

VERİ ARAÇLARI VE ONLARIN GEYSER JEOTERMAL SAHASINA UYGULANMASI⁽¹⁾

M. Ali KHAN
Rich ESTABROOK

ÖZET

Büyük jeotermal veri-takımlarını sayısal olarak herhangi bir boyuta indirgemeyi sağlayan, Microsoft Excel temelli (uygulamalar için Visual Basic kullanılarak) veri azaltma ve görüntüleme araçları geliştirilmiştir. Veriler, çalışmaya izin vermek üzere ötelenebilir ve grafik olarak çizilebilir. Büyük veri takımlarını analiz kabiliyeti, algılanmakta zorluk çekilen saha yönetim işlemlerine yanıtlar getirirler. Debi azalimleri, enjeksiyona tepki, kızgın-ısının gelişimi, kayıt cihazları sorunları ve veri tutarsızlıkları çabuk olarak algılanabilir ve grafik olarak gösterilebilir. Burada biz, Geysers jeotermal sahasındaki verilere bu yöntemin uygulanmasını gösteriyoruz. Biz, veri azaltma tekniklerinin petrol, gaz ve kuyu logları verileri gibi başka uygulamalarda bile faydalı olduğunu düşünüyoruz. Bu yöntemlerin bir kopyası yazarlardan talep edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Veri setlerinin azaltılması, jeotermal saha.

ABSTRACT

Microsoft Excel based (using Visual Basic for Applications) data-reduction and visualization tools have been developed that enable the user to numerically reduce large sets of geothermal data to any size. The data can be quickly sifted and graphed to allow their study. The ability to analyze large data sets can yield responses to field management procedures that would otherwise be undetectable. Field-wide trends such as decline rates, response to injection, evolution of superheat, recording instrumentation problems and data inconsistencies can be quickly queried and graphed. Here we demonstrate the application of these tools to data from The Geysers Geothermal field. We believe these data-reduction tools will also be useful in other applications, such as oil and gas field data, and well log data

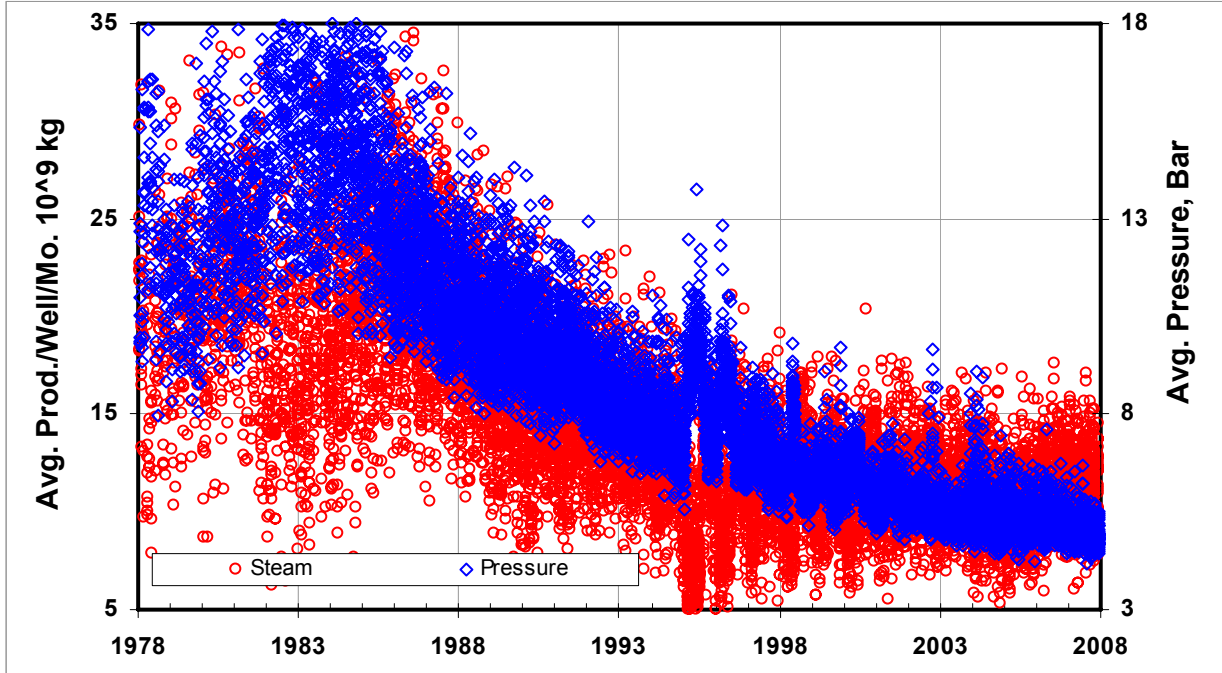
Key Words: Data sets reduction, geothermal field.

1. GİRİŞ

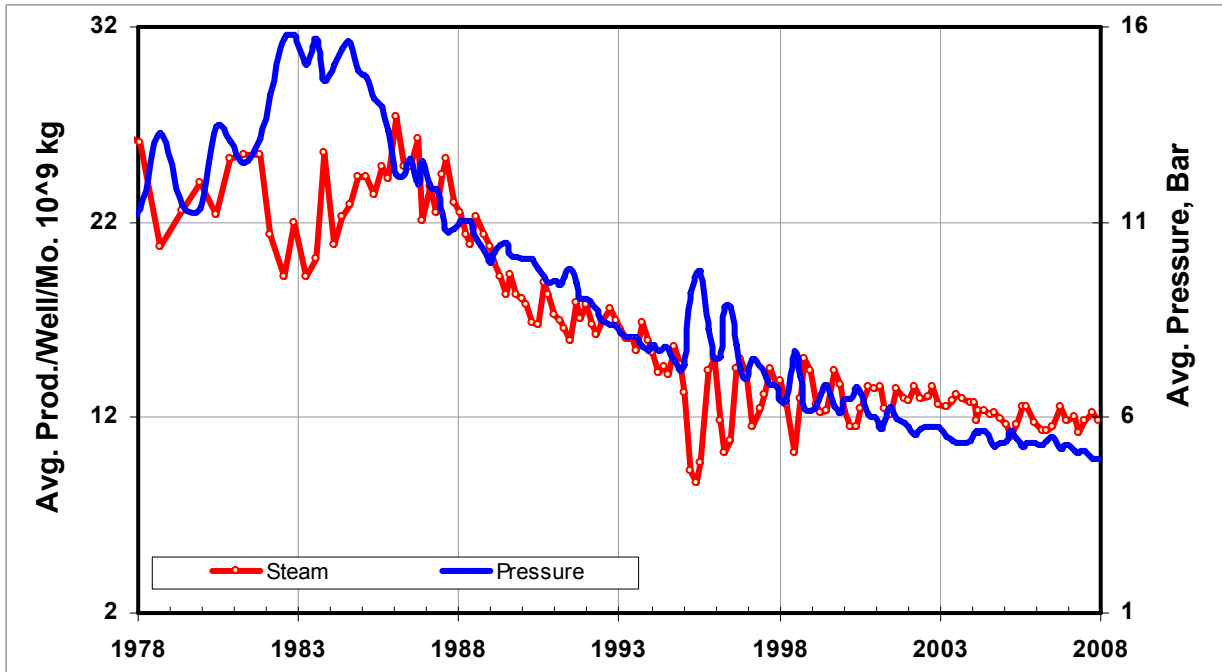
Kaliforniya Koruma Departmanı'nın Petrol, Gaz ve Jeotermal Kaynaklar Bölümü (DOGGR) ve ABD Arazi Yönetimi Bürosu (BLM) Kaliforniya'daki petrol, gaz ve jeotermal kuyu işletmecilerinden aylık üretim, enjeksiyon ve ilgili verileri almaktadır. Bu verilerin çoğu gizli olmayıp,DOGGR web sitesinden (<http://www.conservation.ca.gov/>) bulunabilir. Verileri görüntü haline getirebilmek için Microsoft Excel temelli güçlü araçlar geliştirilmiş olup, doğrudan ya da kişisel kullanımlara göre uyarlanarak kullanılabilir. Bunlar: (1) veri gruplarını kolayca düzenler ve alabilirler, (2) veri takımlarını anlamlı boyutlara indirgerler ve (3) verileri grafik olarak sunarlar. Bu araçların yardımıyla kullanıcı verileri farklı şekillerde çabucak ve kolayca gözden geçirebilir. Veri gidişatları ve farklılaşmalar onları ayırt etmek için daha görünür hale gelirler.

* Çeviri: Ümran SERPEN

Saha çapında ortalama üretim ve ortalama kuyubaşı basıncı 6:1 oranda küçültülmüş olarak Şekil 1'de çizilmiştir. Yorumlanacak çok nokta vardır. Bununla birlikte, aynı veriler 1050:1 oranında uygun bir şekilde küçültülmüş (Şekil 2), açık bir girişat ve kullanılabilir bilgi ortaya çıkmıştır.



