

# TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİNDEKİ TOPRAK ISI DEĞİŞTİRİCİSİNİN BULANIK MANTIK İLE KONTROLÜ

Hikmet ESEN \*  
Hasan ALLİ \*\*  
Mustafa İNALLI \*\*\*

*Bu çalışmada, Elazığ Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinin zemin katındaki bir test odasına kurulan yatay toprak kaynaklı ısı pompası sistemine ait toprak ısı değiştiricisi kısmının kontrolü gerçekleştirilmiştir. Sistem, 1 ve 2 m derinliğine gömülmüş uzunlukları eşit olan iki toprak ısı değiştiricisinden oluşmaktadır. Yapılan deneyler neticesinde iç ortam, su-antifriz ve farklı derinlikteki toprak sıcaklıklarının sıcaklık aralıklarını esas alan bir bulanık mantık modeli geliştirilmiştir. Bu modelde, giriş ve çıkış parametrelerinin üyelik fonksiyonları, deneysel çalışmalardan ve uzman görüşlerden elde edilmiştir. Geliştirilen bu kontrol modeli sayesinde, iç ortam sıcaklığının belirli aralıklarında sistemin gereksiz çalışması önlenmiş ve daha yüksek ısı pompası performansı elde edilmiştir.*

**Anahtar sözcükler :** Toprak kaynaklı ısı pompası, toprak ısı değiştiricisi, bulanık mantık, kontrol

*In this study, the control of ground heat exchanger used in conjunction with a horizontal ground source heat pump system maintained for a test room in Faculty of Technical Education of Fırat University, Elazığ, has been realized. The system consists of two equal length ground heat exchangers buried in different trenches which depths are 1 and 2 meters. The model of fuzzy logic, which based on the indoor, the water-antifreeze and the ground temperatures for two trenches, has been developed by using the experimental results. In this model, the membership functions of input and output parameters have been obtained by the experimental studies and the view of experts. In the developed control model, the performance of heat pump has been increased because of avoiding unnecessary work of the system in certain interval of indoor temperature.*

**Keywords :** Ground-source heat pump, ground heat exchanger, fuzzy logic, control

\* Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü

\*\* Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

## GİRİŞ

Toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) sistemleri (jeotermal ısı pompası sistemleri, yer enerji sistemleri ve yer ısı değiştiricisi sistemleri olarak da adlandırılabilirler) konut ve ticari tip ısıtma ve soğutma uygulamaları için alternatif enerji sistemleri olarak son on yıldan itibaren yaygın biçimde kullanılmaya başlanılmıştır. TKIP sistemleri, toprağın içindeki sıcaklığın kararlı değişmesi ve soğuk iklimlerde performansını yüksek seviyede tutması nedeniyle enerjinin kullanımında daha etkili sonuçlar ortaya çıkarır. Bu tür sistemlerden maksimum oranda faydalanmak için birçok sistemde olduğu gibi bu sistemlerde de çeşitli parametrelerinin kontrol edilmesi gerekir. Bu amaçla mevcut çalışmada, sistemin kontrolünde, bulanık kontrol yöntemi kullanılmıştır.

Bulanık küme kuramı, ilk kez 1965 yılında Berkeley'de California Üniversitesi öğretim üyelerinden, aslen Azerbaycanlı olan Prof. Lütü A. Zadeh tarafından ortaya atılmış ve hızla gelişerek, modern denetim alanında birçok bilim adamının ilgisini çeken, araştırmaya açık yeni bir dal olmuştur [1].

Bulanık mantık, gelişmekte olan uzman denetim sistemleri için başarılı sonuçları veren yöntemleri içerir. Özellikle bilgisayar destekli tasarımlarda pahalı ve çok zaman alan projeler, bulanık mantığın uygulanmasıyla ucuza mal olmakta ve yapılan işlerde basitleşmektedir. Bulanık mantık için matematiğin gerçek dünyaya uyarlanması diyebiliriz. Çünkü dünyada her an değişen durumlardan değişik sonuçlar çıkabilir ve deneyimlerden yararlanmak gerekir. Bulanık mantık, bir kişinin diğeri ile konuşması veya diğeri açıklama yapmasına benzer olarak "soğuk", "sıcak", "yüksek", "alçak", gibi dilsel değişkenleri kullanır. İkili durumları kullanan (sıcak-soğuk) gibi ikili mantıktan farklı olarak bulanık mantık, değişkenleri için ara durumları da (az sıcak-az soğuk gibi) kullanır [2].

