

BİR İKLİMLENDİRME EĞİTİM SETİNDE VERİ TOPLAMA SİSTEMİNE BAĞLI GERÇEK ZAMANLI PSİKROMETRİK DİYAGRAM OLUŞTURULMASI

Hüseyin BULGURCU, M. Turhan ÇOBAN, Volkan ERYÜKSEL

ÖZET

Bu çalışmada ön ısıtma, soğutma, nemlendirme, son ısıtma işlemleri yapılabilen temel iklimlendirme eğitim setindeki temel proseslerin veri tabanına aktarılması ve bu verilerin alt yazılımlar yardımıyla işlenerek psikrometrik diyagram çizdirilmesi hedeflenmiştir. Sıcaklık ve nem ölçümleri için shd11 tipi algılayıcılar kullanılmaktadır. Hava hızı ölçümleri için sıcak tel tipi hızölçerler kullanılmıştır. Veri toplama sisteminde dijital olarak algılanan ölçüm verileri rs485 iletişim sistemi ile bilgisayara iletilmekte, veriler java programlama dilinde yazılan programlar üzerinden sqlite veri tabanında depolanmaktadır. Bu veriler gerçek zamanda sqlite veri tabanından okunarak tarafımızdan geliştirilen java dilinde yazılmış bilgisayar benzeşim programlarına girdi parametreleri olarak aktarılmakta ve termodinamik çevrim analizleri ve ısı transferi benzeşimleri gerçek zamanda hesaplanarak sonuçlar tablolar ve grafik ortam çıktıları olarak deney seti kullanıcılarına aktarılmaktadır.

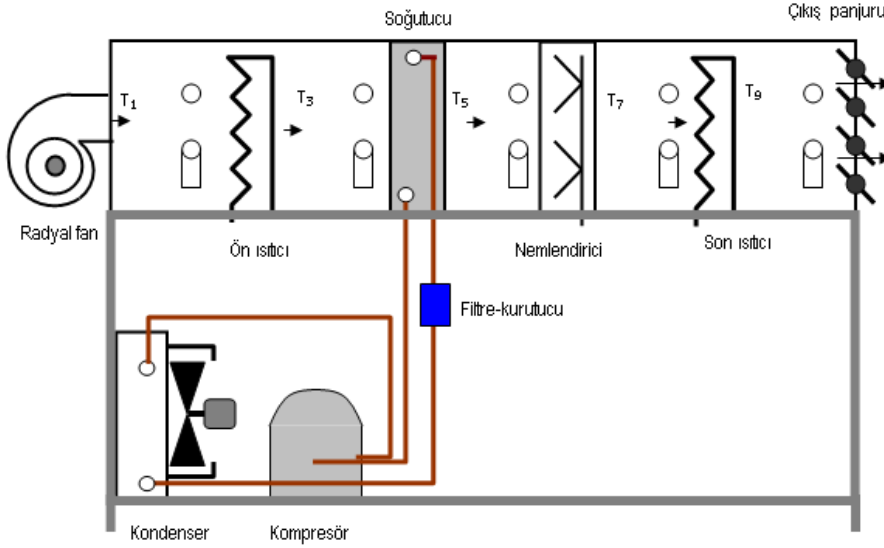
ANAHTAR KELİMELEER: İKLİMLENDİRME, EĞİTİM SETİ, PSİKROMETRİK DİYAGRAM, VERİ TOPLAMA SİSTEMİ

1. GİRİŞ

Eğitim setleri öğrencilerin temel mühendislik sistemleri konusundaki eğitimlerini deneysel anlamda geliştirmek amacıyla oluşturulan sistemlerdir. Bu tür sistemlerin bu güne kadarki üretiminde basınç, sıcaklık, nem, debi gibi sistem ısıl özelliklerini hesaplamada kullanacağımız parametreler standart tip çıktı ekranlarından okunmakta idi. Bu çalışmada örnek olarak bir iklimlendirme eğitim seti ele alınarak, bu setteki tüm girdi parametrelerinin gurubumuz tarafından geliştirilen veri toplama sistemi ve digital ölçme sistemleri kullanılarak verilerin algılanması, bilgisayar ortamında veri tabanına aktarılması ve bu veri tabanından gerçek zamanda alınan veriler kullanılarak tüm sistem komponentlerinin bilgisayar benzeşim programlarının oluşturulması ve toplam sistem performans değerlerinin gerçek zaman çıktılarının alınabilmesinin sağlanabilmesi amaçlanmaktadır. Şekil 1 de üzerinde çalışılacak sistemin resmi ve şekil 2 de şematik diyagramı görülmektedir. Başlıca sistem bileşenleri radyal fan, ön ısıtıcı, soğutucu, nemlendirici, ve son ısıtıcıdır.



Şekil 1. İklimlendirme eğitim seti görünümü



Şekil 2. İklimlendirme eğitim şematik görünümü

Projede veri elde etme sistemleri de gurubumuz tarafından geliştirilmektedir. Bunun en önemli sebebi ülkemizde bu tür sistemleri hassas olarak yapan şirketlerin bulunmaması yurt dışından getirilen sistemlerin de üzerlerindeki araştırma-geliştirme maliyetlerinden dolayı pahalı olmasıdır. Digital sensörlerin düşük ölçüm belirsizlikleri içerecek şekilde geliştirilmesi sadece bu proje açısından değil genel olarak bu tür sistemlerin ülkemizde kullanımı ve efort edilebilirliği açısından da bir dönüm noktası oluşturabilir. Elde edilen veriler RS485 veri iletim standardı kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Bu işlemde gerçek zaman java programları kullanılmaktadır. Aktarılan veriler SQLite veri tabanına kaydedilmekte ve bu sayede herhangi bir şekilde veri kaybının önüne geçilmektedir. Veri tabanına kaydedilen veriyi, java dilinde oluşturulmuş simülasyon programları veriyi gerçek zamanda veritabanından okuyarak benzeşimleri oluşturmakta ve benzeşim sonuçları grafik ve tablo formatlarında gerçek zamanlı olarak yansıtılmaktadır