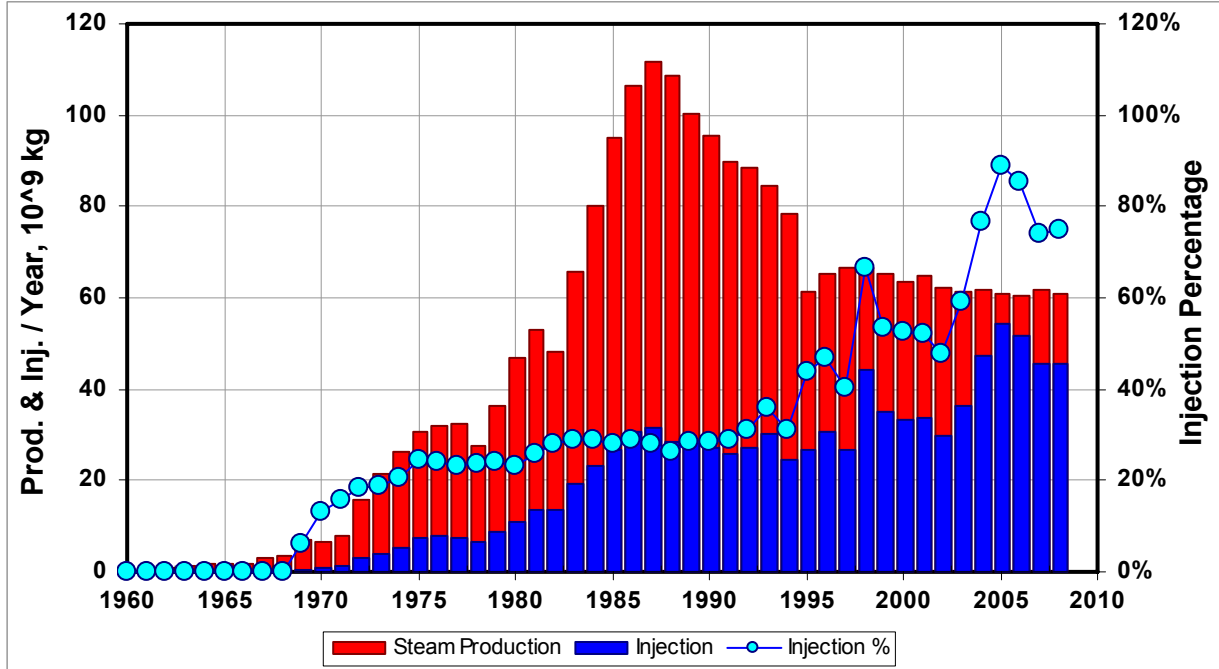
Şekil 1. Geysers. Saha Bütünü İçin Ortalama Üretim ve Ortalama Enjeksiyona Karşın Zaman 6:1 Küçültülmüş.



Şekil 2. Geysers Saha Bütünü İçin Ortalama Aylık Üretim Debileri ve Ortalama Kuyubaşı Akış Basınçları.

2. GEYSERS'İN KISA HİKÂYESİ

Geysers sahası, ABD Kaliforniya' daki San Fransisko kentinin 70 mil kuzeyinde olup, 1960 yılında 12 MW'lık bir santral ile üretime geçmiştir. Sahanın gelişimi 1979-1989 yılları arasında hızlanırken sahada kuyubaşı akış basıncındaki azalma 1984 yılından itibaren başlamıştır. Yeni kuyuların delinmesine ve kurulu kapasitenin artırılmasına rağmen, buhar üretimi 1987'de 112 milyar kg ile en üst seviyeye çıkmıştır. Geysers'de 1976'dan 1980'e kadar, soğutma kulelerinden kurtarılan miktardaki kitlesel yerine koyma (akışkan reenjeksiyonu) debisi %24 civarındaydı.



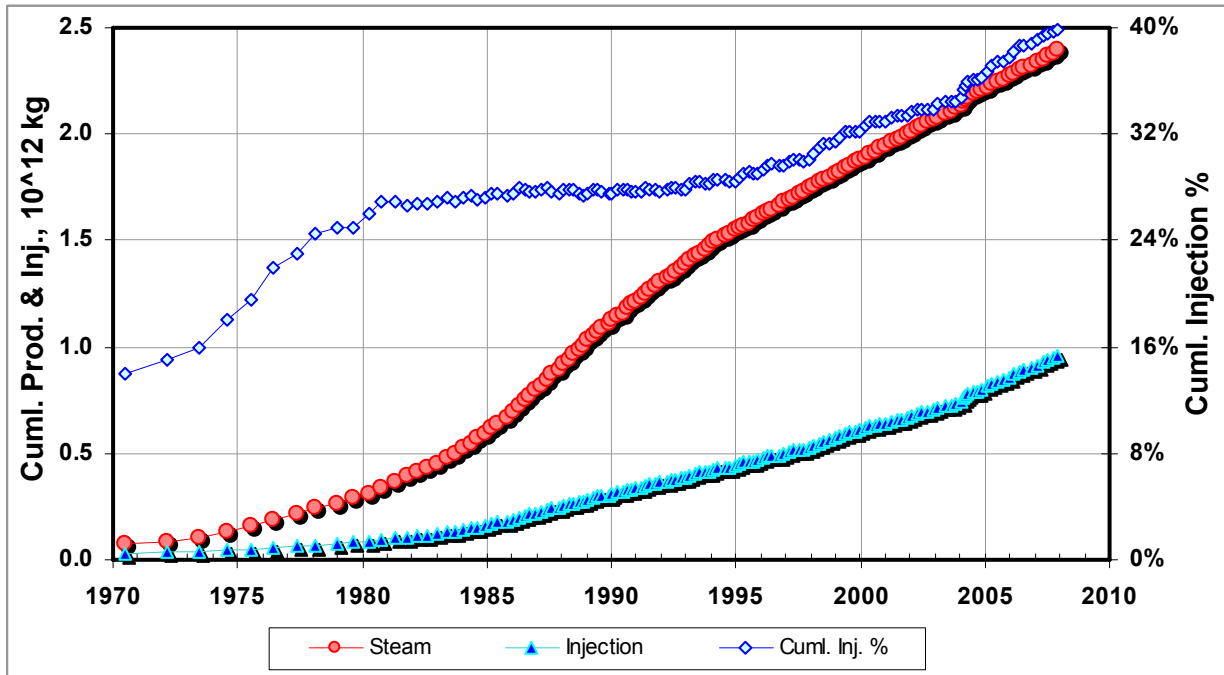
Şekil 3. Geysers Sahası Yıllık Buhar Üretimi, Enjeksiyon Debisi ve Kütlesel Yerine Koyma Yüzdesi.

1980'den 1993'e akarsu ve dereler kullanıldı ve bundan ötürü kitlesel yerine koyma %28'e yükseldi. Buhar azalması sonunda ve 1997'den sonra eklenen Lake County boru hattı enjeksiyonu dolayısıyla, kitlesel yerine koyma %55'e yükseldi (Şekil 4). Lake County şehrinin 42 km'lik boru hattı ayda 1.05 milyon kg işlenmiş atık suyu Geysers'e, ek buhar oluşturan enjeksiyon için taşımaktadır.

Santa Rosa ve diğer Sonoma Bölgesi belediyelerinden 1.25 milyon kg/ay işlenmiş atık su ek boru hattı 2003 aralık ayında işlemeye başladı. Her iki boru hattından ve diğer kaynaklardan sağlanan bugünkü kütlesel yerine koyma yaklaşık %80 civarındadır[1]. Bu buhar üretiminde sürdürülebilir bir artış, yoğunlaşmayan gaz üretiminde azalma, daha iyi elektrik üretim verimliliği ve havaya daha düşük emisyon sonucunu doğurmuştur. Geysers, dünyadaki en büyük ısı madenciliği işletmesi haline gelmiştir. Aralık 2008'e kadar, Geysers 2394 milyar kg buharı üretmiş (Şekil 5) ve 954 milyar kg akışkanı enjekte etmiş olup, bunun sonucundaki kitlesel yerine koyma %39.9'dur.



Şekil 4. Geysers Jeotermal Sahası.



Şekil 5. Geysers Sahasının Bütününde Kümülatif Üretim, Kümülatif Enjeksiyon ve Kümülatif Net Kitlesel Yerine Koyma.

3. VERİ SETLERİ

DOGGR web sitesi vasıtasıyla işletmeci şirketlerin dosyalaması gereken petrol, gaz ve jeotermal kuyularının aylık kuyu raporlarını açmakta ve korumaktadır. Atık ve gözlem kuyuları gibileri de bunlara eklenmektedir. Jeotermal kuyular için aylık üretim, enjeksiyon ve kuyubaşı basınçları (daha çok akış basınçları), sıcaklık, anlık üretim ve enjeksiyon debileri, kuyu durumları ve kuyu tipi bilgileri saklanmaktadır. Kuyu adı, kuyu kimlik numarası (API) ve kuyu lokasyonu da verilmektedir. DOGGR web sitesinde veri takımının detaylı bir tanımına erişilebilir. İşletmeciler tarafından sunulan veriler sayısal sınırlamalara karşı kontrol edilir ve veritabanına yerleştirilir.

4. ARAÇLAR

Geysers sahası veritabanında bir milyondan fazla noktasal veri vardır. Bu kadar büyük sayıdaki veri, bir sahayı gösteren bir grafik herhangi bir anlamlı gidişatı temsil etmek için bile aşırı kalabalıktır (Şekil 1). Yalnız bir grafik yapılırsa bile, tekrarlanan analizler için değişen veri noktaları çok karmaşık ve yavaştır. Bundan ötürü, veri işlemini iyileştirmek için bir alet takımı geliştirildi ve Geysers sahasından örneklerle sunulmaktadır. Tüm bu bilgisayar araçları için Microsoft Excel önde giden bir çalışma platformudur. Veriler Microsoft Access'ten veya benzer bir veri tabanından alınmaktadır. Bu araçlardan bazıları Access ve Excel içindeki elle yapılan işlemler olarak bulunabilir, fakat otomasyon verilerin değişik yollarla analizini daha kolay ve hızlı yapılmasını sağlamaktadır. Veriler işlendiğinde, bütünüyle yepyeni bir anlam kazanmaktadır.