Matematsel problemlerde bulanık kontrol insanların düşünüş tarzına uygun düştüğü için belirgin bir avantaja sahiptir. Bulanık denetimin en iyi uygulama alanları doğrusal olmayan iyi tanımlanmamış zamanla değişen sistemlerdir. Bu tür sistemlerin denetimine kolay anlaşılır bir çözüm getirmektedir. Bulanık denetim genellikle daha küçük

bir yazılımla daha hızlı bir şekilde sonuca ulaşır. Bulanık mantığın diğer bir avantajı doğrudan kullanıcı girişlerine, kullanıcının deneyimlerinden yararlanabilmesine olanak sağlamasıdır.

Bulanık mantık ile ilgili günümüzde çok geniş bir bilim adamı kadrosu çalışma yapmaktadır. 1970'li yıllardan itibaren sürekli gelişme gösteren bulanık mantık, son çalışmalarda, PID (oransal integral türev) ve yapay sinir ağları ile beraber kullanılmaya başlanmıştır ve çok daha geniş bir alana girme imkanı bulmuştur [3].

Bu çalışmada, Elazığ Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi zemin katında bulunan 16.24 m<sup>2</sup> taban alanlı bir çalışma odasına kurulan TKIP sisteminin farklı derinliklerdeki (1 ve 2 m derinliğinde) toprak ısı değiştiricisi (TID)'nin kontrolü için bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Bulanık mantık sisteminde giriş parametreleri; performans testindeki iç ortam ve su-antifriz sıcaklık değerleri olup, çıkış parametresi ise performans testindeki gerekli olan toprak sıcaklık aralığıdır.

## METOT

Kurulmuş olan sistemimizin TID kısmının fotoğrafı Şekil 1'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi TID iki

kısımdan oluşmuştur. TKIP sisteminde, sistemin performansı için etkin olan parametre toprak olduğu için toprak kısmının kontrolü yapılarak topraktan maksimum oranda faydalanmak gerekir. İç ortamın ve su-antifriz sıcaklığının durumuna göre 1 veya 2 m derinliğindeki TID devreye girecektir. Bu amaçla, iki giriş ve bir çıkış parametresi kullanılarak üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur.

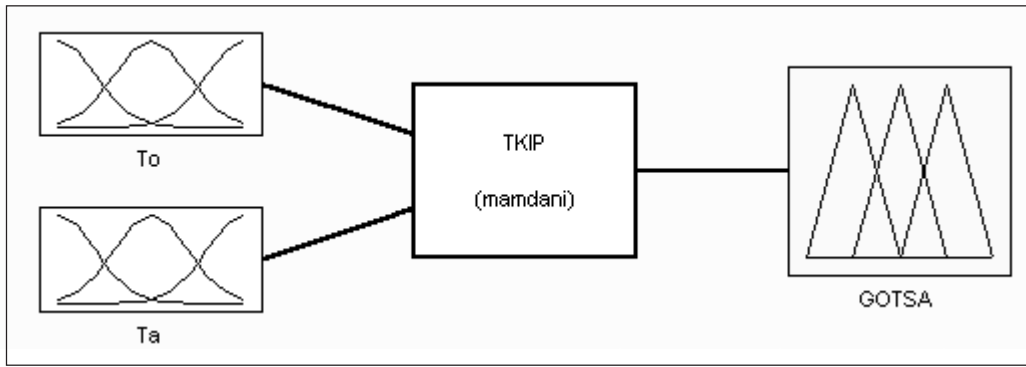
Giriş üyelik fonksiyonları, iç ortam sıcaklığı (To) ve su-antifriz sıcaklığı (Ta)'dır. Çıkış üyelik fonksiyonu ise sistemin 1 veya 2 m derinliğinde çalışmasını sağlayacak gerekli olan toprak sıcaklık aralığı (GOTSA)'dır. Bulanık sistemin genel yapısı Şekil 2'de verilmiştir. Çıkış üyelik fonksiyonu belirli bir aralık değerlerinde olduğu için kullanılan bulanık mantık yöntemi Mamdani'dir [4].