2. VERİ ALGILAMA SİSTEMİ DİZAYNI



Şekil 3. Veri algılama sistemi (datalogger)

Veri toplama sistemi(data logger) 8 kanallı olup her kanala nem ,sıcaklık , PTC , NTC ,PT100 , PT1000 devir sensörü, 4-20 ma okuyucu ,gibi sıcaklık algılayıcıları bağlanabilmektedir. Şekil 3 te veri algılama sistemi ve sensörler görülmektedir. Veri toplama sistemi beslemesi DC 24 volt olup PLC sistemleri beslemesi ile uyumludur. Cihaz ile haberleşme RS485 portu üzerinden sağlamaktadır. Haberleşme protokolu olarak MODBUS RTU standardını kullanmaktadır. Bu Protokol endüstriyel otomasyonda yaygın olarak kullanılan bir protokoldür. Piyasadaki hemen hemen bütün otomasyon sistemleri (PLC, Operatör Paneller HMI) ile uyumludur. Bilgisayar ile haberleşmesi için USB den RS485 e dönüştüren adaptörler kullanılması gerekmektedir Data logger kartı üzerindeki dip switçler yardımıyla dataloggerin haberleşme adresi ayarlanabilmektedir. Baud hızı parity flow kontrol ve data loggerin adres bilgisi istenildiği takdirde üzerindeki dip switçler yardımıyla değiştirilebilir. Bu sayede farklı sistemler ile uyumluluğu sağlanmış olmaktadır. Data logger sistemine bağlanan sensörler iki uçlu kablo ile bağlanıp sensörlerin beslemesi ve haberleşmesi gene aynı iki uçlu kablo ile sağlanmaktadır. İki uçlu kablo üzerinden hem veriler hemde güç aktarım sağlanmış sensör ve kart içine yazdığımız program ve algoritmalar sayesinde . verinin kusursuz ve uzun mesafe ile okunabilmesi sağlanmıştır. İki kablo ile bağlanabilen sensör max 500 m mesafe ile veri aktarabilmektedir.

Veri toplama sistemi 8 kanal iletişim soketine sahip olmasına rağmen her portta iki adres vardır. Örneğin 1 kanala takılan nem ve sıcaklığı okuyan sensörümüz için cihazın 0. adresinde sıcaklık 1 .adresinde nem bilgisisi olarak gelmektedir. Veri toplama cihazının 0-15. adresleri sensörlerden gelen bilgileri okumak için kullanılmaktadır. Diğer adreslerde sensörün fişini taktığımızda sensörün içindeki microcontroller yardımıyla sensör kendini datalogger a tanıtır .Data loggerın 20-27 inci adreslerinde bu sensörün tanımlama kodu yer alır bu sayede sensör tanımı hemen öğrenilebilir. 30 numaralı adreste ise bitlere bakılarak sensörlerin hatasız çalışıp çalışmadığı iki uçlu kabloda bir kısa devre olup olmadığı bilgileri okunur. Veri toplama sistemine bağlanabilen algılayıcılar şunlardır:

2.1 Sıcaklık ölçüm sistemi : Sıcaklık ölçümleri yapan çeşitli sensörlerimiz olacaktır. Bu sensörler:

HS_T : (SHD11 ve SHD75 sensörlerinden yapılan nem ölçüm sistemleri) Bu sensör nem ölçüm sensörüdür. Sensör hakkında daha detaylı bilgi http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT1x.pdf internet adresinde mevcuttur. Bu mikrosensör sıcaklık ve nem ölçmektedir sensör. Bu digital sensörler dizayn edilecek veri toplama sistemi ile integre olarak çalışacak şekilde nem algılama sensörü olarak gurubumuz tarafından dizayn edilmektedir

PT100: Direç tipi sıcaklık sensörü . Bu tip sensörlerin de sensör elemanı hazır olarak alınmakta, okuyucu digital devresi, data logger'ımıza bilgiyi aktaracak şekilde gurubumuz tarafından dizayn edilmektedir.

PT1000: Direç tipi sıcaklık sensörü . Bu tip sensörlerin de sensör elemanı hazır olarak alınmakta, okuyucu digital devresi, data logger'ımıza bilgiyi aktaracak şekilde gurubumuz tarafından dizayn edilmektedir.

NTC: Direnç tipi sıcaklık sensörü: Bu sensörün sıcaklık ölçüm elemanı mikroçip olarak alınmakta ve sinyal dönüştürme devreleri, veri tabanına okuma devreleri gurubumuz tarafından oluşturularak datalogger ve ona bağlı veri tabanı sistemimiz tarafından okunacak hale getirilmektedir.

PTC: Direnç tipi sıcaklık sensörü: Bu sensörün sıcaklık ölçüm elemanı mikroçip olarak alınmakta ve sinyal dönüştürme devreleri, veri tabanına okuma devreleri gurubumuz tarafından oluşturularak datalogger ve ona bağlı veri tabanı sistemimiz tarafından okunacak hale getirilmektedir.

TC_K : K Tipi ısı çift. Bu ısı çift için tel ve cold-junction adını verdiğimiz bilgisayar devresi hazır olarak alınmakta, tüm diğer devreler oluşturularak datalogger ve ona bağlı veri tabanı sistemimiz tarafından okunacak hale gelecek şekilde gurubumuz tarafından dizayn edilmektedir.