Üç esas alet bileşen takip edilmektedir:

4.1. Veri Girişi

Excel makro temelli diyalog kutusu bir Microsoft Access veri tabanı kullanarak, önceden belirlenmiş soru temelli veri gruplarını otomatik olarak almaktadır. Bu sorgular değişen gereksinimlere uyarlanmak üzere tadil edilebilirler. Diğer bir seçenek, veri azaltan aletler için veriyi çalışma alanına kopyalayıp yapıştırmaktır.

4.2. Veri Azaltma

Genel olarak; yıl, ay, fiziksel sınırlar, belli bir kuyu vb. veri takımları içindeki varolan kriterleri kullanarak büyük veri takımları azaltılabilir. Burada verilen veri azaltma tekniği herhangi böyle bir kriter gereksinim duymaz; basit ama güçlüdür. Kullanıcı herhangi bir sayısal veri azaltma oranı kullanmayı seçebilir. Örneğin, eğer bir kullanıcı 100:1 gibi bir veri azaltma oranı seçerse, program herbir sonraki 100 veri noktasında işlem yapar ve tek bir veri noktasına azaltır. Herbir azaltma grubu için veri takımı, veri tablosu başından itibaren, en son değerine kadar sırasıyla seçilir. Veri azaltma işlemine başlamadan önce kullanıcı veri tablosunu gerektiği gibi gruplandırır. Geysers için, biz veri tablosunu yıl, ay ve rastgele sayı olarak gruplandırdık. Bu, herhangi bir tarafa meyletmeksizin, veri tablosunu gruplandırır. Bazen, sıralanan veri takımları uygun düşerse, rastgele faktörün girmesi verinin gereksiz yere dağılmasına katkıda bulunur. Kullanıcı tek veri noktalarının nasıl üretildiğini seçebilir. Bu seçenekler: bir ortalama, bazı en yüksek ve en düşük değerleri ihmal eden bir ortalama, toplama, biriktirme (kümülatif), "median", "mode" ve en yüksek veya en düşük sayı gibidir.

Kriter olarak geleneksel veri azaltma ile karşılaştırıldığında bazı sonuçlar sıra dışı görünebilir. Örneğin, eğer veri ortalama veya kümülatif olarak azaltılıyorsa, sonuçlar normal veri azaltma tekniklerine benzer olacaktır; fakat eğer azaltma toplayarak yapılırsa, sonuç toplamları büyük veri azaltma oranıyla daha büyük değerler verecektir.

Her bir aracın “Help” yardım menüsünde detaylı talimatlar sağlanmıştır. Otomasyonu maksimize etmek için özel bir dikkat gerekir; böylece kullanıcı en kısa zamanda mümkün olan en çok farklı kombinasyonları işleme sokabilir.

4.3. Veri Grafikleme

Yukarıda bahsedilen veri azaltmanın grafik gösterimi de otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Kullanıcı çabuk grafikleme, karşılaştırma, sapmanın düzeltilmesi ve eğri çakıştırma için veri takımlarının farklı kombinasyonlarını kolayca ve çabuk değiştirebilir.

5. VARSAYIMLAR

Böyle büyük bir veri takımını analiz ederken, ölçülen verilerdeki ölçüm belirsizliklerinin etkileri ve rastgele değişimler azalma eğilimindedir. Küçük değişimlerin yokluğunda, büyük değişimler daha göze çarpan ve gerçek olaylarla ilişkili hale gelir. Yazarlar verinin “aggregate” analizinin faydasını gözlemişlerdir[2,3]. Bununla birlikte enstrüman ve ölçüm hataları büyük veri takımları kullanılarak elimine edilemezler ve düzeltilmedikçe hatalı sonuçlara götürürler. Eski bir söz olan “çöp içeri-çöp dışarı” söylemi burada her hangi bir hesaplama yöntemi için çok doğrudur.

Bu araçlarla üretilen veri noktaları her bir tek noktanın ağırlığı veya görelî lokasyonu dikkate alınmaksızın tamamen matematikselidir. Bununla birlikte, veri gruplarını oluşturmak için bireysel kuyuların mantıksal seçimi anlamlı sonuçlar doğurur. Bu tür matematiksel ortalama kullanarak ve düzeltilmemiş verileri kullanarak verileri analiz ederken kullanıcı görelî sonuçları somut veri noktalarına bağlamadıkça, sonuçlar genel ve somuttan çok görelî olmalıdır.

Bu bildiride, kuyubaşı verileri kuyudibi verilerine göre düzeltilmeden kullanılmıştır. Bu halka açık verilerin kullanılması nedeniyledir. Diğer bilgiler kullanılsaydı bile, birçok belirsizlikler nedeniyle, veri kalitesine anlamlı bir şey eklemeyecekti[4]. Bu, buhar kuyu içinde akarken oluşan ısı kaybı, üretim debisi diğer kuyularla bağlantı ve kayıt cihazlarının yerleşimi etkisini de içermektedir.

Geysers’de basınç verisi tipik olarak akış-ölçerlerin parçası olan ve çoğu akış kontrol vanalarının mansap (akış-altı) tarafında olan transmitter’lerden gelmektedir. Bundan ötürü, kaydedilen basınçlar rezervuar performansı dışındaki faktörler tarafından etkilenmektedirler. Boru-hattı sürtünme basınç kayıpları, diğer kuyular (birçok kuyu birbirine bağlıdır) ve santral giriş basınçlarının hepsi kaydedilen basıncı etkiler.

Bu bildirinin amacı Geysers verilerinin yorumlanmasını sağlamak değildir, fakat, gerçek hayatta bu veri azaltma aletlerinin kullanılmasının bazı örneklerinin sunulmasıdır.

6. SONUÇLAR

6.1. Saha Sonuçları

Şekil 2, Geysers sahasında aylık kuyu başına ortalama buhar üretimi ve bütün kuyular (700 kadar) için kuyubaşı basınçları grafik olarak gösterilmektedir. Azalma oranı 1050:1’de biz 137000 veri noktasını saha başına 131’e yoğunlaştırdık ve onları bu grafikte gösterdik. Bu çalışmada gösterilen basınçlar akış basınçları varsayılmaktadır. Fakat kuyular kapatıldığı veya kısıldığı zaman, rapor edilen akış basınçları kapama basınçlarına yaklaşmaktadır. Böyle bir büyük veri azalmasına ve sahanın farklı yerlerinde değişen koşullara rağmen basınç-üretim arasındaki ters ilişki ve diğer saha koşulları açık bir şekilde görünmektedir. Bir sebep, bu 700 kuyunun çoğunun birbirine bağlı olmasıdır; bundan ötürü, kaydedilen kuyubaşı akış basınçları belli bir yere kadar zaten ortalananmıştır. Diğer muhtemel sebep,

çok kırıklanmış Geysers jeotermal rezervuarı tipik bir petrol ve gaz kuyusundan daha çok kuyular arası iletişimi kolaylaştırmaktadır..

Şekil 2'de saha boyunca oluşan değişimlerin bazıları aşağıda verilmektedir:

Periyod-1'de (1960-1969), ortalama üretim debileri ve ortalama basınçlar çok salınmaktadırlar. Bu, birçok yeni kuyunun başlangıçta kapanması (yani, basınç artışı), fakat sonra yeni bir santral devreye alınınca, üretime alınması (ani basınç düşümü) sonucunda oluşmuştur.

Periyod-2'de (1970-1986), saha gelişiminin çoğu tamamlanmış ve görece olarak kararlı buhar üretimi ve enjeksiyon korunmaktadır.. Bazı basınç salınımları kuyuların kısılması dolayısıyla görülmektedir.

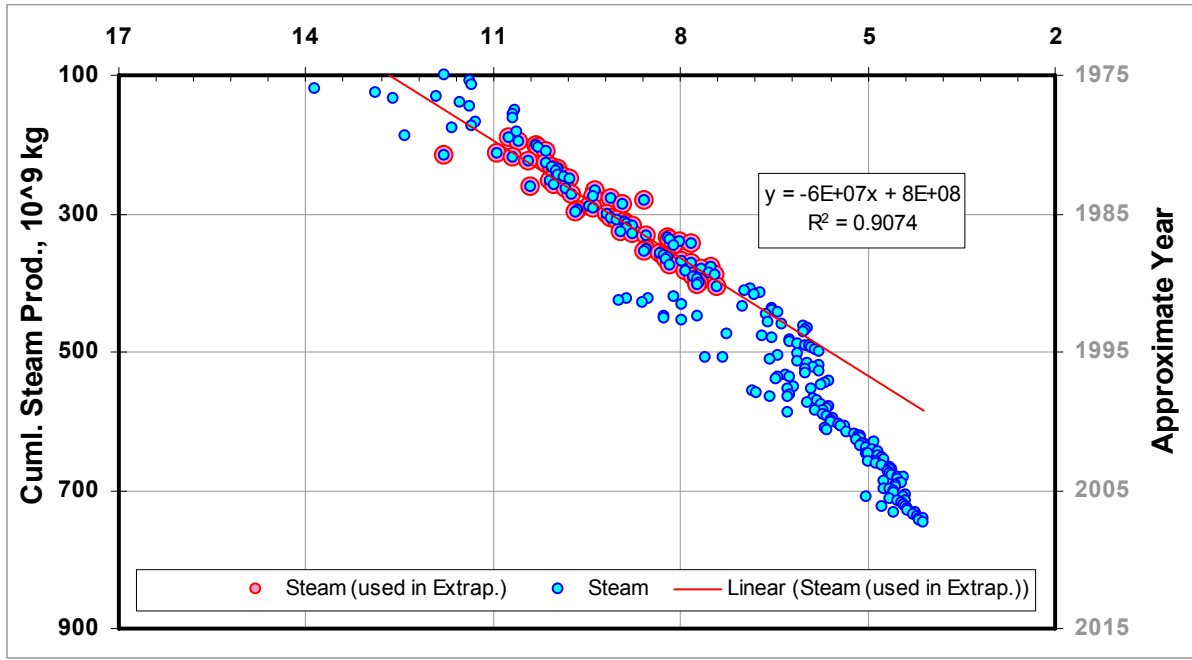
Periyod-3 (1987-1996), üretim ve basınç çok kararlı bir azalıda, çünkü kuyuların çoğu açık vana pozisyonunda üretmektedir. Sahanın 48 yıllık tarihi boyunca bu en dengeli koşuldur ve dolayısıyla azalım eğri çakıştırma için en uygun periyottur.

