

Hashimoto, Yasushi, Tetsuo Morimoto, and Josse De Baerdemaeker. 2006. Section 5.3 Speaking Plant / Speaking Fruit Approaches, pp. 244-259 of Chapter 5 Precision Agriculture, in CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume VI Information Technology. Edited by CIGR-The International Commission of Agricultural Engineering; Volume Editor, Axel Munack. St. Joseph, Michigan, USA: ASABE. Copyright American Society of Agricultural Engineers.

Çevirmen: Şenay ÖZGEN

Çeviri Editörleri: Sefa TARHAN ve Mehmet Metin ÖZGÜVEN

## 5.3 Konuşan Bitki/Konuşan Meyve Yaklaşımları

Yazarlar: Y. Hashimoto, T. Morimoto ve J. De Baerdemaeker

Çevirmen: Şenay ÖZGEN

**Özet:** Bilinçli bir üretici görsel bilgilerini ve sezgilerini kullanarak bitkilerle iletişim kurabilir ve yüksek verimli bitkiler yetiştirebilir. Bilimsel olarak bitkisel üretimi optimize etmek için bitkilerin fizyolojik tepkilerinin sensörler yardımı ile ölçülmesi ve bu bilgilerin bitkilerin kontrolü için kullanılması oldukça büyük önem taşır. Bu tip yaklaşımlar çevresel faktörlerin giriş değişkenleri, bitkilerin vermiş olduğu reaksiyonların ise çıkış değişkenleri olduğu konuşan bitki yaklaşımı (SPA, Speaking Plant Approach) olarak adlandırılan yaklaşımlardır. Konuşan bitki terimi sensörler kullanılarak bitkilerin tepkilerinin ölçülmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşım aynı zamanda depolama işlemleri için de geçerli olup konuşan meyve yaklaşımı olarak isimlendirilir (SFA, Speaking Fruit Approach). Çevresel faktörlerin etkili olduğu bitki veya meyvenin tepkilerinin ölçülmesi, sorunun belirlenmesi ve optimize edilmesi SPA (veya SFA) için oldukça önemli bir görevdir. Ancak, bu görevlerin yeterli düzeyde belirlenebilmesi oldukça zordur çünkü bitkilerin verdiği tepkiler karmaşık ve değişkendir, fakat akıllı kontrol teknikleri bu tip görevleri oldukça kolaylaştırır. Bu bölümde SPA ve SFA kavramlarının tanıtımı yapılarak SPA ve SFA için akıllı kontrol teknikleri sunulmaktadır. Son olarak, yetiştiricilik ve depolama süreçlerinin optimizasyonu için akıllı kontrol tekniklerinin temel alındığı bitki ve meyvelerin niteliksel gelişimini hedef alan SP (Speaking Plant) veya SF (Speaking Fruit) uygulamalarından bahsedilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** SPA, SFA, Sensörler, Bitkilerin tepkileri, Meyvelerin tepkileri, Ölçme, Tanımlama, Optimizasyon, Çevreyi koruma, Konuşan bitki, Konuşan meyve.

### 5.3.1 Giriş

Tüketicinin alım gücünün artmasıyla beraber kaliteli tarımsal ürünlere, özellikle kimyasal girdinin kullanılmadığı ürünlere talebi de artmaktadır. Bu tarz tüketiciler için daha kaliteli ürünler elde etmek üzere sera ortamında gelişmiş kontrol teknikleri uygulanmaktadır [1-3]. Ancak, üzerinde çalışılan kontrol değişkeni sadece çevresel faktörlerin optimizasyonu olup bitki büyümesinin optimizasyonu konusu dikkate alınmamaktadır. Bu muhtemelen fizyolojik tepkilerin karmaşık olmasından kaynaklanmaktadır.

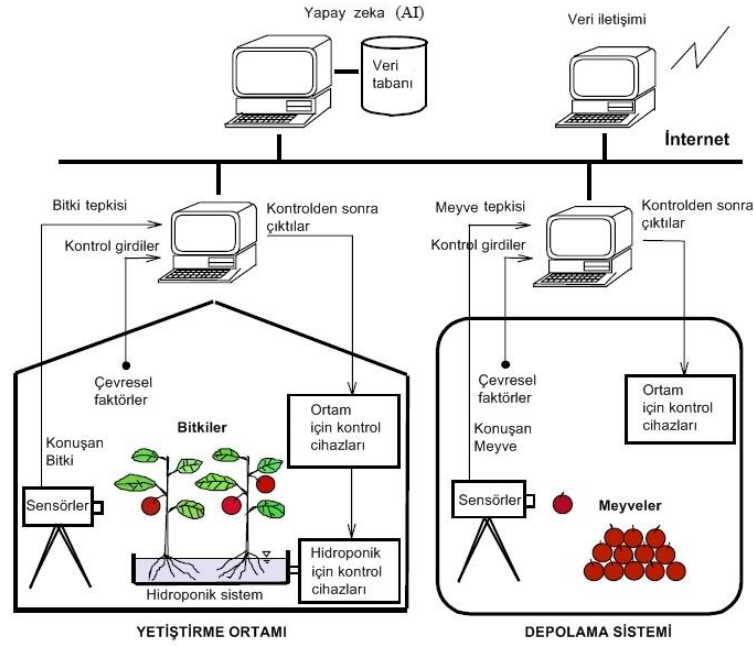
Bitki büyümesini optimize etmek için, öncelikle bitkilerin fizyolojik tepkilerinin ölçülmesi mevcut fizyolojik durumlarının belirlenmesi ve daha sonra çevresel etmenlerin kontrolünü sağlayarak optimizasyon yapılması oldukça etkili yöntemdir. Üreticiler sensörler yardımıyla bitkiler ile iletişim kurarak çevresel etmenleri optimum seviyede kontrol etmelidirler. Bu yaklaşım, çevresel faktörlerin girdi, bitkilerin tepkilerinin çıktı olarak tanımladığı konuşan bitki yaklaşımı olarak adlandırılır [4-8]. Konuşan bitki terimi bitkilerin tepkilerinin sensörler yolu ile ölçülmesini ifade etmektedir.