TC_T : T Tipi ısı çift. Bu ısı çift için tel ve cold-junction adını verdiğimiz bilgisayar devresi hazır olarak alınmakta, tüm diğer devreler oluşturularak datalogger ve ona bağlı veri tabanı sistemimiz tarafından okunacak hale gelecek şekilde gurubumuz tarafından dizayn edilmektedir.

TC_R :R Tipi ısı çift. Bu ısı çift için tel ve cold-junction adını verdiğimiz bilgisayar devresi hazır olarak alınmakta, tüm diğer devreler oluşturularak datalogger ve ona bağlı veri tabanı sistemimiz tarafından okunacak hale gelecek şekilde gurubumuz tarafından dizayn edilmektedir.

2.2. Basınç ölçüm sistemi:

PS: Basınç ölçüm transducerları 0-10 bar ve 0-20 bar : Basınç ölçüm sisteminde transducerları hazır sistem olarak alınacak, digital dönüşüm ve datalogger sistemimize girişler kendi dizayn ettiğimiz elektronik sistemler üzerinden yapılacaktır.

PDS: Basınç farkı ölçüm transducerları 0-1 kPa : Basınç ölçüm sisteminde transducerları hazır sistem olarak alınacak, digital dönüşüm ve datalogger sistemimize girişler kendi dizayn ettiğimiz elektronik sistemler üzerinden yapılacaktır.

2.3. Debi ölçüm sistemleri :

Türbin metre sistemleri : sıvı hacimsel debi ölçümleri için temel sensör olarak Saginomiya ELK tipi sensörlerden yararlanılacaktır.

(<http://www.saginomiya.co.jp/eng/auto/searchresult11.php?FilterID1=3&FilterID2=3>)

Bu sensörler digital pulse sayısı sinyali vermektedir. Bu sinyal akışkan türüne göre kendi geliştirdiğimiz elektronik devreler tarafından hacimsel ve kütleli debi değerlerine dönüştürülerek data-logger sistemimize ve oradan da veri tabanına gönderilecektir.

Hava hızı okuma sistemleri (sıcak tel aneometre) : Bu sistemlerin de sıcak tel sensörü hazır alınacak, dönüşüm devreleri gurubumuz tarafından geliştirilecektir.

Pitot tübü hız sistemleri: Bu sistem hız profillerinin taranması için kullanılacaktır. Pitot tübü hazır olarak alınacak, basınç farkı basınç bölümünde belirtilen basınç fark sensörü tarafından okunacak ve değer hız değerine bilgisayar programında dönüştürülecektir.

2.4. Nem ölçüm sistemleri :

HS_RH : (SHD11 ve SHD75 sensörlerinden yapılan nem ölçüm sistemleri) Bu sensör nem ölçüm sensörüdür. Sensör hakkında daha detaylı bilgi http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT1x.pdf internet adresinde mevcuttur. Bu mikrosensör sıcaklık ve nem ölçmektedir sensör. Bu digital sensörler dizayn edilecek veri toplama sistemi ile integre olarak çalışacak şekilde nem algılama sensörü olarak gurubumuz tarafından dizayn edilmektedir

2.5. Elektriksel parametre ölçüm sistemleri : Sistemimizde fan güç harcamalarının saptanması amacıyla güç ölçümü yapılması gerekmektedir. Güç girişleri alternatif akımdır. Bu yüzden hazır olarak alınacak AC voltaj, akım ve cosφ sensörleri, güç okuma sistemleri olarak gurubunuzca oluşturulacak ve dataloggerimizin direk okuyacağı formda çıktı alacak şekilde dizayn edilecektir.

3. SİSTEM BENZEŞİMİ VE ALGILAMA SİSTEMİ DİZAYNI

Sistem benzeşim ve algılama programlanması java programlama dilinde gerçekleştirilmektedir. Temel olarak geliştirilen programları ve işlevleri şunlardır:

- Veri tabanı programlama alt yapısının (SQLite) java programı olarak geliştirilmesi
- Veri tabanı programından veriyi gerçek zamanlı olarak okuyacak sistemin geliştirilmesi
- Veri tabanı programından çıkan verileri çeşitli tablo, analog çıktı şekilleri, grafik çıktı pencereleri şeklinde oluşturacak alt programların java programlama dilinde geliştirilmesi
- su ve havanın (kuru ve yaş hava) termodinamik özelliklerini hesaplayacak program gurubunun geliştirilmesi
- Nemlendirici, soğutucu-buharlaştırıcı(evaporatör), ısıtıcı gibi sistem komponentlerinin termodinamik , ısı ve kütle transferi modellerinin geliştirilerek sistem performanslarının saptanması ve bu programların gerçek zaman verisinden girdi alabilecek şekilde dizaynları
- Sistem komponent programlarının birleştirilerek tüm sistemin havalandırma sistemi simülasyonunu oluşturacak bir sistem olarak dizaynı
- Yapılan ölçüm sistemlerinin kalibrasyon ölçümlerinin yapılması

zaman(Greenw...	no	isim	data logger no	kanal no	tip ismi	tip	değer	birim	açıklama
13:40:07	Ch0	T1	1	0	Nem sensörü-...	HS_T	25.6	derece C	dış hava sıcaklığı
13:40:07	Ch1	H1	1	1	Nem sensörü-...	HS_RH	47.6	% bağıl nem	dış hava bağıl ...
13:40:07	Ch2	T2	1	2	Nem sensörü-...	HS_T	40.8	derece C	ön ısıtma sıcak...
13:40:07	Ch3	H2	1	3	Nem sensörü-...	HS_RH	22.8	% bağıl nem	ön ısıtma bağıl ...
13:40:07	Ch4	T3	1	4	Nem sensörü-...	HS_T	20.6	derece C	soğutma sıcakl...
13:40:07	Ch5	H3	1	5	Nem sensörü-...	HS_RH	65.6	% bağıl nem	soğutma bağıl ...
13:40:07	Ch6	T4	1	6	Nem sensörü-...	HS_T	18.6	derece C	nemlendirme ç...
13:40:07	Ch7	H4	1	7	Nem sensörü-...	HS_RH	84.5	% bağıl nem	nemlendirme ç...
13:40:07	Ch8	T5	1	8	Nem sensörü-...	HS_T	24.4	derece C	son ısıtma sica...
13:40:07	Ch9	H5	1	9	Nem sensörü-...	HS_RH	62.8	% bağıl nem	son ısıtma bağı...
13:40:07	Ch10	V	1	10	hız sensörü	V	9.9	m/s	hava hızı