Periyod-4 (1995-2008) büyük değişikliklerle karakterize olmaktadır. 1995-1997 kışlarında önemli üretim kısıntıları satış anlaşmalarından kaynaklanmıştır. Eylül-1997'de Lake County boru hattının işletmeye açılmasıyla, kütleli yerine koyma %55'e arttı (Şekil 3 ve 4). Aralık 2003'te Santa Rosa boru hattından ek suyun enjeksiyonuyla kütleli yerine koyma %80'e çıktı. 1998 yılından beri, basınç düşümü değişmezken, kuyu başına üretim debisi sabit kaldı. Bu ek üretim ek enjeksiyona atfedilmiştir.

6.2. Güneydoğu Geysers Sonuçları

Güneydoğu Geysers alanı 1997 Eylül'den beri Lake County'den getirilen aylık 1.05 milyon kg ek akışkanın enjeksiyonundan en çok etkilenen yer olarak tanımlanmıştır. Bu kütleli yerine koymayı %30'dan %70'e arttırmıştır. Geysers'in bu kısmında 152 üretim ve 28 enjeksiyon kuyusu bulunmaktadır.

Şekil 6 Güneydoğu Geysers sahasının ortalama kuyubaşı akış basıncı ve kümülatif buhar üretiminin (200:1 azaltma) çapraz grafiğidir. Yıl 1985'ten 1997'ye kadar kütleli yerine koymanın %29-33 olduğu zamanlar ilişkisi doğrusaldır (Şekil 7). Bu doğrusal ilişki, veri azaltma aletleriyle ortalamanın bir göstergesi olarak kendini göstermemektedir, çünkü Geysers'de birçok kuyu benzer doğrusal ilişkiye sahiptir. Bu doğrusal ilişki esas olarak basınç başına buhar üretiminin azalma oranını tanımlıyor[5]. Analitik bir açıklama olmaksızın böyle bir ilişki ampirik azalma eğrisi denklemlerine benzemektedir. Bu azalma eğrileri, extrapolasyonun sağlıklı bir tahminini ve rezervuar ve saha parametreleri değişmedikçe kestirim yapma imkanı sağlamaktadır. Normalize edilmiş buhar üretimi ile kümülatif buhar üretiminin tersi arasında, kuruma periyodunun başlangıcında sona eren, doğrusal bir ilişki rapor edilmektedir[6]. Eylül 1997'den başlayarak kütleli yerine koyma %70'e yükselmiştir. Bunun sonucunda 1998'den 2001'e kadar basınca karşın kümülatif üretim gidişatı (Şekil 6), basınç azalımının düştüğünü gösteren, dikeye yakın bir gidiş almıştır. 2001'den sonra rezervuar tekrar doymuş hale gelirken gidişat orijinal azalma oranına geri döner görülmektedir.



Şekil 6. Güneydoğu Geysers Sahası. Kuyubaşı Akış Basıncı ve Toplam Buhar Üretimi İlişkisi.

Şekil 6'daki grafikte azalma oranı gidişatını daha görünür kılmak için, kümülatif üretimi y eksenine ve p'yi (p/z yerine) x eksenine çizerek geleneksel yaklaşımı ihlal ettik.

Geysir'de $1,440 \times 10^9$ kg'lık kitleli çıkarımla ve bilinen anlamlı bir doğal akışkan beslenmesi olmaksızın, 48 yıllık üretimin arkasından, rezervuar basıncı 500 psi'dan 80 psi'a düşmüştür[8]. Sahanın çoğu belli bir dereceye kadar kızma (superheat) göstermiştir. Düşen basınç ve kızma başarılı enjeksiyon stratejileri için bir kriter olarak kullanılmıştır[8]. Reyes and Horne [9], yerel olarak hareketli buhar üretildiği (buhar ve yoğuşmayan gazlar) ve hareketsiz suyun buharlaştığı Geysers'de kurutma durumunu tanımlamışlardır. Böylece, kızma esas olarak rezervuarın nasıl kurduğunun ölçüsü olmakta ve ayrıca, rezervuara enjekte edilen suyun buharlaşması için ne kadar artık ısı bulunduğunun göstergesi olmaktadır. Bu buharlaşan su çok hareketli olabilir ve basınç düşen yere (üretim kuyusuna) doğru akar. Bundan ötürü, düşük kızgınlıkta (doymuşluğa yakın) olan bir rezervuar, enjekte edilen suyun önemli bir kısmını buharlaştıracak ısıya sahip değildir.

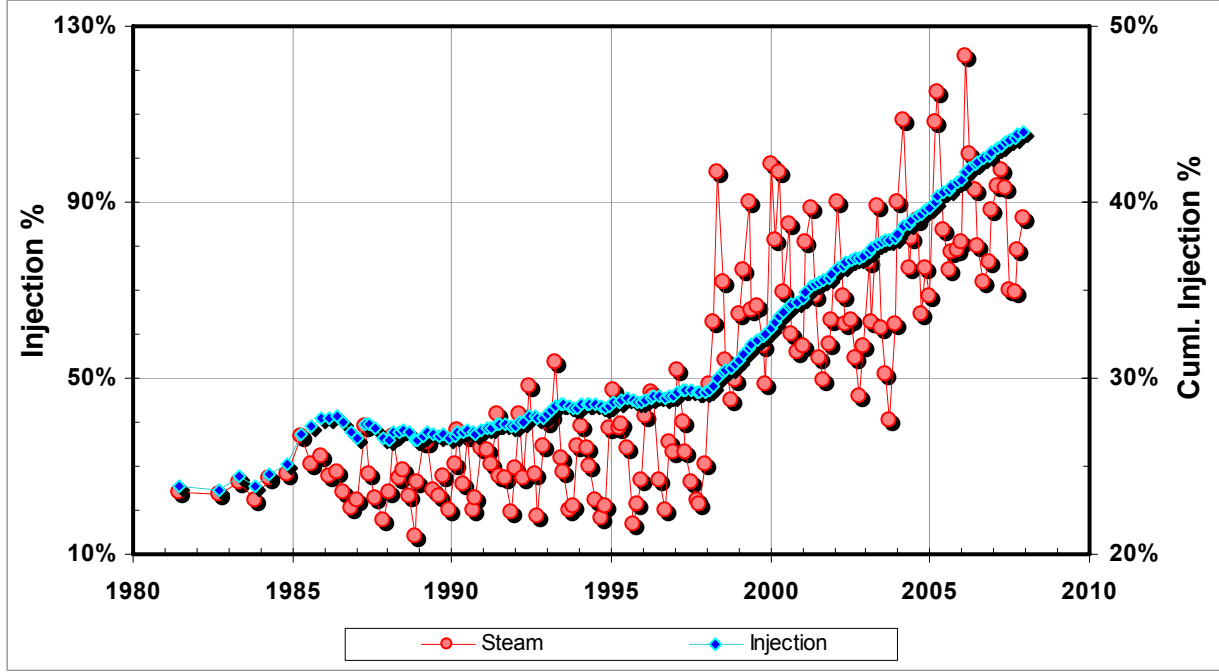
7. TUZAKLAR

Herhangi bir istatistik yöntemde olduğu gibi, kullanıcı gruplandırıldığı bilgilerin tipi ve veriyi nasıl azaltacağı konusunda dikkatli olmalıdır. İlgisiz gruplar, yanlış veri azaltma kriterleri, konu dışı istatistikle gruplama veya anlamsız istatistik geçerli görünen sonuçlar verebilir, fakat onların geçerliliği gerekli değildir.

Sonuçları etkileyecek diğer bir faktör de azaltma başlamadan önce verinin sıralanmasıdır. Şimdiki veri azaltma tekniği kayıt sayısına doğru taraftır. Bu konuda daha çok seçenek üzerinde çalışıyoruz.

8. PETROL VE GAZ İÇİN KULLANIMI

Jeotermal verilere ek olarak veri azaltma yöntemleri petrol, gaz ve diğer veri takımlarına uygulanabilirler.



Şekil 7. Southeast Geysers Area. Injection History

TARTIŞMA

Burada sunulan ve Geyser verileriyle test edilen veri azaltma aletleri büyük miktardaki verilerle sağlıklı bir şekilde kullanılabilir. Kullanıcı herhangi bir tek kuyu kombinasyonunu, veya veri takımı oluşturacak grupları seçebilir ve görüntülenecek kadar bilgiyi azaltabilir. Doğal olarak, herhangi bir azaltma aletinde olduğu gibi, kullanıcı ne tip bir bilginin gruplandığı ve veri azaltmanın nasıl yapılacağı konusunda dikkatli olmalıdır. İlgisiz gruplar ve yanlış veri azaltma kriteri geçerli görünen sonuçlar verebilir, fakat onların anlamlı olması gerekmez. Sonuçları etkileyen diğer bir faktör, veri azaltmadan önceki veri sıralamasıdır. Şimdiki veri azaltma tekniği kayıt sayısına doğru taraftır. Gelecekteki çabalarımız bu taraflılığı elimine etmek için diğer seçeneklerin sağlanması yönünde olacaktır. Bu veri azaltma tekniğinin olumlu ve olumsuz yönlerini açıkladıktan sonra, bizim kanımızca doğru çabayla, bu teknik, veriden anlamlı bir şeyler çıkarmak için sonsuz imkanlar yaratmaktadır. Ek olarak, veri azaltmadan önce hangi alanın (kolon) sıralandığı, bu işleme daha çok boyut eklemektedir. Biz veri azaltma aletlerinin petrol, gaz ve kuyu logu verileri gibi yerlerde faydalı olarak uygulanabileceğine inanıyoruz.