Giriş ve çıkış üyelik fonksiyonunun sıcaklık aralıkları, bu sistem üzerinde yapılan deneylerden ve uzman görüşlerden elde edilmiştir [5,9]. Bulanık sistemin giriş üyelik fonksiyonları, To ve Ta sırasıyla Şekil 3 ve 4'de verilmiştir. To ortam sıcaklığı, beş farklı dilsel değişken ile ifade edilmiştir. Bu dilsel değişkenler:

- 5 °C ile 13 °C arası ⇒ Çok soğuk (cso),
- 10 °C ile 17.5 °C arası ⇒ soğuk (so),



Şekil 1. TKIP Sisteminde Farklı İki Derinlikteki TID'lerinin Fotoğrafı

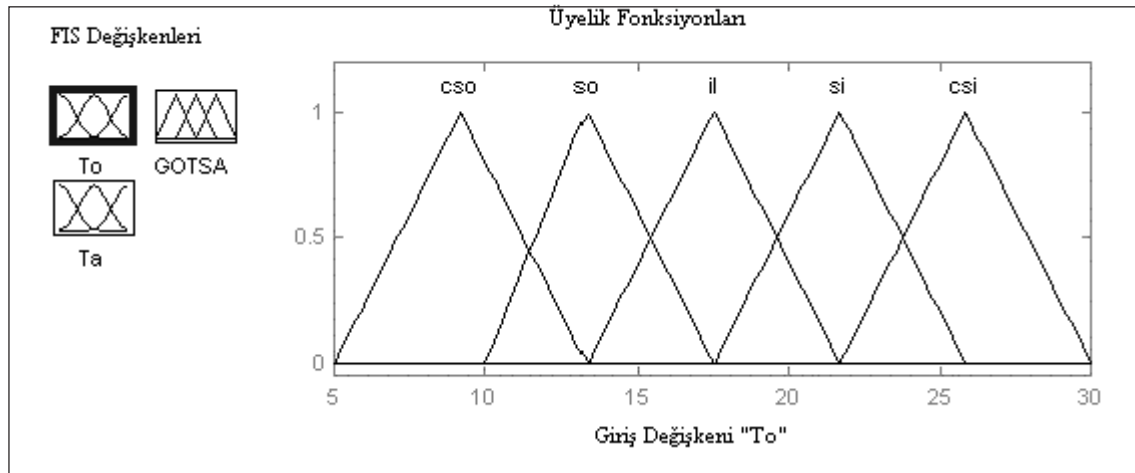


Şekil 2. Bulanık Sistemin Genel Yapısı

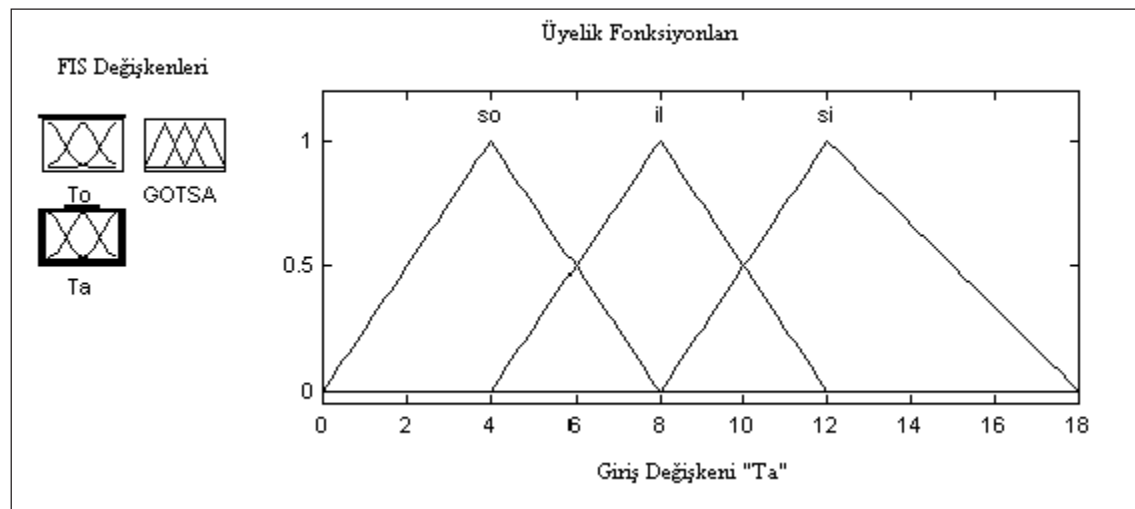
13 °C ile 21 °C arası ⇒ Ilık (il),  
 17.5 °C ile 25 °C arası ⇒ Sıcak (si),  
 21 °C ile 30 °C arası ⇒ Çok sıcak (csi)  
 olarak tanımlanmıştır. Ta ise su-antifriz sıcaklığı olup üç