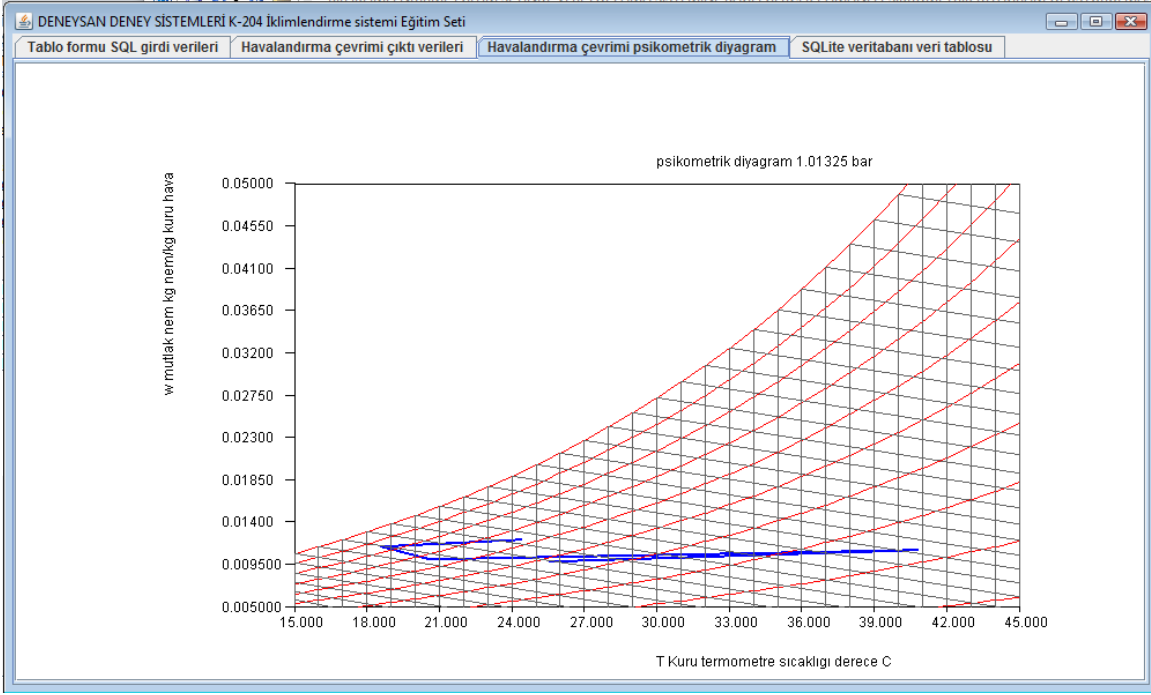
Şekil 4. Deney sistemi girdi parametrelerinin ve sensör özelliklerinin görüntülediği çıktı ekranı

DENEYSAN EĞİTİM CİHAZLARI SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.
Yeni Sanayi Sitesi 12 Ekim Cad. 52.Sok. No:18A BALIKESİR
telefon : 90(266)-246 10 75 eposta : deneyisan@deneyisan.com info@deneyisan.com

hava debisi m = 0.1261046116619057kg/s
Q ön ısıtma = 2.359871385275141 kW
Q soğutma = -2.945923247755346 kW
Q son ısıtma = 0.972373875877336 kW
nemlendirme miktarı = 1.7532647974682664E-4 kg nem/s

Basınç bar	Sıcaklık der...	v kuru hava ...	Pv su buharı...	Pa kuru hav...	w özgül ne...	φ kısmi nem	dos,doyguntl...	h entalpi KJ/...	s, entropi KJ/...	dp ,çiğ nokt...	ha, kuru hav...	hw, t
1.01325	25.6	0.85964342...	0.01563214...	0.99761785...	0.00974594...	0.47600000...	0.46778919...	50.5123589...	0.17646974...	13.6595483...	25.6724698...	254
1.01325	40.8	0.90513483...	0.01756525...	0.99568474...	0.01097241...	0.228	0.21438085...	69.2259599...	0.23767389...	15.4630966...	40.9488784...	257
1.01325	20.6	0.84549966...	0.01591954...	0.99733045...	0.00992799...	0.65599999...	0.65050901...	45.8650121...	0.16075071...	13.9396821...	20.6538569...	253
1.01325	18.6	0.84159070...	0.01810909...	0.99514090...	0.01131831...	0.845	0.84217938...	47.3466382...	0.16538209...	15.9389976...	18.6478095...	253
1.01325	24.4	0.85926331...	0.01919977...	0.99405022...	0.01201316...	0.628	0.62081493...	55.0574892...	0.19134720...	16.8568015...	24.4671180...	254

Şekil 5. Deney sistemi hesaplanmış çıktı parametrelerinin ve termodinamik çıktı verilerinin görüntülediği ekran



Şekil 6. İklimlendirme prosesinin gerçek zamanlı psikometrik diyagram üzerinde görünümü