Okuyucular yazarlardan bu yazılımları temin edebilir ve sonuçlarını paylaşabilirler.

KATKI BELİRTME

Bu projeye birçok meslekdaşımızın emeği geçti. LBNL'den M. Lippmann; Calpine'dan K.Goyal, A.Pingol ve M. Stark'a, NCPA'dan Steve Enedy'ye, EPA'dan G. Robin'e; DOGGR'den G. Robin of EPA; E. Johnson ve L. Tabilio'ya; ve yardımları için P. Akhtar'a özellikle teşekkür ederiz. Bu makalenin yayınlanmasına izin verdikleri için DOGGR ve BLM'ye de teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] STARK, M. A., et al., "Santa Rosa—Geysers Recharge Project, Geysers Geothermal Field, California, USA." Proceedings of the World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, 2005.
- [2] BARKER, B.J. and A.S. Pingol, "Geysers Reservoir Performance—an Update." Proceedings of the Twenty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford Univ., 1997.
- [3] KHAN, M. A., "Historical Data Aids Search for Oil." American Assoc. of Petroleum Geologists-Explorer, v. 14 , 1993.
- [4] GOYAL, K.P., and T.W. Box, "Geysers Performance Update Through 2002," Proceedings of the Twenty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford Univ., 2004.
- [5] KHAN, M. A., "A New Computer Program for Geothermal Decline Curve Analyses." Geothermal Resources Council Transaction, v. 22, 1998.
- [6] REYES, J.L.P., K. Li, and R.N. Horne, "A New Decline Curve Analysis Method Applied to The Geysers." Proceedings of the Twenty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford Univ., 2004.
- [7] BEALL, J.J., M.C. Adams, and J.L. Smith, "Geysers Reservoir Dry Out and Partial Restoration Evidenced by Twenty-Five Years of Tracer Tests." Geothermal Resources Council Transaction, v. 25, 2001.
- [8] ENEDY, K.L., "Downhole Enthalpy and Superheat Evolution of Geysers Steam Wells." Geothermal Resources Council Transaction, v.13, 1989.
- [9] REYES, J.L.P., and R.N. Horne, "Inferred Water Saturation in The Geysers Based on Well Performance Data." Proceedings of the Twenty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford Univ., 2003.

ÖZGEÇMİŞ

M. Ali KHAN

M. Ali Khan Kaliforniya eyaleti, Petrol, Gaz ve Jeotermal Kaynaklar Bölümü, Çevre Koruma Birimi'nde görevlidir. Jeotermal sondaj, üretim ve enjeksiyon işlemlerini denetler, teknik verileri dağıtır ve kamu sağlığı ve güvenliği ile ilgili toplantıları destekler. Khan maden mühendisliğinde lisans ve yüksek lisans, jeoloji mühendisliğinde yüksek lisans derecelerini Ortadoğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ)'den aldı. 30 yıldır ABD, Pakistan, Almanya ve Türkiye'de petrol, gaz ve jeotermal sektöründe çalışmaktadır. Kariyerinin başlangıcında, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Ankara'da çalıştı. Master derecesinden sonra, Wintershall AG'de Pakistan'da deniz sondajlarında ve Almaya Barnstorf'da çalıştı. Daha sonra Gulf Coast firmasının Amerika operasyonlar müdürü oldu. Son 16 yıldır kuzey Kaliforniya'daki Geysers sahasında çalışmaktadır. M. Ali Khan Amerikan Petrol Jeologları Derneği, Gulf Coast bölümü "En iyi Makale" ve "Petrol ve Gaz Aramada Yeni Fikirler" "Leverson" ödülü ile Kaliforniya Çevre Koruma Bölümü "Üstün Başarı Ödülü" sahibidir.

Richard ESTABROOK

Lisans, Petrol Mühendisliği, Montana Tech, 1984. 1984-Devam ediyor: Kuzey Kaliforniya, Oregon ve New Mexico'da federal jeotermal operasyonların izlenmesi ve ruhsatlarından sorumludur. Ayrıca, ulusal BLM (Birleşik Devletler Arazi Yönetim Bürosu)'de doğal gaz ölçümlerinde çalışmaktadır.

DATA REDUCTION TOOLS AND THEIR APPLICATION TO THE GEYSERS GEOTHERMAL FIELD

M. Ali KHAN
Rich ESTABROOK

ABSTRACT

Microsoft Excel based (using Visual Basic for Applications) data-reduction and visualization tools have been developed that enable the user to numerically reduce large sets of geothermal data to any size. The data can be quickly sifted and graphed to allow their study. The ability to analyze large data sets can yield responses to field management procedures that would otherwise be undetectable. Field-wide trends such as decline rates, response to injection, evolution of superheat, recording instrumentation problems and data inconsistencies can be quickly queried and graphed. Here we demonstrate the application of these tools to data from The Geysers Geothermal field. We believe these data-reduction tools will also be useful in other applications, such as oil and gas field data, and well log data. A copy of these tools may be requested by contacting the authors.i.

Keywords: Data sets reduction, geothermal field.

1. INTRODUCTION

The California Department of Conservation, Division of Oil, Gas, and Geothermal Resources (DOGGR), and the US Bureau of Land Management (BLM) receive monthly production, injection, and related data from operators of oil, gas, and geothermal wells in California. Most of these data are non-confidential and available through the DOGGR website (<http://www.conservation.ca.gov/>). For data visualization, very powerful Microsoft Excel based tools have been developed that may either be used directly or easily modified to fit individual needs. They may be used to: 1) easily organize and retrieve data-groups, 2) reduce large data sets to meaningful sizes, and 3) graphically present the data. With the help of these tools the user can quickly and easily review data in many different ways. Data trends, as well as discrepancies, become more visible and easier to discern.

In Figure 1, field-wide average production and average wellhead pressure, reduced at a rate of 6:1, are plotted. There are just too many points to interpret. However, when the same data are "appropriately reduced," in this case 1050:1, (Figure 2) a clear trend and useful information emerges (details are discussed in section 6.1).

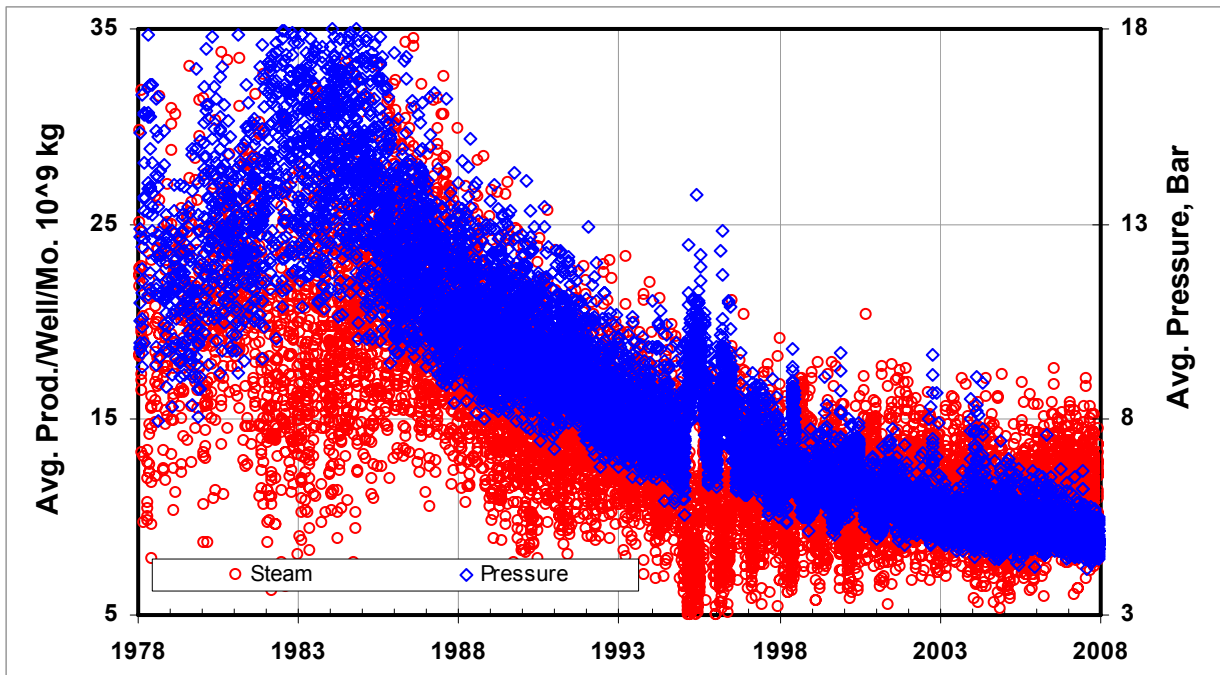


Figure 1. The Geysers. Field-Wide Average Production And Average Injection vs. Time, Reduced At 6:1.