farklı dilsel değişken ile ifade edilmiştir. Bu dilsel değişkenler:

0 °C ile 8 °C arası ⇒ Soğuk (so),  
 4 °C ile 12 °C arası ⇒ Ilık (il),



Şekil 3. Bulanık Sistemin Giriş Değişkeni "To" Üyelik Fonksiyonu



Şekil 4. Bulanık Sistemin Giriş Değişkeni "Ta" Üyelik Fonksiyonu

8 °C ile 18 °C arası ⇒ Sıcak (si) şeklinde tanımlanmıştır.

Bulanık sistemin çıkış üyelik fonksiyon değeri GOTSA'nın değişimi Şekil 5'de verilmiştir. GOTSA, üç farklı dilsel değişken ile ifade edilmiştir. Bu dilsel değişkenler:

2 °C ile 5 °C arası ⇒ Sıfır (sifir), yani sistem çalışmayacak

4 °C ile 17 °C arası ⇒ 1 metre derinliğindeki

TID (1 m)

14 °C ile 28 °C arası ⇒ 2 metre derinliğindeki

TID (2 m)

şeklindedir.

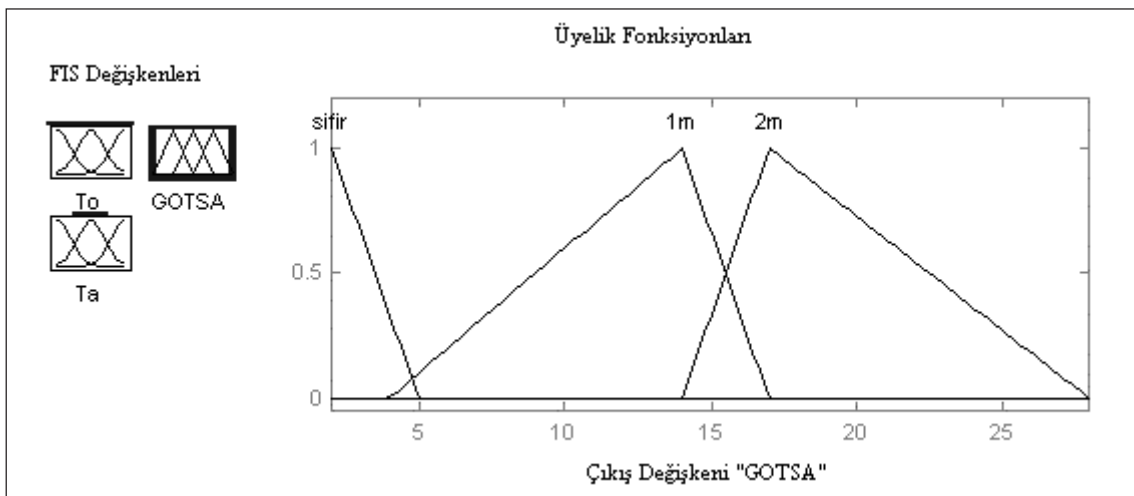
Bu çalışmada, bulanık koşullu çıkarım mekanizması (fuzzy conditional rules inference) olarak adlandırılan kurallar kullanılmıştır. Bu yöntem EĞER... O HALDE kurallarına dayanarak bulanık kavram içeren sebep ve sonuçlardan oluşan sonuç çıkarma ile ilgilidir. Bulanık koşullu çıkarım mekanizmasına göre hazırlanan 15 kuralı Tablo 1 aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. Bulanık Koşullu Kural Tabanı