DENEYSAN DENEY SİSTEMLERİ K-204 İklimlendirme sistemi Eğitim Seti													
Tablo formu SQL girdi verileri Havalandırma çevrimi çıktı verileri Havalandırma çevrimi psikometrik diyagram SQLite veritabanı veri tablosu													
veritabanınızın ismini giriniz :											K204.db		
SQL sorgulama deyiminizi giriniz :											select * from veri		
sorgulama deyimini SQLite veritabanına göndermek için düğmeye basınız:											SQL sorgusunu çalıştırın		
id	date	time	Ch0	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6	Ch7	Ch8	Ch9	Ch10
11025	2012-09-08	11:55:46	24.3	47.6	37.3	25.6	20.1	63.8	17.8	79.8	23.0	61.2	9.4
11026	2012-09-08	11:55:47	24.3	47.7	37.3	25.5	20.1	63.8	17.8	79.9	23.0	61.2	9.4
11027	2012-09-08	11:55:48	24.3	47.7	37.3	25.5	20.1	63.8	17.8	79.9	23.0	61.2	9.4
11028	2012-09-08	11:55:49	24.3	47.7	37.4	25.5	20.0	63.9	0.0	0.0	23.0	61.2	9.4
11029	2012-09-08	11:55:50	24.3	47.7	37.4	25.5	20.0	63.9	0.0	0.0	23.0	61.3	9.5
11030	2012-09-08	11:55:52	24.3	47.7	37.4	25.5	20.1	63.9	0.0	0.0	23.0	61.3	9.5
11031	2012-09-08	11:55:53	24.3	47.7	37.4	25.5	20.1	63.9	0.0	0.0	23.0	61.3	9.4
11032	2012-09-08	11:55:54	24.4	47.7	37.4	25.5	20.1	63.9	0.0	0.0	23.0	61.3	9.4
11033	2012-09-08	11:55:55	24.4	47.7	37.4	25.5	20.0	64.0	0.0	0.0	23.0	61.3	9.4
11034	2012-09-08	11:55:56	24.4	47.7	37.4	25.5	20.0	64.0	0.0	0.0	23.0	61.3	9.4
11035	2012-09-08	11:55:57	24.4	47.7	37.4	25.5	20.0	64.0	0.0	0.0	23.0	61.3	9.4
11036	2012-09-08	11:55:58	24.4	47.7	37.4	25.5	20.0	64.0	0.0	0.0	22.9	61.3	9.5
11037	2012-09-08	11:55:59	24.4	47.6	37.5	25.5	20.0	64.0	0.0	0.0	22.9	61.3	9.5
11038	2012-09-08	11:56:00	24.4	47.6	37.5	25.5	20.0	64.0	0.0	0.0	22.9	61.4	9.3
11039	2012-09-08	11:56:01	24.4	47.6	37.5	25.5	20.0	64.0	0.0	0.0	22.9	61.4	9.3
11040	2012-09-08	11:56:02	24.4	47.6	37.5	25.4	20.0	64.1	0.0	0.0	23.0	61.4	9.4
11041	2012-09-08	11:56:03	24.4	47.6	37.5	25.4	20.0	64.1	0.0	0.0	23.0	61.4	9.4
11042	2012-09-08	11:56:05	24.4	47.6	37.5	25.4	20.0	64.1	0.0	0.0	23.0	61.4	9.4
11043	2012-09-08	11:56:06	24.4	47.6	37.5	25.4	20.0	64.1	0.0	0.0	22.9	61.4	9.4
11044	2012-09-08	11:56:07	24.4	47.6	37.5	25.4	20.0	64.1	0.0	0.0	22.9	61.4	9.4
11045	2012-09-08	11:56:08	24.4	47.5	37.5	25.4	20.0	64.2	0.0	0.0	22.9	61.4	9.4
11046	2012-09-08	11:56:09	24.4	47.5	37.5	25.4	20.0	64.2	0.0	0.0	22.9	61.4	9.4
11047	2012-09-08	11:56:10	24.4	47.5	37.5	25.3	20.0	64.2	17.6	0.0	22.9	61.4	9.4
11048	2012-09-08	11:56:11	24.4	47.5	37.5	25.3	20.0	64.2	17.6	80.6	22.9	61.5	9.3
11049	2012-09-08	11:56:12	24.4	47.5	37.6	25.3	20.0	64.2	17.6	80.6	22.9	61.5	9.3
11050	2012-09-08	11:56:13	24.4	47.5	37.6	25.3	20.0	64.2	17.6	80.7	22.9	61.5	9.5
11051	2012-09-08	11:56:14	24.4	47.5	37.6	25.3	20.0	64.2	17.6	80.7	22.9	61.5	9.5

Şekil 7. İklimlendirme prosesi verisinin veri tabanına kaydedilmiş verilerinin görünümü

Bu eğitim setini kullanarak yaz kliması ve kış klimasının tüm proseslerini bir arada veya ayrı ayrı bir proses gurubu olarak irdeleyebiliriz. Şekil 4,5,6 ve 7 de ısıtma-soğutma-nelendirme ve son ısıtma şeklindeki bir prosesin girdi verileri, hesaplanmış çıktı verileri, psikometrk diyagram proses görünümü ve veri tabanı veri ekranı verilmiştir. Psikometrik tabloların termodinamik özelliklerinin hesaplanmasında en kritik nokta su buharının ve kuru havanın termodinamik özelliklerinin hesaplanarak psikometrik tablo da dediğimiz nemli havanın termodinamik özelliklerini elde etmektir. Su buharının termodinamik özelliklerini irdeleyen steam.java programı, ideal gazların termodinamik özelliklerini hesaplayan idealgaz.java programı, bu iki programı kullanarak yaş havanın termodinamik özelliklerini hesaplayan yashava.java programı geliştirilmiş ve kullanıcı arayüzleriyle birlikte sunulmuştur. Nemli