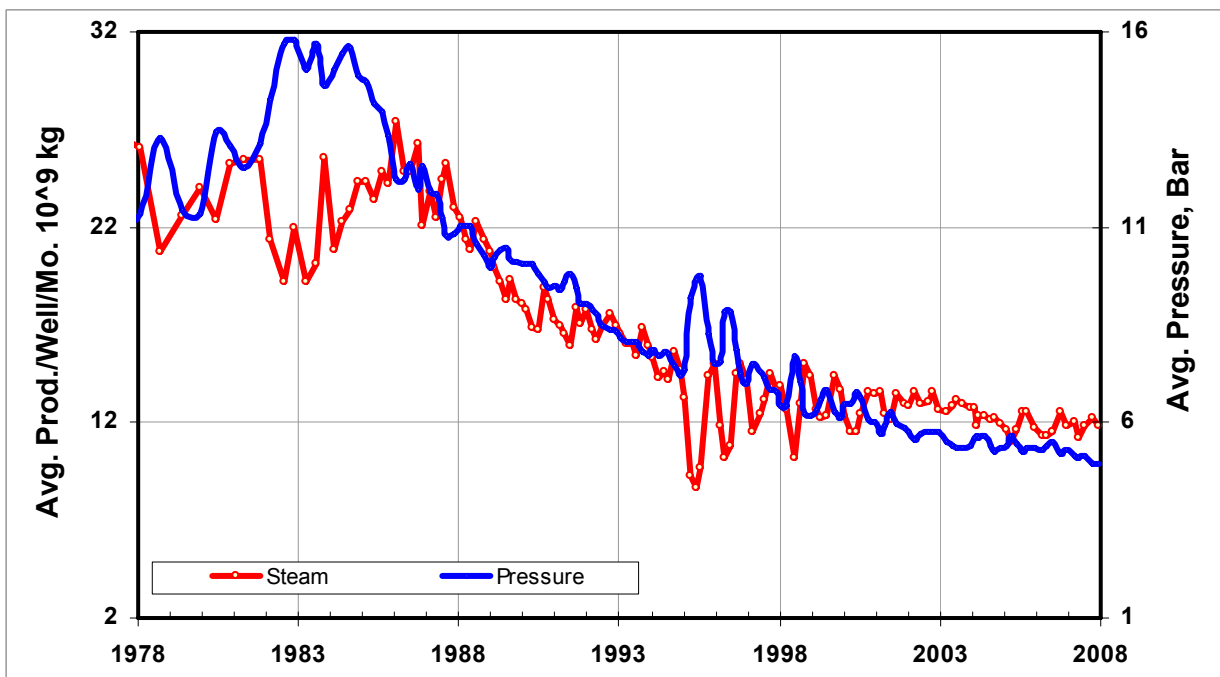


Figure 2. The Geysers. Field-Wide Average Monthly Production Rates Per Well Month, And Average Wellhead Flowing Pressures.

2. A BRIEF HISTORY OF THE GEYSERS

The Geysers Geothermal field, which is located about 70 miles north of San Francisco, California, USA, started production in 1960 with a 12 MW power plant. The field development picked up at a rapid pace from 1979 through 1989, although wellhead flowing pressure started showing a decline by 1984. Despite the drilling of new wells and an increase in installed capacity, the steam production peaked at 112 billion kg in 1987 (Figure 3). From 1976 through 1980 the mass replacement rate (i.e., the fluid re-injection rate) was about 24%, which is approximately the cooling tower recovery at The Geysers.

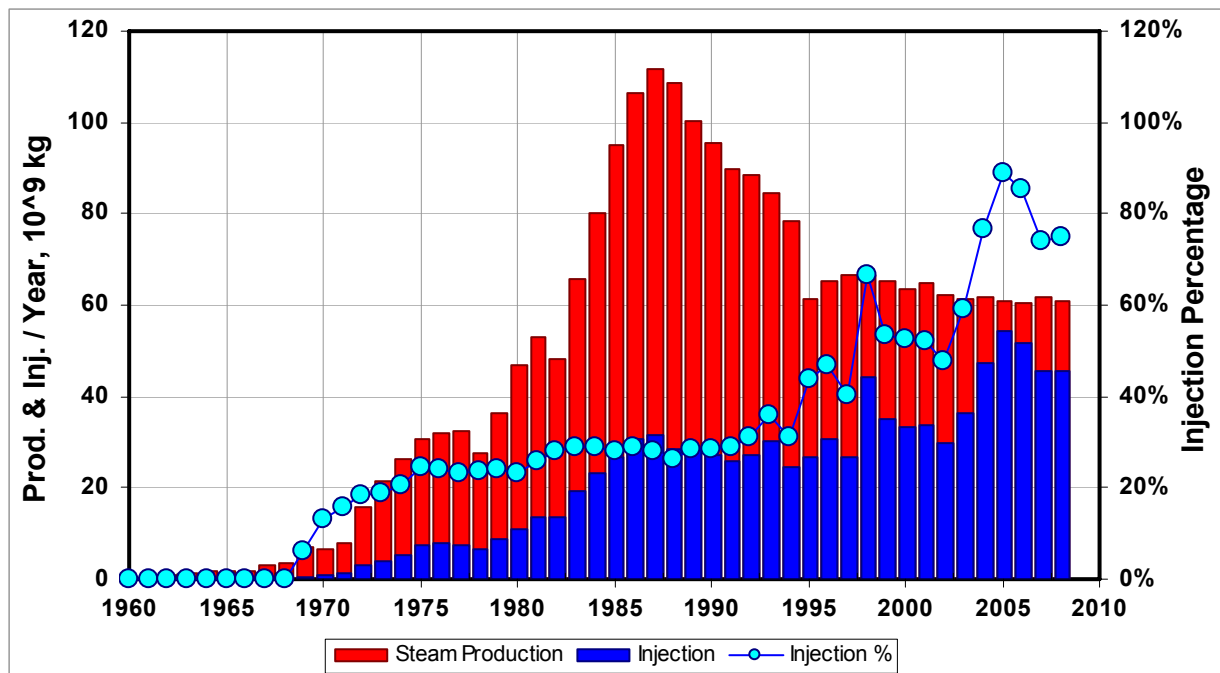


Figure 3. The Geysers Yearly Steam Production, And Injection Rates And Mass Replacement Percentages.

From 1980 through 1993, streams and creeks were tapped, thereby increasing the mass replacement rate to about 28%. From 1995 through 1997, the mass replacement increased to about 55%, due to major steam curtailments, and from 1997 onward due to additional Lake County pipeline injection (Figure 4). The Lake County 42-km pipeline transports about 1.05 million kg of secondary treated effluent per month to The Geysers for injection, which results in additional steam.

An additional pipeline bringing 1.25 million kg month of tertiary treated effluent per month from Santa Rosa and other municipalities in Sonoma County began operation in December 2003. The current mass replacement from both pipelines and other sources is about 80% of production [1]. This has resulted in a sustained increase in steam production, decrease in non-condensable gases, improved electric generation efficiency, and lower air emissions. The Geysers has become the largest heat mining operation in the world. By December 2008, The Geysers had produced 2,394 billion kg of steam (Figure 5), and injected 954 billion kg of fluids, resulting in a net mass replacement of 39.9%.



Figure 4. The Geysers Geothermal Field.

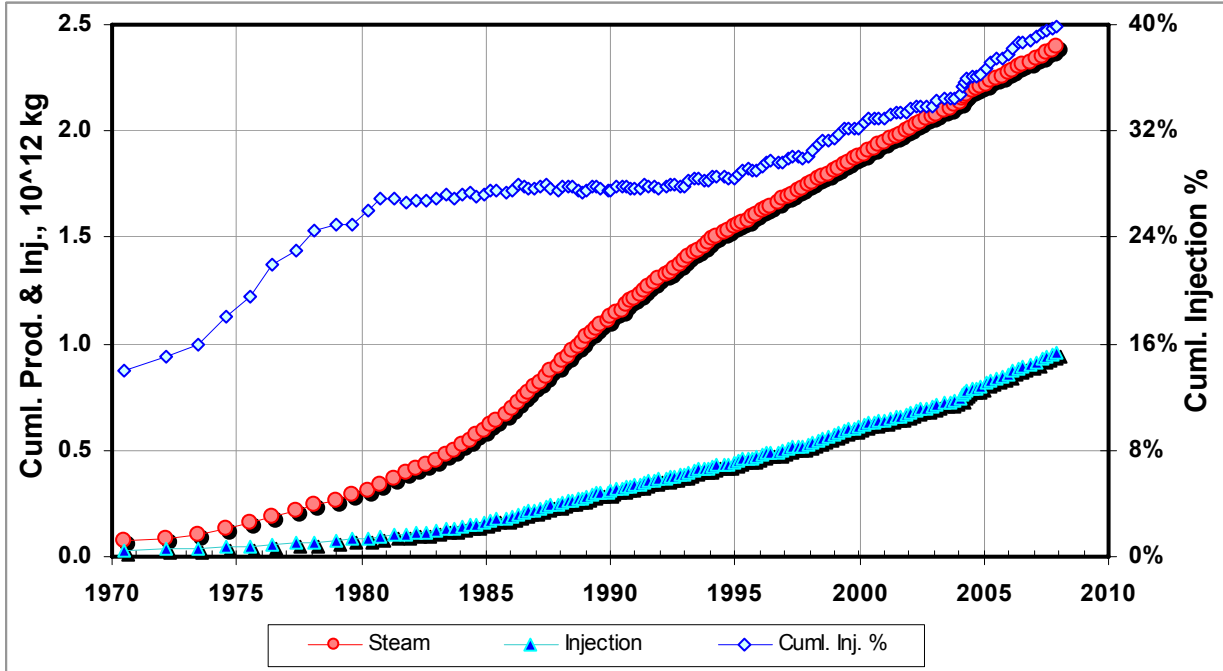


Figure 5. The Geysers Field-Wide Cumulative Production, Cumulative Injection And Cumulative Net Mass Replacement.