Konuşan meyve yaklaşım kavramı depolama aşamasında ki optimizasyon için ilgi konusu olmuştur [9,10]. Şu anda, depolama süresince çevresel faktörler genelde sabit tutulur. Genel olarak, depolama işlemi statik bir sistem olarak kabul edildiğinden dolayı genellikle sabit düşük bir sıcaklık kullanılır. Ancak bu koşullar altında meyvenin kalitesinde herhangi bir iyileşme elde etmek zordur. Yapılan son çalışmalar, depolamadan sonra meyvelerin bir kaç gün yüksek sıcaklığa maruz bırakılmaları sonucu, meyve de etilen üretiminin durdurduğunu ve dolayısıyla olgunlaşmanın geciktiğini göstermiştir [11,12]. Bu çalışmaların sonuçları, depolama işleminin dinamik bir sistem olduğunu ve esnek kontrol sistemlerinin meyve kalitesinin iyileştirilmesi için yararlı olduğunu göstermiştir.

Bu bölümde, yetiştiricilik sürecindeki SPA ve depolama sürecindeki SFA tanımlanarak bunların bitki büyümesi (topraksız yetiştiricilik) ve depolama sırasında meyvelerin olgunlaşması üzerine uygulamaları anlatılacaktır.

### **5.3.2 SPA ve SFA Tabanlı Bilgisayar Kontrol Sistemi**

Şekil 1’de bitki yetiştirme ve meyve depolama sistemlerinde SPA ve SFA kavramları temel alınarak oluşturulmuş bilgisayarlı kontrol sistem diyagramı bulunmaktadır. Bu iki kavram baz alınarak çevresel faktörlerin düzenlenmesi sonucu bitkilerin yetiştirilme ve meyvelerin depolama aşamasında vermiş oldukları fizyolojik tepkiler optimum seviyede kontrol edilmektedir. Bitkilerin yetiştirilme süreci içerisinde fotosentez ve solunum miktarlarının sensörler yardımı ile bitki tahrip edilmeden ölçülmesi bitkinin mevcut fizyolojik durumunun belirlenmesinde yardımcı olmaktadır. Depolama sürecinde; su kaybı, solunum hızı ve kabuk rengi gibi meyve tepkileri meyvenin mevcut fizyolojik durumunu anlamak için ölçülmektedir. Bitki ve meyvelerin tepkilerinin temel alınarak sera ve depolarda optimum kontrol sağlanması bunların kaliteli gelişimleri için oldukça önemlidir. Bu nedenle, hem bitkilerin tepkisi ve çevresel faktörler hem de bitkilerin tepkilerinin optimizasyonu SPA’nın ana görevleridir.



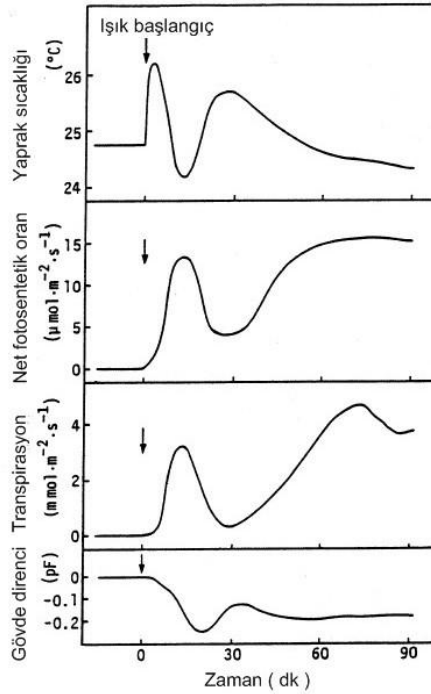
Şekil 1. Bitki yetiştirme ve depolama sistemlerini içeren SPA ve SFA kavramlarına dayalı merkezi bilgisayar kontrol sistemine bağlı bir üretim sistemi.