havanın termodinamik özelliklerini irdelemek için önce su buharının termodinamik özellikleri ve kuru havanın termodinamik özelliklerinin nasıl hesaplanacağını irdelemek gereklidir. Nemli hava (kuru havayı saf gaz kabul edersek), kuru hava ve su buharı karışımından oluşan bir gaz karışımıdır. Kuru hava özgül ısı denklemi :

$$C_{p_i}(T) = A_i + B_i \cdot 10^{-3} \cdot T + C_i \cdot 10^5 / T^2 + D_i \cdot 10^{-6} \cdot T^2 \quad T_{Li} \geq T > T_{Hi} \quad \text{KJ/kmol K} \quad (1)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Buradaki A_i , B_i , C_i , ve D_i denklemin T_{Li} ve T_{Hi} sıcaklık bölgesinde geçerli olan denkleminin katsayılarıdır. Çeşitli sıcaklık aralıkları için çeşitli katsayılar tanımlanabilir. Hava için kullanılan katsayılar tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Hava için özgül ısı kısmi devamlı denklemin, n katsayıları

A_i KJ/kmol K	B_i $10^3 \cdot \text{KJ}/(\text{kmolK}^2)$	C_i $10^{-5} \cdot \text{KJ K}/\text{kmol}$	D_i $10^6 \cdot \text{KJ}/(\text{kmolK}^2)$	T_{Li} K	T_{Hi} K
29.04716131384	-0.43371335025	-0.00000234324	1.81771922391	298	300
27.20780497541	2.82769845957	0.65953188644	3.73015894390	300	700
23.15288750543	13.57204518133	1.77125763993	-3.86191395226	700	1200
32.62636562076	2.90565403695	-21.59492884110	-0.42617207916	1200	2000
34.28187299595	1.66394564405	-30.46167281155	-0.16319414802	2000	3000
40.90907696143	-0.88928617682	-166.78890105869	0.11814251617	3000	6000

Entalpi denklemi denklem 2 de verildiği gibidir ve denklem 1 in integrasyonundan oluşur. C_{p_i} denklemi kısmi devamlı olduğu için toplam entalpi integrasyonun yanında kısmi devamlı bölgelerin entalpilerinin toplamından oluşur.

$$h(T) = h_0 + \left(\sum_{i=1}^{N-1} \int_{T_{Li}}^{T_{Hi}} C_{p_i}(T) \cdot dT \right) + \int_{T_{Li}}^T C_{p_i}(T) dT \quad (2)$$

bu denklemdeki h_0 entalpi sabiti referans değer olarak alınan 298 K noktasındaki entalpi olup değeri $h_0=8636.3959339$ KJ/kmol olarak alınmıştır. Entropi formülü de entalpi formülünden çıkarılabilir

$$s(T, P) = s_0 + \left(\sum_{i=1}^{N-1} \int_{T_{Li}}^{T_{Hi}} \frac{C_{p_i}(T)}{T} \cdot dT \right) + \int_{T_{Li}}^T \frac{C_{p_i}(T)}{T} dT + R \ln \frac{P}{P_0} \quad (3)$$

buradaki $s_0=49.101193319821995$ KJ/kmolK dir. Referans basınç $P_0=1$ bar olarak alınmıştır. Havanın formülü $O_{0.419642}N_{1.561756}Ar_{0.009301}C_{0.0003}$ olarak alınmıştır ve bu formülle havanın moleküler ağırlığını $M=28.964197$ kg/kmol olarak hesaplar. Entalpi ve entropi değerleri M değeri kullanılarak KJ/kg bazına dönüştürülür.

Su buharının termodinamik özelliklerinin hesaplanmasında J.H. Keenan, F.G. Keyes , P.G. Hill and J.G. Moore tarafından verilen [referans 1] denklemler kullanılmıştır. Su buharı için bazı yaş havanın bazı hesaplarında ideal gaz kabulü yapıyorsa da burada su buharı gerçek gaz olarak kabul edilmiştir. Gerçek gazlar genelde hal denklemleri denen ve $P(T, v)$ şeklinde ifade edilebilecek kompleks denklem sistemleriyle ifade edilirler. Burada P basınç. T sıcaklık ve v özgül hacmi ifade etmektedir. Keenan, Keyes, Hill ve Moore denkleminde hal denklemi Helmholtz serbest enerjisi (Ψ) formunda verilmiştir.

$$\Psi(T, \rho) = \Psi_0(T) + RT(\ln(\rho) + \rho Q(\rho, \tau)) \quad (4)$$

$$\Psi_0(T) = \sum_{i=1}^6 C_i / \tau^{i-1} + C_7 \ln T + C_8 \ln T / \tau \quad (4a)$$

$$Q(\rho, \tau) = (\tau - \tau_c) \sum_{j=1}^7 (\tau - \tau_{aj})^{j-2} \left[\sum_{i=1}^8 A_{ij} (\rho - \rho_{aj})^{i-1} + e^{-E\rho} \sum_{i=1}^8 A_{ij} \rho^{i-9} \right] \quad (4b)$$

Bu denklemde $\tau=1000/T$, T K cinsinden sıcaklık değeridir, $R=4.6151 \text{ barcm}^3/\text{gramK}$ gaz sabitidir. A_{ij} ve C_i ve $E = 4.8$ denklem sabitleridir. ρ yoğunluk değeridir. A sabitinin değerleri Tablo 2 de verilmiştir τ_{aj} ve ρ_{aj} tanımları

$$\begin{array}{lll} j=1 \text{ için } \tau_{aj} = \tau_c = 1000/T_c & \rho_{aj} = 0.634 & (T_c \text{ kritik sıcaklık}) \\ j>1 \text{ için } \tau_{aj} = 2.5 & \rho_{aj} = 1.0 & \text{şeklinde verilmiştir.} \end{array}$$