3. THE DATA SETS

DOGGR maintains and makes available through its website the monthly well reports that operating companies are required to file for oil, gas, and geothermal wells. Other related wells such as disposal and observation wells are also included. For geothermal wells, these data consist of monthly production, injection, wellhead pressure (mostly flowing pressure), temperature, instantaneous production and injection rates, well status and well type. Well name, well identification numbers (API), and well location are also available. A detailed description of the data set may be accessed at the DOGGR website. Data submitted by the operators are checked against a set of numerical constraints, and appended into in a protected database.

4. THE TOOLS

There are over one million data-points in The Geysers field database. With such a large number of data-points, a graph showing even one field is too crowded to indicate any meaningful trend (Figure 1). Even when a graph is generated, changing data-points for repeated analysis is cumbersome and slow. Therefore, to improve the data processing, a set of tools was developed and is presented here with examples from The Geysers field. Microsoft Excel is the front-end working platform for all these computer tools. The data may be imported seamlessly from Microsoft Access or a similar database. Some of these tools are available as manual operations within Access and Excel, but automation has made it easier and faster to analyze the data in many different ways. Once the process is automated the data take on a whole new meaning.

Following are the three main tool components

4.1. Data-Access

An Excel macro-based dialog box uses a Microsoft Access database to automatically retrieve data-groups based on pre-defined queries. These queries can easily be modified to suit changing needs, or link to different database environments. Another option is to copy and paste data into the working area for data-reduction tools.

4.2. Data-Reduction

Generally, large data-sets are reduced by using existing criteria within the data set such as year, month, a physical boundary, a certain well, etc. The data-reduction technique provided here needs no such criteria—and is simple, yet powerful. The user may choose any numerical data-reduction rate. For example, if the user chooses the data-reduction rate of 100:1, the program processes each consecutive group of 100 data points and reduces it to a single data-point. The data set for each reduction-group is selected sequentially from the top of the data-table to the last value at the bottom. Prior to applying data-reduction, the user may pre-sort the data-table as needed. For The Geysers, we pre-sorted the data-table by year, month, and a random number. This sorted the data-table into an in-time sequence without any other bias. In certain instances, introducing the random factor may have contributed to the unnecessary scatter of data, when sequential data-sets may have been more appropriate. The user can choose how the single data-points are generated. Some of the choices include: an average, an average ignoring some highest and lowest values, summation, cumulative, median, mode, and largest or smallest number.

When compared to traditional data-reduction by criteria, some results may appear to be unusual. For example, if data are reduced by selecting average or cumulative, the results will be similar to the normal data-reduction techniques, but if reducing by “summing,” the resulting sums will yield higher values with a larger data-reduction rate.

Detailed instructions are provided in the Help menu of each tool. Special care has been taken to maximize the automation, so the user can run as many different combinations as possible in the shortest amount of time.

4.3. Data-Graphing

The graphical representation of the above-mentioned reduced-data has also been automated. The user can easily and quickly change different combinations of data sets for graphing, comparison, offset realignment and curve fitting.

5. ASSUMPTIONS

When analyzing such a large data set, the effect of measurement uncertainties and random variations in the data measured tends to be minimized. In the absence of smaller variations, the larger variations become more conspicuous and relatable to the actual events. Authors also observed this benefit of "aggregate analysis" of data [2,3]. However, instrument and measurement bias will not be minimized when using a large data set, and unless corrected, can lead to erroneous conclusions. The old adage of "garbage in – garbage out" is just as true here as with any computational tool.

Data-points generated by these tools are purely mathematical with no regard to the "relative location" or "weight" of each individual point. However, logical selection of individual wells to form data-groups will produce meaningful results. When analyzing data using this kind of mathematical "averaging," and using "un-corrected" data, conclusions should be general and relative rather than absolute, unless the user can tie these relative conclusions to some corrected data points.

Throughout this paper, wellhead data are used without any correction as to the downhole reservoir conditions. This is mainly because only publicly available data were used. Even if other information were used, it may not have significantly added to the data quality due to many uncertainties [4]. These include: influence of heat losses as steam travels through the borehole, production rate, cross-ties to other wells, and placement of recording gauges.

At The Geysers, pressure data typically comes from transmitters that are part of the flow meter, most of which are downstream of the flow control valve. Therefore, recorded pressures are influenced by factors other than reservoir performance. Pipeline frictional losses, other wells (most wells are cross-tied), and power plant inlet pressures can all influence the recorded pressure.

The objective of this paper is not to provide an interpretation of The Geysers data or future forecasting, but to present some examples of using these data-reduction tools with real life data.

6. RESULTS

6.1. Field Wide Results

In Figure 2, average steam production per well per month and average wellhead pressure for all wells (about 700) are plotted for The Geysers field. At a reduction rate of 1050:1, we condensed 137,000 data-points per field-column to a mere 131 records per field and plotted them on this graph. The pressures used in the study are supposed to be flowing pressures, but when the wells are shut-in or throttled, the reported flowing pressure may approach shut-in pressures. Despite such drastic data reduction and varied conditions in different parts of the field, an inverse relationship of production to pressure and certain other field-wide conditions are clearly visible. One reason is that most of these 700 wells are cross-tied; therefore, the recorded wellhead flowing pressures are already "averaged" to

some extent. Another possible reason is that the highly fractured Geysers geothermal reservoir facilitates more communication between wells than a typical oil and gas reservoir.

Following are some of the field-wide changes observed in Figure 2.

During Period-1 (1960-1969), average production rates and average pressures are fluctuating immensely. This is the result of many new wells initially shut-in (i.e., pressure increases), but later brought into production (i.e., sudden pressure drop) when a new power plant comes on line.

During Period-2 (1970-1986), most of the field development is complete and a relatively steady steam production and injection is maintained. Some fluctuation of pressures is visible as a result of well-throttling (Barker and Pingol, 1997).

During Period-3 (0987-1996), production and pressure have the steadiest decline, because the majority of the wells are producing at open valve conditions. Throughout the 48-year history of the field, this may be the most stable condition, and hence the most suitable period for decline-curve fitting.

Period-4 (1995-2008) is characterized by huge changes. During the winters of 1995-1997, major production curtailments resulted from sale-agreement conditions. By September 1997, mass replacement increased to about 55% as the Lake County pipeline began operation (Figures 3 and 4). By December 2003, mass replacement increased to about 80% as additional water was being injected from the Santa Rosa pipeline. Since 1998, the production rate per well has remained almost constant, while the pressure decline has remained unchanged. This “additional” production is attributed to the additional injection.

6.2. Southeast Geysers Results

The Southeast Geysers area is loosely defined as the one most affected by the injection of an additional 1.05 million kg of fluids per month brought in by the Lake County pipeline since September 1997. This increased the mass replacement from about 30% to 70%. There are about 152 production and 28 injection wells in this part of The Geysers.

Figure 6 is a cross-plot of the average wellhead flowing pressures and cumulative steam production (reduced at 200:1) for the Southeast Geysers area. The relationship is linear from about 1985 through 1997—when mass replacement was in the range of 29% to 33% (Figure 7). This linear relationship does not seem to be a manifestation of any averaging by the data reduction-tools, as many wells in The Geysers exhibit a similar linear relationship. This linear relationship essentially describes the steam production per pressure decline rate. Without an analytical explanation, such a relationship is analogous to empirical decline-curve equations that can give a viable estimate of extrapolation and forecasting as long as the reservoir and field parameters remain unchanged. Reyes et. al. (2004) [6] reported a linear relationship between normalized steam production rates and reciprocal cumulative steam production, which according to the authors, ends at the start of the dry-out period. Starting in September 1997, the mass replacement increased to about 70%. As a result, from about 1998 through 2001, the pressure vs. cumulative production trend (Figure 6) takes on almost a vertical trend, indicating a lessening of the pressure decline rate. From about 2001 onward, as the reservoir re-saturates, the trend seems to be reverting to the original decline rate.

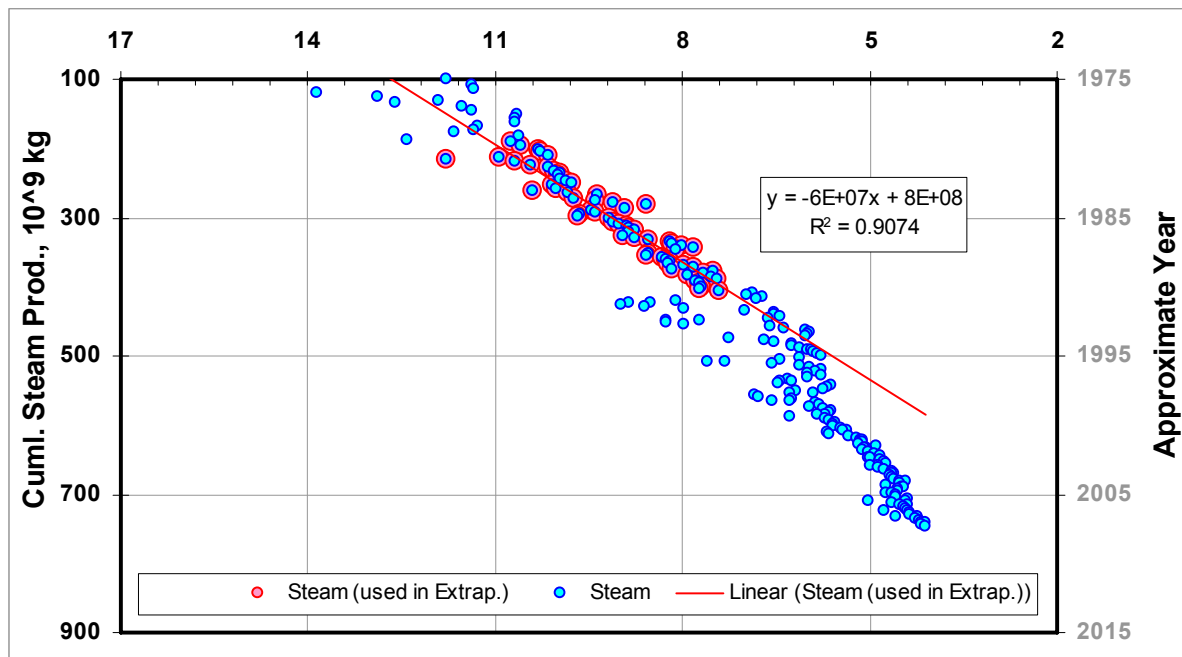


Figure 6. Southeast Geysers Area. Cross-Plot Of Wellhead Flowing Pressures And Cumulative Steam Production.