### Ölçüm Teknikleri

SPA'nın ilk adımı, tahrip edilmemiş bütün halindeki bitkinin tepkilerini farklı tipteki sensörler yardımı ile ölçmektir [13,14]. Bitkilerin vermiş olduğu tepkilerden alınmış olan bilgilerin bir araya getirilmesi, bitkinin mevcut fizyolojik durumu hakkında doğru tahmin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Tahribatsız (veya temassız) algılama çevrimiçi kontrol için de etkilidir. Bu bulgular, bitkinin büyüme ve gelişmesi için yaprak sıcaklığı için kızılötesi termometre [4,14], fotosentez hızı için kızılötesi CO<sub>2</sub> analizörü, yaprakların biyoelektrik potansiyeli için yüzey elektrotları [17], gövde ve dallardaki su içeriğini belirlemek için gövde kapasite ölçer ve köklerden bitki besin maddesi alımı için iyon seçici sensörler [18] içeren bir görüntü işleme sisteminin kullanılabileceğini göstermektedir [15,16].

Şekil 2, çevresel etmenlerin oldukça sıkı bir şekilde kontrol edildiği bir ortamda, radyasyondan etkilenen bitkilerin vermiş olduğu temel tepkileri göstermektedir. Bitki ışığa maruz kalınca, radyant enerjideki ani değişiklikten dolayı başlangıçta yaprak sıcaklığı artmakta fakat terlemenin artması ile sıcaklık dramatik şekilde düşmeye başlamaktadır. Fotosentez oranı artmaya başlamış daha sonra maksimum değere ulaşmıştır. Aynı dönemde, gövde elektriksel kapasitesi azalmaya devam etmiştir. Bu süreden sonra, terlemenin aşırı miktarda yükselmesi ve su stresinin meydana gelmesi sonucu stomaların kapanmasına bağlı olarak terleme ve fotosentez miktarları ciddi bir şekilde azaltılmıştır [19]. Aynı zamanda, yaprak sıcaklığı çok daha yükselmiş ve gövde elektriksel kapasitesi de artmıştır. Daha sonra,

terleme ve fotosentez miktarları tekrar artmış ve daha sonra sabitlenmiştir. Aynı zamanda, yaprak sıcaklığı ve gövde elektriksel kapasitesi kademeli olarak azalmış ve daha sonra sabit düzeye ulaşmıştır. Bu olaylar, stomaların tekrar açılması ile bitkilerde su içeriğinin artması sonucunda gerçekleşmiştir. Bu durum, çeşitli bitki tepkilerinin birbiriyle yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Kontrollü bir ortamda ( $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 'de ve  $60 \pm \%2$  bağıl nem). radyasyona maruz bırakılan domates bitkilerinin verdiği temel tepkiler (yaprak sıcaklığı, fotosentez oranı, transpirasyon ve gövde elektriksel kapasitesi).

### **Optimizasyon Tekniği**

De Baerdemaeker ve Hashimoto Milano'daki CIGR kongresinde SPA ve SFA yaklaşımlarını tanıtan sunu yapmışlardır [9]. Morimoto ve ark. bitkinin (veya meyvenin) optimizasyonu için konuşan bitki (veya konuşan meyve) tabanlı kontrol sistemi önermiştir [25]. Bu sistem (Şekil 3), karar verme sistemi ve geri besleme kontrol sisteminden oluşmaktadır. Önceki bileşen, çevresel etmenlerin optimum yörünge noktasını (=optimum değer) belirler; sonraki bileşen, karar sistemi tarafından belirlenen optimal ayar noktalarını kullanarak ortamı kontrol etmektedir [25,26]. Karar verme sistemi, ilk önce çevresel faktörlerden etkilenmiş olan mevcut bitki tepkilerini ölçer (İşlem A) ve ardından tanımlama tekniğini (İşlem B) kullanarak tanımlama yapmaktadır.

Ayrıca, bitki tepkisini maksimize eden çevrenin optimum l-adım ayar noktaları (kalite ile ilgili) optimizasyon tekniği kullanılarak belirlenen modelin simülasyonu tarafından aranır (İşlem C). Son olarak, en uygun ayar noktaları ardışık olarak geri besleme kontrol sisteminde ki ayar noktalarına (İşlem D) uygulanır. Belirleme ve



gelişmesine göre daha aktif durumdadır. Aktif vejetatif büyüme üreme organlarının zayıf gelişmesine neden olmaktadır.