Tablo 2 : Su buharı Helmholtz serbest enerjisi hal denklemi Ψ ((T, ρ) katsayıları

A_{ij}	1	2	3	4	5	6	7
1	29.492937	-5.198586	6.833535	-0.156410	-6.397241	-3.966140	-0.690486
2	-132.139170	7.777918	-26.149751	-0.725461	26.409282	15.453061	2.740742
3	274.646320	-33.301902	65.326396	-9.273429	-47.740374	-29.142470	-5.102807
4	-360.938280	-16.254622	-26.181978	4.312584	56.323130	29.568796	3.963609
5	342.184310	177.310740	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	-244.500420	127.487420	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	155.185350	137.461530	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	5.972849	155.978360	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
9	-410.308480	337.311800	137.466180	6.787498	136.873170	79.847970	13.041253
10	-416.058600	209.888660	733.968480	10.401717	645.818800	399.175700	71.531353

$\Psi_0(T)$ denkleminde geçen C katsayıları ise Tablo 3 de verilmiştir.

Tablo 3 : Su buharı Helmholtz serbest enerjisi hal denklemi Ψ ((T, ρ) katsayıları

C	
1	1857.065
2	3229.12
3	-419.465
4	36.6649
5	-20.5516
6	4.85233
7	46.0
8	-1011.249

Türevler cinsinden termodinamik fonksiyonlar şu şekilde tanımlanmıştır:

$$P = \rho^2 (\delta\psi / \delta\rho)_\tau \quad (5a)$$

$$u = [\delta(\psi\tau) / \delta\tau]_\rho \quad (5b)$$

$$s = -(\delta\psi / \delta T)_\rho \quad (5c)$$

$$h = u + Pv \quad (5d)$$

Doymuş su buharı basınç sıcaklık ilişkisi(kaynama eğrisi) aşağıdaki bağıntıyla aynı kaynaktan verilmiştir.:

$$P_s = P_c \cdot \exp[\tau \cdot 10^{-5} (T_c - T)] \sum_{i=1}^8 F_i (0.65 - 0.01T)^{i-1} \quad (7)$$

Buradaki F_i katsayıları sabittir ve tablo 4 de verilmiştir. T_c and P_c kritik basınç ve sıcaklık değerlerini ifade eder.

Tablo 4 : su buharı buhar doyma eğrisi katsayıları

F	
1	-741.9242
2	-29.721
3	-11.55286
4	-0.8685635
5	0.1094098
6	0.439993
7	0.2520658
8	0.05218684

Yukarıda tanımlanan temel denklemler kullanılarak su buharının termodinamik özelliklerini hesaplayan steam.java programı geliştirilmiştir.

Kuru hava ve su buharının özelliklerinin hesap yöntemlerine bir göz attık. Şimdi bu programları yaş havanın termodinamik özelliklerini hesaplayacak şekilde bir araya getirelim. Karışım yasalarının temeli iki gazın birlikte bulduklarında kısmi basınçlarının toplam basıncı oluşturması ilkesine dayanır:

$$P = P_{\text{kuru hava}} + P_{\text{su buharı}} \quad (8)$$

Gazların kütlelerinin toplamı da toplam gaz kütlelerini oluşturur:

$$m = m_{\text{kuru hava}} + m_{\text{su buharı}} \quad (9)$$

Su buharı kütlelerinin kuru hava kütlelerine oranı özgül nem olarak adlandırılır:

$$w = m_{\text{su buharı}} / m_{\text{kuru hava}} \quad (10)$$

Özgül nemin değeri bu iki bağıntı ve karışımdaki her iki gazın da ideal gaz olduğu kabulü ile hesaplanabilir. Gazların aynı hacmi işgal ettikleri göz önüne alınırsa:

$$P_{\text{kuru hava}} V = m_{\text{kuru hava}} * (R/M_{\text{kuru hava}}) T \quad (11a)$$

$$P_{\text{su buharı}} V = m_{\text{su buharı}} * (R/M_{\text{su buharı}}) T \quad (11b)$$

Burada P basınç, m kütle, T Kelvin cinsinden sıcaklık değeridir. 8 eşitlikleri 7 de yerine konursa

$$w = \{P_{\text{su buharı}} V / [(1/M_{\text{su buharı}}) T]\} / \{P_{\text{kuru hava}} / [m_{\text{kuru hava}} * (1/M_{\text{kuru hava}})]\} \quad (12)$$

$$w = (M_{\text{su buharı}}/M_{\text{kuru hava}}) P_{\text{su buharı}} / P_{\text{kuru hava}} = (M_{\text{su buharı}}/M_{\text{kuru hava}}) P_{\text{su buharı}} / (P - P_{\text{su buharı}}) \quad (13)$$

bağıntısı elde edilir. Su buharının kısmi basıncı ve toplam basınç biliniyorsa havadaki nem miktarı hesaplanabilir. Denklemdaki molar kütle oranı $(M_{\text{su buharı}}/M_{\text{kuru hava}}) = (18.016/28.964197) = 0.6220093$ sayısına eşittir. Yaş hava hesaplarında kullanılan diğer bir kavram da bağıl nem kavramıdır. Bağıl nem su buharı molar yüzdesinin aynı sıcaklıktaki doymuş su buharı molar yüzdesine oranıdır.

$$\Phi = x_{\text{su buharı}}/x_{\text{doymuş su buharı}} = P_{\text{su buharı}}/P_{\text{doymuş su buharı}} \quad (14)$$

Benzer bir kavramda doyma yüzdesidir. su buharı kütleli yüzdesinin aynı sıcaklıktaki doymuş su buharı kütleli yüzdesine oranıdır.