We broke with tradition in the Figure 6 graph by plotting cumulative production on the y-axis and p (instead of p/z) on the x-axis, making the decline-rate trend easy to distinguish.

At The Geysers, after 48 years of production, with net mass extraction of $1,440 \times 10^9$ kg, and no known significant natural fluid recharge[7], the reservoir pressure has declined from about 500 psi to about 80 psi. Most of the field has seen some degree of superheat. Reduced pressures and increased superheathave been used as criteria for successful injection strategies[8]. Reyes and Horne (2003) [9], described the dry-out state at The Geysers, where locally the mobile vapors (i.e. steam and non-condensable gases) have been produced, and immobile water has been boiled. Thus, the superheat is essentially a measure of how "dry" the reservoir is, which in turn is an indicator of how much excess heat is available to flash the water that is injected into the reservoir. This boiled water would be highly mobile and rapidly flow toward the pressure sink (production well). Consequently, a reservoir with a low superheat (i.e., near saturation) would not have enough heat available to boil a significant fraction of the injected water.

7. PITFALLS

As is the case with any statistical tool, the user must be careful with what type of information is grouped and how the data are reduced. Unrelated groups, wrong selection of data-reduction criteria, grouping with statistical irrelevance, or statistical insignificance may give "viable looking" results, but they may not necessarily be valid.

Another factor that will influence the results is the sorting of the data before data reduction begins. The current data-reduction technique is biased toward the number of records. We are working to provide more options in that regard.

8. OIL & GAS USES

In addition to geothermal data, the data reduction tools are applicable to oil and gas and other data sets.

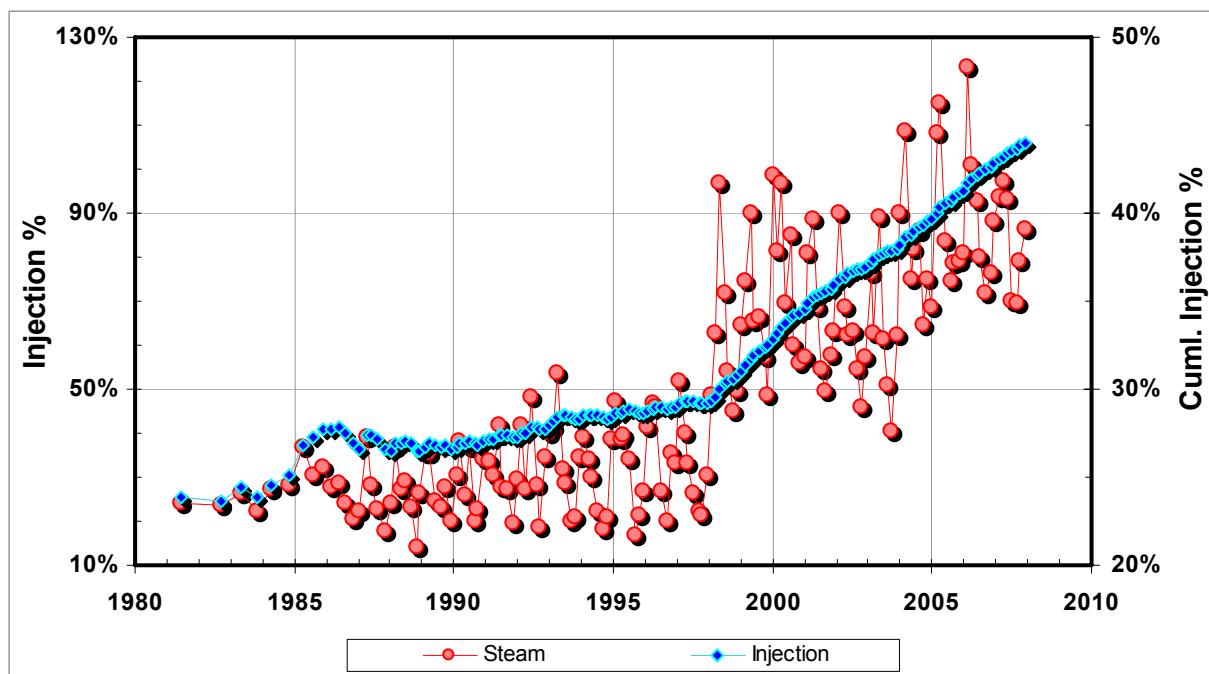


Figure 7. Southeast Geysers Area. Injection History.

CONCLUSIONS

The data-reduction tools presented here and tested with The Geysers data are simple, yet viable tools that can be used to rapidly shift through large amounts of data. The user can select any combination of single wells, or groups to form data sets and reduce them until just the right amount of information may be visualized. Of course, as with any data-reduction tool, the user must be careful with what type of information is grouped and how the data are reduced. Unrelated groups or wrong selection of data-reduction criteria may give “viable looking” results, but they may not necessarily be meaningful. Another factor that will influence the results is sorting of the data before data reduction begins. The current data-reduction technique is biased toward the number of records. Our future efforts will be to provide other options to offset this bias. Having clarified the pros and cons of using this data-reduction technique, our conclusion is, with due diligence, this technique, creates endless possibilities of making sense out of the data. In addition, what field (column) is sorted prior to data-reduction adds even more dimensions to this process. We believe these data-reduction tools will also be useful in other applications, such as oil and gas field data, and well log data.

Readers are encouraged to contact the authors for a copy of the tools and to share their results.

ACKNOWLEDGMENTS

Many colleagues helped with this project in one form or another. In particular we would like to thank, M. Lippmann of LBNL; K. Goyal, A. Pingol and M. Stark of Calpine; Steve Eney of NCPA; G. Robin of EPA; E. Johnson, and L. Tabilio of DOGGR; and P. Akhtar for their assistance. We would also like to thank DOGGR and BLM for allowing us to publish this paper.

REFERENCES

- [1] STARK, M. A., et al., "Santa Rosa—Geysers Recharge Project, Geysers Geothermal Field, California, USA." Proceedings of the World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, 2005.
- [2] BARKER, B.J. and A.S. Pingol, "Geysers Reservoir Performance—an Update." Proceedings of the Twenty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford Univ., 1997.
- [3] KHAN, M. A., "Historical Data Aids Search for Oil." American Assoc. of Petroleum Geologists-Explorer, v. 14 , 1993.
- [4] GOYAL, K.P., and T.W. Box, "Geysers Performance Update Through 2002," Proceedings of the Twenty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford Univ., 2004.
- [5] KHAN, M. A., "A New Computer Program for Geothermal Decline Curve Analyses." Geothermal Resources Council Transaction, v. 22, 1998.
- [6] REYES, J.L.P., K. Li, and R.N. Horne, "A New Decline Curve Analysis Method Applied to The Geysers." Proceedings of the Twenty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford Univ., 2004.
- [7] BEALL, J.J., M.C. Adams, and J.L. Smith, "Geysers Reservoir Dry Out and Partial Restoration Evidenced by Twenty-Five Years of Tracer Tests." Geothermal Resources Council Transaction, v. 25, 2001.
- [8] ENEDY, K.L., "Downhole Enthalpy and Superheat Evolution of Geysers Steam Wells." Geothermal Resources Council Transaction, v.13, 1989.
- [9] REYES, J.L.P., and R.N. Horne, "Inferred Water Saturation in The Geysers Based on Well Performance Data." Proceedings of the Twenty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford Univ., 2003.

BIOGRAPHY

M. Ali KHAN

M. Ali Khan is a Geothermal District Engineer for the State of California, Department of Conservation, Division of Oil, Gas, and Geothermal Resources. In this capacity, he oversees geothermal drilling, production and injection operations and promotes public health and safety through public meetings and dissemination of technical data. Khan earned his Bachelor of Science (BS) degree in Mining Geological Engineering and his Master of Science (MS) degree in Geological Engineering from Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Turkey. For 30 years Khan has worked in upstream oil, gas, and geothermal projects in Turkey, Pakistan, Germany, and the United States. Early in his career, Khan worked for the Elektrik Isleri Etüt Idaresi, Ankara. Following his MS, he worked for four years with Wintershall AG as an exploration geologist in Pakistan (offshore) and Barnstorf, Germany. He then became the Director of Operations for the Gulf Coast Conoco Inc in the US. For the last 16 years he has been working with The Geysers Geothermal Field in northern California. Khan received the American Association of Petroleum Geologists' Gulf Coast Section's "Best Paper" and "Levorson" awards for "New Ideas in Exploration of Oil and Gas," as well as the California Department of Conservation's "Superior Accomplishment Award."

Richard ESTABROOK

Petroleum Engineer
U.S. Bureau of Land Management
California State Office (Ukiah)

BS Petroleum Engineering, Montana Tech, 1984

1984-Present: Petroleum Engineer responsible for permitting and compliance of federal geothermal operations in northern California, Oregon, and New Mexico. I also serve as the national BLM lead for natural gas measurement.