Bu iki büyüme arasındaki denge daha fide aşamasında belirlendiği bilinmektedir. Fide aşamasında, sadece gövde büyümesi, yaprak büyümesi ve kök büyümesi gözlenir. Luo ve Kato [34] S/R oranının (S=gövde kuru ağırlığı, R=kök kuru ağırlığı) bitkinin gelişiminin tahmin edilmesi için kullanılabilecek iyi bir indikatör olduğunu ve bu değer küçük olmasının daha iyi verim anlamına geldiğini göstermiştir. Bizim çalışmalarımızın sonuçları da toprak üstü aksamının fazla olmasının çiçeklenmenin az olması anlamına geldiğini göstermiştir. Fakat, bu durumda, yaprak gelişiminin ölçülmesi kök gelişiminin ölçülmesinden daha kolay olduğu için yaprak büyümesi tahmin için kullanılmıştır. Aynı zamanda, yaprak alanının fazla olması bitkinin fotosentetik üretimini teşvik ettiği için avantajlı olduğu kabul edilmiştir. Bu bulgulara bakıldığında, toplam yaprak uzunluğunun (TLL, Total Leaf Length) gövde çapına (SD, Stem Diameter) oranı (TLL/SD) bitkinin gelecekteki büyümesinin belirlenebilmesi için prediktör olarak kullanılabileceğini ve fide aşamasında kontrol altına alınabileceğini göstermiştir. TLL/SD oranını yükseltmek için yapılan kontroller yalnızca fide aşamasında değeri olabileceği düşünülmektedir.

Burada, kontrol girişi hidrofonik çözeltinin besin konsantrasyonudur. Bilinçli yetiştiriciler genellikle bitkiler büyüdükçe besin solüsyonunun konsantrasyonunu artırırlar.

TLL(k)/SD(k) oranını TLL/SD oranının zaman serisi olduğunu ve besin konsantrasyonundan NC(k) (k örnekleme günü olup, k=1,...,N ve N=son gündür) etkilendiğini kabul edelim. Işık yoğunluğu L(k) aynı zamanda giriş verisi olarak kullanıldı, fakat her zaman TLL(k)/SD(k) belirlenmesinde sabit tutuldu.

Kontrol süreci uygulaması (fide aşaması:  $1 \leq k \leq N$ ) dört adımda incelendi: 1. Adım, fide dikimi (1~N1L), 2. Adım fide dikiminden sonra vejetatif büyüme (N1L+1~N2L), 3. Adım ilk salkımlarda çiçeklenme (N2L+1~N3L), ve 4. Adımda ilk salkımlarda meyve oluşumu ve ikinci salkımlarda çiçeklenme (N3L+1~N). TLL/SD ortalama değeri son adımda amaç fonksiyonu olarak verildi.

$$F_1(NC) = \sum_{k=N_{3L}+1}^N \frac{\frac{TLL(k)}{SD(k)}}{N - N_{3L} + 1} \quad (1)$$

Burada ki optimizasyon problemi optimal 4 adımdan oluşan F1 (NC)'yi maksimize eden besin konsantrasyonlarının, NC1, NC2, NC3 ve NC4 ayar noktalarının belirlenmesidir. Besin konsantrasyonu  $0,2 < NC(k) < 2,0$  (mS/cm) ile sınırladığı ön deneyler aracılığıyla tespit edilmiştir.

$$F_1(NC) \text{ maksimum edilsin} \quad (2)$$
$$0,2 < NC(k) < 2,0 \text{ (mS/cm) aralığında kalsın}$$

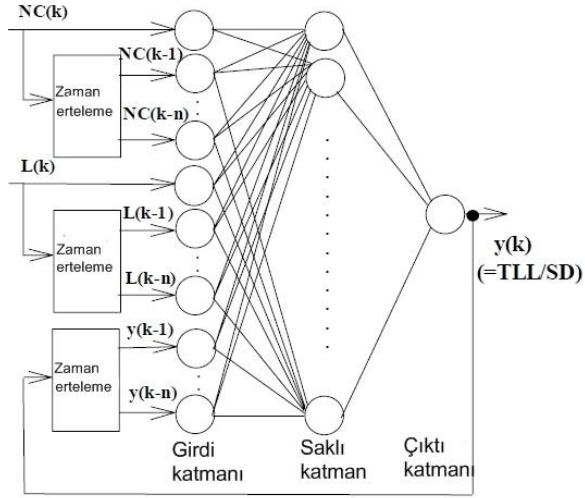
### ***Optimizasyon için SP Tabanlı Akıllı Kontrol Sistemi***

Konuşan bitki optimizasyonuna dayanan kontrol sisteminin optimizasyonu Şekil 3'te gösterilmiştir. Karar verme sisteminde, ilk olarak solüsyonun besin konsantrasyonuna bağlı olarak TLL/SD oranının belirlenmesinde bir sinir ağı kullanılmış ve daha sonra amaç fonksiyonunu maksimize eden besin konsantrasyonlarının 4 adımlı optimum ayar noktalarının bulunmasında genetik algoritma kullanılmıştır (Eşitlik1). Şekil 4, karar sistemini göstermektedir. Kısım(a) tanımlama için kullanılan zaman gecikmeli sinir ağıdır (Şekil 3, İşlem B). Bu üç katmandan oluşur. Cybenko [35] bir adet gizli katmanı olan üç katmanlı sinir ağının sürekli fonksiyonların başarılı bir şekilde belirlenmesine izin vereceğini vurgulamaktadır. Dinamik tanımlama için, verilerin zaman geçmişlerini üreten rastgele geribildirim döngüleri ağın gerekli unsurlarıdır.