$$\mu = m_{\text{su buharı}}/m_{\text{doymuş su buharı}} = w_{\text{su buharı}}/w_{\text{doymuş su buharı}} \quad (15)$$

Yaş havanın entalpisi de kuru hava ve su buharının entalpilerinden hesaplanır.

$$H = m_{\text{kuru hava}} * h_{\text{kuru hava}} + m_{\text{su buharı}} h_{\text{su buharı}} \quad (16)$$

$$H = H / m_{\text{kuru hava}} = h_{\text{kuru hava}} + (m_{\text{su buharı}} / m_{\text{kuru hava}}) h_{\text{su buharı}} = h_{\text{kuru hava}} + w h_{\text{su buharı}} \quad (16a)$$

Entropi fonksiyonu da aynı şekilde hesaplanır.

$$S = m_{\text{kuru hava}} * s_{\text{kuru hava}} + m_{\text{su buharı}} s_{\text{su buharı}} \quad (16)$$

$$s = S / m_{\text{kuru hava}} = s_{\text{kuru hava}} + (m_{\text{su buharı}} / m_{\text{kuru hava}}) s_{\text{su buharı}} = s_{\text{kuru hava}} + w s_{\text{su buharı}} \quad (16a)$$

Yaş hava için kullandığımız diğer bir kavram da adyabatik doyma sıcaklığıdır. Hava sonsuz uzunlukta tamamen izole edilmiş su ile dolu bir kanaldan geçirilirken doyma noktasına ulaşır. Doyma noktasına ulaşmış suyun sıcaklığında yaş havanın sıcaklığına adyabatik doyma sıcaklığı adı verilir. Termodinamik ideal bir kavramdır. Enerji dengesinden hesaplanabilir.

Giren havanın enerjisi+ buharlaşan suyun enerjisi = doymuş havanın enerjisi olduğundan

$$h + (w^* - w) h_{\text{su}}^* = h^* \quad (17)$$

burada h: kanala giren yaş havanın entalpisi, h^{*}: doymuş yaş havanın entalpisi, h^{*}_{su}: kanalda bulunan ve bir kısmı sıvılaşan suyun entalpisi ve w^{*} ise doymuş yaş havanın entalpisi. Bu denklemin çözümü bize T^{*} adyabatik doyma sıcaklığını verir. Adyabatik doyma sıcaklığı termodinamik yaş termometre sıcaklığı olarak da anılır. Yaş havayla ilgili tanımlanması gereken son özellikte çığ noktası sıcaklığıdır. Yaş havanın basıncını değiştirmeden sıcaklığını düşürdüğümüzde aynı basınç altında yoğuşmanın başladığı sıcaklık olarak tanımlıyabiliriz. Verilen kısmi basınç için su buharı yoğuşma sıcaklığına eşittir. Yukarıda belirtilen denklemler kullanılarak yashava.java programı geliştirilmiştir. Görüldüğü gibi nemli havanın termodinamik özelliklerinin geliştirilmesi bu tür bir simülasyon programlamasının en zahmetli kısmını oluşturur. Simulasyonda gerçekleştirilen diğer bir önemli hesaplama ısı geştiricilerinin performanslarını saptanmasıdır. Deneysel olarak ısı geştiricilerin kapasiteleri bilinmektedir. Aynı kapasiteler teorik denklemler kullanılarak hesaplanır ve bir karşılaştırma ortamı sağlanmış olur. Tüm sistem elemanlarını birlikte davranışının teorik ve ölçüm sonuçlarının irdelenmesinden çıkan sonuçları sistem parametreleri ve çıktılarını oluşturur. Gerçek zamanlı programlama zaman içinde yapıldığından her bir zaman adımının tüm hesaplamaların rahatlıkla yapılabileceği şekilde seçilmesi de önemlidir. Genellikle havalandırma proseslerinde zaman adımlarının çok küçük olması gerekmektedir. Programların bir kısmı www.turhancoban.com adresinden alınabilir.

4. SONUÇLAR VE İRDELEME

Bu makalede geliştirmiş olduğumuz deney sistemi ve deney sistemindeki simülasyon sistemleri hakkında temel bir tanım verilmiştir. Bu tür sistemlerin eğitimde kullanılması öğrencilerin deneyerek öğrenmesini sağlayacağından hem Pratik prosesi öğrenmelerine, hem de simülasyonlar altında bulunan tüm havalandırma sistemi teorisini daha iyi kavramalarına yardımcı olacağı kanısındayız.

5. REFERANSLAR

1. Keenan, J; Keyes, F.G; Hill, P.G.; Moore, J.G., Steam Tables, Thermodynamic Properties of Water Including Vapor, Liquid and Solid, Wiley Interscience publication, 1969, ISBN 0-471-04210-2
2. Ihsan Barin, Thermochemical Data of Pure Substances, VCH publishing, 1989, ISBN 3-527-27812-5
3. N.B. Vargaftick, Table of Thermophysical Properties of Liquids and Gases, 1975, Hemisphere Publishing
4. Thomas H. Kuehn, Jams W. Ramsey, James L. Threlkeld, Thermal Environmental Engineering, Prentice Hall, 3üncü baskı, 1998, ISBN 0-13-917220-3
5. M. Turhan Çoban, Java 2 Programlama Kılavuzu, ALFA yayınevi, ticarethane sok no 41/1 34410

cagaloglu Istanbul, ISBN 975-316-631-1

6. Kenneth Wark, Jr. Thermodynamics, Mc-Graw Hill International Editions, 5inci baskı, 1989,
ISBN 0-07-068286-0

7. Psychrometry and Psychrometric Charts, A.W. Barenburg, Third Edition, Chamber of Mines of
South Africa