TID konumu GOTSA (1 veya 2 m)						
To (°C)						
Ta (°C)		(cso)	(so)	(il)	(si)	(csi)
	(so)	2 m	2 m	1 m	1 m	sifir
	(il)	2 m	2 m	1 m	1 m	sifir
	(si)	2 m	1 m	1 m	1 m	sifir

derinliğindeki toprak sıcaklığına serili olan TID'ın kullanılmasının gerektiği ortaya çıkmıştır.

To sıcaklığının düşük ama Ta sıcaklığının yüksek olduğu durumlarda 1 m derinliğindeki TID'ın devreye girmesi, 2 m'lik TID kısmının kısmen devreye girmesi gerektiği görülmüştür. To sıcaklığının düşük miktarda arttığı durumlarda 2 m'de daha sıcak olan topraktan faydalanmak yerine 1 m'de ılık olan toprak sıcaklığından faydalanılması, To sıcaklığının çok yüksek olduğu

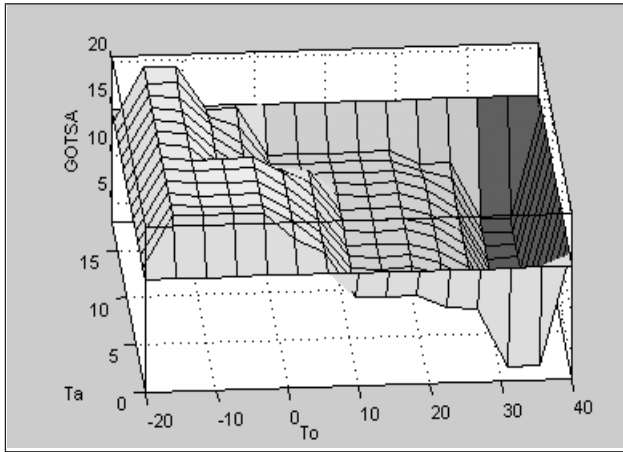


Şekil 5. Bulanık Sistemin Çıkış Değişkeni "GOTSA" Üyelik Fonksiyonu

## BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

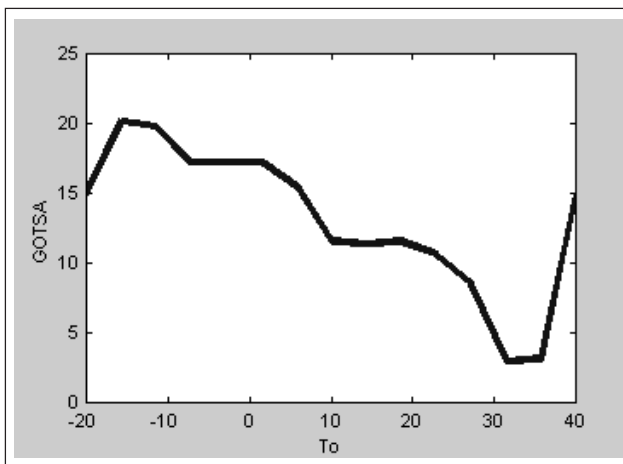
Tablo 1'deki bulanık koşullu çıkarım mekanizması kullanılarak elde edilen To ve Ta'nın GOTSA ile değişiminin kontrol yüzeyi Şekil 6'da verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere To ve Ta sıcaklığının çok düşük olduğu sıcaklık aralığında 1 m'ye göre daha sıcak olan 2 m

durumlarda ise topraktan hiçbir şekilde faydalanılmamasının gerektiği gözlenmiştir. Bulanık mantık yönteminin avantajıyla ara durumlarda (so-il-si) daha uygun sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada, yukarıda yorumu yapılan TID kısımlarının devreye girip çıkmasında oldukça etkili olan To ve Ta sıcaklıklarının ayrıca GOTSA ile değişimleri sırasıyla Şekil 7 ve 8'de verilmiştir.