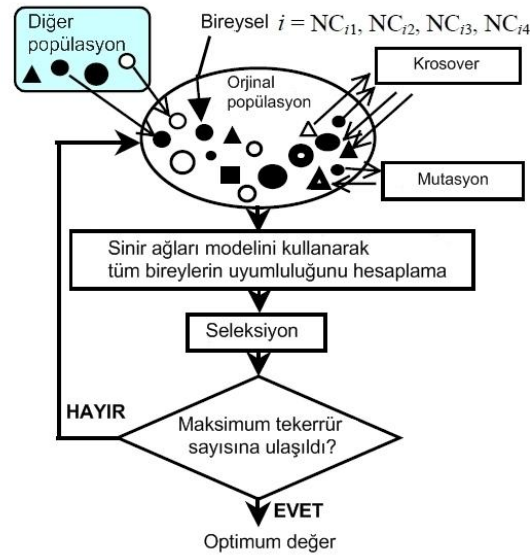
Mevcut çıktı  $y(k) = TLL(k)/SD(k)$  hem tarihsel veri girişi  $[NC(k), \dots, NC(k-n1), L(k), \dots, L(k-n1)]$  hem de tarihsel çıktı verilerinden  $[y(k-1), \dots, y(k-n1)]$  ( $n1$ =sistem parametrelerinin sayısı,  $NC(k)$ =besin konsantrasyonu, ve  $L(k)$ =ışık yoğunluğu) tahmin edilir [36]. Kullanılan öğrenme yöntemi, hata geriye yayılım algoritmasıdır [37]. Şekil 4(b) optimum değer belirlenmesi (Şekil 3, İşlem C) için kullanılan genetik algoritmanın akım şemasıdır. Bu optimizasyonun amacı besin konsantrasyonlarının dört adımlı ayar noktalarını belirlemek olduğu için her bir besin konsantrasyonu dört adımlı ayar noktaları olarak tanımlandı ve her ayar noktası 6 bit ikili dizi olarak kodlanmıştır. Bireyler kümesi "popülasyon" olarak adlandırıldı. Basit belirlenmiş sınırlama  $0.2 \leq NCI \leq 2.0$  (mS/cm) olarak tespit edilmiştir.

$$\text{Bireysel } i = NCI_1, NCI_2, NCI_3, NCI_4 = 100100, 001001, 001100, 101010$$

Amaç fonksiyonu aynı olan Eşitlik 1 ile uygunluk verilmiştir. Maksimum uygunluğa sahip olan birey bir optimal değer olarak kabul edilir. İşlem aşağıdaki gibidir. (1) Bir kaç bireyden oluşan ilk popülasyon tesadüfi üretilir. (2) Yeni bireyler çeşitliliği devam ettirmek için başka bir popülasyondan eklenir. (3) Krossover ve mutasyon operatörü rastgele seçilmiş bireyler için uygulanır. Krossover sayısı krossover oranına, mutasyon numaraları ise mutasyon oranına bağlı olarak değişir. (4) Tüm bireylerin uygunluk değerleri Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanır ve performansları değerlendirilir. Eşitlik 1'in değeri sinirsel ağ modelinin simülasyonu sonucu elde edildiğine dikkat edilmelidir. (5) Elitist strateji temel alınarak yeni nesil (seçim) için üstün bireyler seçilir ve tutulur. (6) Optimal değer elde edilene kadar 2 ile 5. adımlar arası tekrarlanır. Optimum değer maksimum uygunluğa sahip birey tarafından verilir.



(a) Tespit için kullanılan zaman ertelemeli sinir ağı



(b) Genetik algoritmanın akış şeması

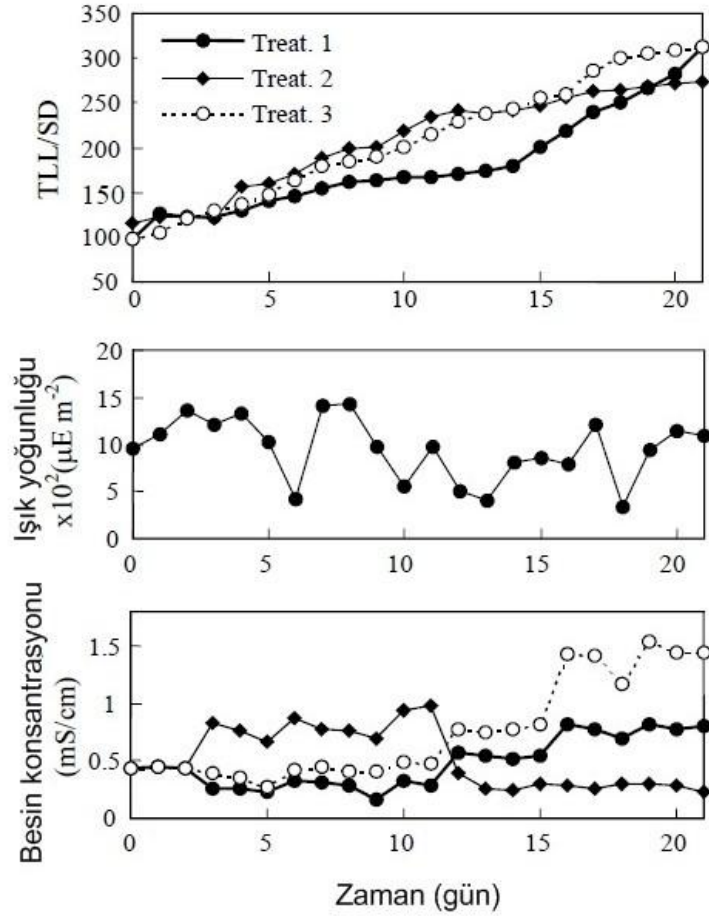
Şekil 4. Yukarıda Şekil 3'te verilen (a) sinir ağı ve (b) genetik algoritma dan oluşan karar verme sistemi.

