi işletim yönteminde bir işletmecinin diğerine göre avantajını tahmin modellemesinde göz önüne alınmalıdır.



**Şekil 7.** Birleştirilmiş ve rekabetçi işletme yöntemlerinde 27 yıllık işletme süresince, toplam üretim debisi 100 kg/s,  $p_i=50$  bar,  $\alpha=\alpha_{12}=5$  kg/s.bar,  $T_i=150^\circ\text{C}$  ve doğal beslenme sıcaklığı  $100^\circ\text{C}$  için oluşan rezervuar basınç ve sıcaklık davranışları.

## KAYNAKLAR

- [1] DAĞISTAN, H., “Türkiye’de Jeotermal Kaynak Potansiyeli, Uygulamalar, Sektörel Gelişim ve 20215 Projeksiyonu”, Jeotermal Kaynaklar Arama ve Uygulamaları Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, 8-9 Kasım, 2012.
- [2] DERMAN, A.B., “Unitization-a mathematical formula to calculate redeterminations”, SPE 85648, 2003.
- [3] ROSE, W., “A unitization strategy of general significance”, SPE 7461, 1976.
- [4] MIHÇAKAN, İ.M., ALTUN, G., SERPEN, U., “Jeotermal Sahalarda Birimleştirme”, X. Ulusal Tesilat Mühendisliği Kongresi, TESKON2011, İzmir, 13-16 Nisan 2011.
- [5] SARAK, H., ONUR, M., SATMAN, A., “New lumped parameter models for low-temperature geothermal fields and their applications”, Geothermics, Vol. 34, 6, Dec. 2005, 728-755.
- [6] SATMAN, A., SARAK, H., ONUR, M., KORKMAZ, E.D., “Modeling of production/reinjection behavior of the Kizildere geothermal field by a two-layer geothermal reservoir lumped-parameter model”, World Geothermal Congress-2005, Antalya, 24-29 April 2005.
- [7] TÜREYEN, O.I. ve AKYAPI, E., “A Generalized Non-Isothermal Tank Model for Liquid Dominated Geothermal Reservoirs”, Geothermics, Vol. 40, 50-57, 2011.
- [8] WORTHINGTON, P.F., “Contemporary challenges in unitization and equity redetermination of petroleum accumulations”, SPE Economics and Management, Jan. 2011, 10-17.
- [9] WORTHINGTON, P.F., “Optimization of equity redeterminations through fit-for-purpose evaluation Procedures”, SPE 147910, 2011.

## ÖZGEÇMİŞ

### Ö. İnanç TÜREYEN

1975 yılında İzmir’in Bornova ilçesinde doğdu. İlkokulu Suudi Arabistan’ın Riyad şehrinde Saudi Arabian International School – Riyadh’da tamamladı. 1986 yılında ortaöğretime başladığı Bornova Anadolu Lisesinden 1992 yılında mezun oldu. İstanbul Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü’nden 1997 yılında lisans ve 2000 yılında yüksek lisans unvanlarını aldı. 2005 yılında Stanford Üniversitesi’nde doktorasını tamamladıktan sonra aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü’nde Yardımcı Doçent Dr. olarak göreve başladı. Halen aynı bölümde öğretim üyeliği görevine devam etmektedir. 2008 yılından beri İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölüm başkan yardımcılığını sürdürmektedir. Lisans, yüksek lisans ve doktora seviyelerinde verdiği dersler arasında rezervuar mühendisliği, kuyu testleri analizi, petrol ve doğal gaz laboratuvarı, rezervuar karakterizasyonu, rezervuar mühendisliğinde optimizasyon yöntemleri yer almaktadır. İlgi duyduğu araştırma alanları arasında petrol ve jeotermal rezervuarlarının karakterizasyonu için tarihsel çakıştırma, kuyu testi analizleri, jeostatistiksel karakterizasyon, izotermal olmayan akış simülasyonu ve doğal gazın yeraltında depolanması konuları yer almaktadır. Ömer İnanç Türeyen’in Petrol Mühendisleri Odasına ve Society of Petroleum Engineers kuruluşuna üyelikleri bulunmaktadır.

### Abdurrahman SATMAN

İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Petrol Mühendisliği Bölümü’nden Mart 1973’te Y. Mühendis olarak mezun oldu. Milli Eğitim Bakanlığı bursunu kazanarak gittiği Amerika Birleşik Devletleri’ndeki Stanford Üniversitesi Petrol Mühendisliği Bölümü’nden Master ve Doktora derecelerini aldı. Aynı üniversitede Yardımcı Profesör ve Doktora Sonrası Araştırmacı olarak çalıştıktan sonra Türkiye’ye döndü. Temmuz 1980’den itibaren de İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü’nde çalışmaktadır. Eylül 1985 ve Eylül 1987 tarihleri arasında Suudi Arabistan’daki King Fahd University of Petroleum and Minerals’a bağlı Research Institute’te araştırmalar yaptı. Şubat 1989’da Profesör oldu. Mayıs 2005-Ocak 2009 arasında İTÜ Enerji Enstitüsü Müdürü olarak görev yaptı. İlgi alanları arasında; petrol, doğalgaz, jeotermal ve enerji mühendisliğinin değişik konuları yer almaktadır. Yurtiçi ve yurtdışında bilimsel dergilerde yayınlanmış veya bilimsel toplantılarda sunulmuş 200’e yakın çalışması ve ikisini kendisinin tek yazar olarak yazdığı 3 kitabı vardır. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology’de editör olarak görev yapmaktadır.