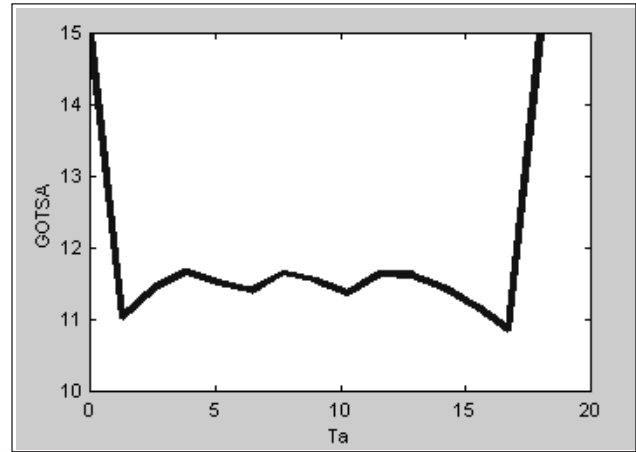


Şekil 6. Kontrol Yüzeyi

Bulanık mantık, eksik ve belirsiz bilgilerden kesin sonuçlar elde etmek için kullanılan en iyi yöntemlerden birisidir. Mevcut çalışmada, herhangi bir ortamın sıcaklığını kontrol etmek için bulanık koşullu çıkarım mekanizması kullanılarak ortamın sıcaklığına etki eden önemli parametrelerden TID derinliği belirlenmiştir. Deneysel çalışmada [5], TID vanası el ile kontrol edildiğinde 2 metredeki sistem performansının 1 metredeki sistem performansından % 5.34 daha iyi olduğu saptanmıştır. 2 metre derinliğindeki TID'in sürekli çalıştırılması halinde, topraktaki borular içinde bulunan su-antifiriz karışımının sirkülasyonu 1 m'lik sisteme göre daha güçleşecek ve sirkülasyon pompasının şebekeden çektiği güç fazla olacaktır. Ayrıca yalnızca 1 m derinliğindeki TID çalıştırıldığı takdirde, çok soğuk olan dış hava sıcaklıklarında



Şekil 7. To Sıcaklığının GOTSA ile Değişimi



Şekil 8. Ta Sıcaklığının GOTSA ile Değişimi

topraktan gerekli olan ısı çekilemeyecek ve daha sıcak olan derin toprak sıcaklıklarındaki TID'lerine ihtiyaç duyulacaktır. Sonuç olarak, bulanık mantık ile kontrol yapıldığında, iç ortam sıcaklığının çeşitli aralıklarında sistem gereksiz çalışmayacağından daha yüksek sistem performansı elde edilecektir.

## KAYNAKÇA

1. **L. A. Zadeh**, Fuzzy sets, Information and Control 8, 338-353, 1965.
2. **A. O. Özkan**, Sıcaklık ve Nemin Bulanık Mantık Yöntemiyle Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1997.
3. **V. Kıray**, Oda İçi Sıcaklık ve Hava Kalitesinin Mikro Denetleyici Ve Bulanık Mantıkla Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1997.
4. **Mamdani E. H.**, Application of Fuzzy Algorithms for Control of a Simple Dynamic Plant, Proc. of IEE, Vol. 121, 12, 1585-1588, 1974.
5. **H. Esen**, Toprak Kaynaklı Isı Pompası Performansına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
6. **M. Hamdi, G. Lachiver and F. Michaud**, A new Predictive Thermal Sensation Index of Human Response, Energy and Buildings, 29, 167-178, 1999.
7. **R. J. DeDear, K. G. Leow and A. Amen**, Thermal Comfort in the Humid Tropics (Part I and Part II), ASHRAE Transactions, 874-886, 1991.
8. **G. Gan, D. Croome**, Thermal Comfort Models Based on Field Measurements, ASHRAE Transactions, 782-794, 1994.
9. **D. Int-Hout**, Thermal Comfort Calculations/ A computer model, ASHRAE Transactions, 96,1, 840-844, 1990.