### ***Besin Konsantrasyonunun TLL/SD Oranının Belirlenmesi***

İlk olarak, kimlik tespiti için (Şekil 3'ün A yöntemine bakılabilir) veriler elde edilir. Şekil 5 domates bitkilerinin fide döneminde günlük TLL/SD oranındaki değişiklik ile ışık yoğunluğu ve besin çözeltilisinin konsantrasyonunu göstermektedir. Üç farklı besin konsantrasyonu uygulamasında elde edilen TLL/SD oranının değişim eğrileri gösterilmektedir. Purwanto ve ark. [38] üç veya daha fazla veri setinin dinamik teşhis için gerekli olduğunu bulmuşlardır. Işık durumu tesadüfi olup sadece besin konsantrasyonu TLL/SD tepkisini tanımlanmak için değiştirilmiştir. TLL/SD değerinin belirgin bir şekilde besin konsantrasyonu tarafından etkilendiği bulunmuştur. Sonra besin konsantrasyonu için TLL/SD oranı sinir ağı (İşlem B)



kullanılarak tespit edilmiştir. Sistem parametre sayısı  $n_1$  ve sinir ağının gizli nöron sayısı  $N_h$  1 ve 5 olmak üzere çapraz doğrulama ile tespit edilmiştir. Bu işlemler ile, dört adımlı ayar noktalarının herhangi bir kombinasyonu altında TLL/SD oranının davranışını tahmin etmek için bilgisayar destekli bir model elde edilebilir.



Şekil 5. Hidrofonik sistemde yetiştirilen domates bitkilerinin günlük TLL/SD değişiklikleri (toplam yaprak uzunluğu/gövde çapı) ve fide dönemi süresince ışık yoğunluğu ile besin konsantrasyonu.

### ***Optimal Dört Adımlı Ayar Noktalarının (İşlem C) Aranması***

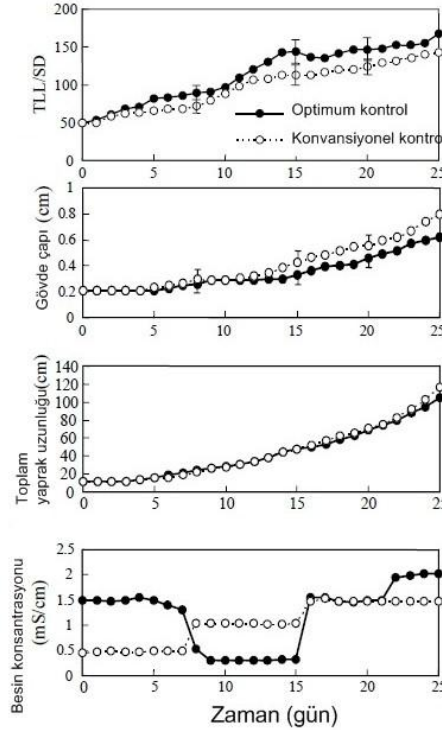
Bundan sonra, amaç fonksiyonunu maksimize eden besin konsantrasyonunun optimum dört adımlı ayar noktaları genetik algoritma (İşlem C) kullanılarak tespit edilen sinir ağı modeli simülasyon yoluyla incelenmiştir. Burada besin konsantrasyon aralığı 0,2 ila 2,0 mS/cm ile sınırlı kalmıştır. İlk adımda elde edilen optimum dört aşamalı bir ayar noktası biraz daha yüksek bir seviyede 1,4 mS/cm, ikinci adımda belirgin bir şekilde daha düşük düzeyde (0,3), üçüncü adımda biraz daha yüksek bir seviyede (1,6), ve maksimum seviye (2,0) dördüncü adımda elde edilmiştir.

Hidrofonik sistemde bitkilerin kökleri her zaman iyonların alımı için uygun bir ortamda olduğu için, vejetatif büyümede hızlı gelişmeler olur. Fide aşamasında aktif

vejetatif büyüme ilerleyen dönemde zayıf üreme artışı ile sonuçlanır [39]. Bu nedenle, vejetatif büyümenin fide döneminin başlarında, daha birinci salkım çiçekleri oluşmadan önce bastırılması gereklidir. İkinci adımda uygulanan düşük besin konsantrasyonu fide aşamasında aşırı vejetatif büyümenin baskılanması için etkili gibi görünmektedir. Üçüncü ve dördüncü aşamada yüksek besin konsantrasyonu üreme organlarının büyümesini hızlandırmada yararlı olduğu gözlenmektedir.

### ***Optimal Kontrol Performansı (İşlem D)***

Şekil 6, TLL/SD oranının gerçek kontrol performansını gösterir. Düz çizgi optimal kontrol performansını, noktalı çizgi ise konvansiyonel kontrol performansını temsil eder. Konvansiyonel strateji, besin konsantrasyonunu kademeli olarak artırarak bitkilerin büyümelerini sağlamaktır. Büyüme farklılıklarını kontrol etmek için t testi yapılmıştır. Her iki performans karşılaştırıldığında, TLL/SD oranı konvansiyonel kontrole oranla optimal kontrolde %10-15 daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni, her iki durumda da yaprak büyümesi çok farklı değil iken optimal kontrol sisteminde gövde büyümesinin ikinci adımda önemli ölçüde bastırılmasıdır. Böylece, bu tekniğin kontrol etkinliği deneysel olarak teyit edilmiştir.



Şekil 6. Besin konsantrasyonunun dört adım ayar noktasından etkilenen TLL (k) / SD (k) oranının gerçek optimal kontrol performansı.

### **5.3.4 Meyve Depolama Sürecine SFA Uygulama**

#### ***II. Optimizasyon Problemi***

Sabit ve düşük sıcaklıklarda (2-8°C) meyve depolama için uygun ortamlar olarak kabul edilir. Ancak son yıllarda, meyve kalitesini arttırmak için esnek kontrol

sistemine sahip depo ortamlarının daha etkili olduğu öne sürülmüştür [40]. Araştırmacılar, birkaç saat yüksek sıcaklıklara (35-40°C) maruz bırakılan meyvelerin etilen üretimini geciktirerek olgunlaşmayı engellediğini göstermiştir [11,12]. Olgunlaşmanın gecikmesi muhtemelen ısı şoku proteinlerinden (HSPs, Heat Shock Proteins) kaynaklanmaktadır. Isı stresine maruz kalan yaşayan organizmaların sıcaklık stresine maruz kaldıklarında farklı tipte ısı şoku proteinleri oluşturduğu bilinmektedir [41,42]. Bu stres yanıtlarının etkin kullanımı sonucu depolama esnasında meyve kalitesinde iyileşme gözlenmektedir.

Bu çalışma için domates (*Lycopersicon esculentum* Mill. Cv. Momotaro) meyveleri kullanılmıştır. Bu çalışmanın amacı, domates olgunlaşmasını en aza indirecek optimal ısı stresi uygulamasını elde etmektir.

Kümülatif yanıt olarak karakterize edilen k zamanındaki T(k) sıcaklığından etkilenen renk değişiminin zaman serisini C (k) (k = 1, 2, ..., N) olarak tanımlayalım. Amaç fonksiyonu F2(T) iki değerlendirme faktörü olarak verilir: renk değişiminin büyüklüğü ve değişimin oranı.

$$F_2(T) = \alpha \cdot \sum_{k=N-3}^N C(k) + \beta \cdot \sum_{k=N-3}^N \{C(k) - C(k-1)\} \quad (3)$$

Kontrol süreci sekiz adıma bölünmüştür. Burada ki optimizasyon problemi, amaç fonksiyonunu en aza indiren sıcaklığın sekiz adımlı ayar noktalarının belirlenmesidir. Sıcaklık  $5 < T(k) < 35^\circ\text{C}$  sınırları arasındadır. Domates meyvelerinin olgunlaşması kabuk renginin renk ölçer ile ölçülmesi sonucu (Minolta CR-200b) tahmin edilmiştir. Kabuk renginin değerlendirilmesinde L.C.H. sisteminden elde edilen hue değeri kullanılmıştır [43].

### ***Optimizasyon İçin SF Tabanlı Akıllı Kontrol Sistemi***

Konuşan meyve (SF) tabanlı akıllı kontrol sistemi konuşan bitki (SP) tabanlı sistemle aynıdır. Sinir ağı ilk olarak sıcaklıktan etkilenen domates meyvelerindeki renk değişiminin belirlenmesinde kullanılmıştır. Daha sonra, belirlenen modelin simülasyonu ile amaç fonksiyonunu (Eşitlik 3) minimize etmede kullanılan sekiz adımlı ayar noktalarının araştırılması için genetik algoritma modeli kullanılmıştır.

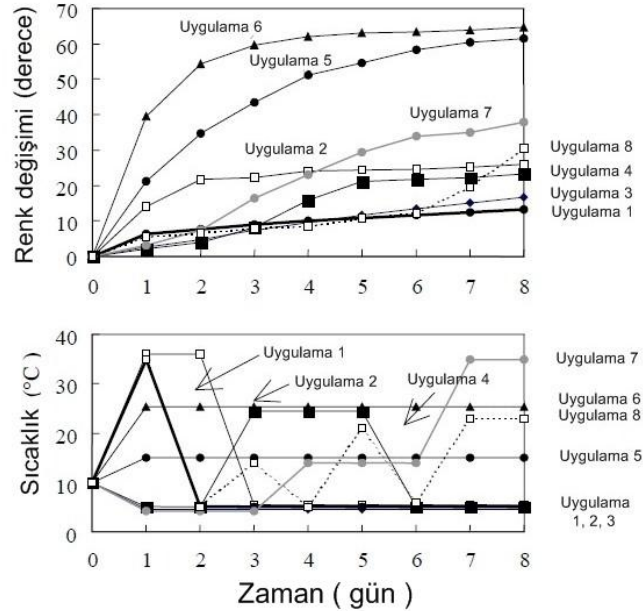
Rengin değişmesi için gerekli sıcaklığın belirlenmesinde zaman gecikmeli sinir ağı kullanılmıştır. Diğer taraftan, genetik algoritma uygulamalarında kullanılan bir özgün durum sekiz adımlı sıcaklık ayar noktaları ( $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7$  ve  $T_8$ ) tarafından belirlenir. Her biri altı bit ikili dize olarak kodlanmıştır. Burada, basit belirlenmiş sınırlama  $5 < T_l < 35^\circ\text{C}$  olarak belirlenmiştir.

### ***Sıcaklığa Bağlı Renk Değişimi Tepkilerinin (İşlem A ve B) Belirlenmesi***

Şekil 7 depolama sırasında farklı sıcaklık işlemleri uygulanan domates meyvelerinde ki renk değişiminin sekiz farklı kümülatif yanıtlarını göstermektedir.

Her durumda, başlangıç sıcaklığı 10°C olmuştur. Uygulama 1, ilk gün ve uygulama 2, ilk iki gün boyunca 35°C strese maruz bırakılmış ve daha sonraki aşamalarda 5°C’de depolanmış domates meyvelerini içermektedir. Uygulamalar 3’te 5°C, 5’de 15°C ve 6’da 25°C sabit sıcaklıkta meyveler depolanmışlardır. Bu desenler giriş zaman alanının daha iyi tanımlanması için gerekli yeterli değişim ihtiyacının karşılanmasını tespit edecek şekilde belirlenmiştir.

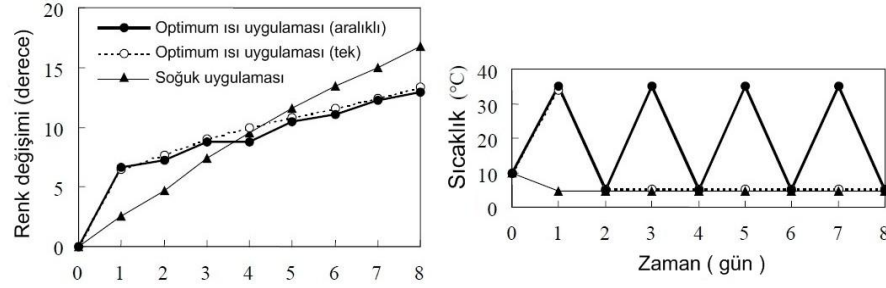
Sonra, bu veriler bir sinir ağı kullanılarak tespit edilmiştir. Altı veri seti (Uygulama 1, 2, 3, 5, 6, ve 7) tanımlama (= eğitim) ve iki veri seti model doğrulama için (Uygulama 4 ve 8) kullanılmıştır. Sistem parametre sayısı ve gizli nöronların sayısı çapraz onaylama yolu ile sırasıyla 1 ve 4 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 7. Sıcaklıktan etkilenen domates meyvesinde gözlenen renk değişiminin kümülatif yanıtları. Renk değişiminin büyük değere sahip olması daha kırmızı anlamına gelir.

### **Optimal Sekiz Adımlı Ayar Noktalarının (İşlem C) Aranması**

Bir sonraki aşamada, genetik algoritma kullanılarak belirlenen sinir ağının simülasyonu ile sıcaklığın optimal sekiz adımlı ayar noktaları (= optimal ısı uygulaması) elde edilmiştir. Optimal değer meyvenin başlangıç durumu ile amaç fonksiyonunun (Eşitlik 3) iki ağırlığına ( $\alpha$  ve  $\beta$ ) bağlıdır. Sonuç olarak, en uygun ısı uygulamaları, tek bir ısı kaynağı  $T(k) = \{35, 5, 5, 5, 5, 5, 5, 5, 5, 5\}^{\circ}\text{C}$  ( $\alpha=1,0$  ve  $\beta=0,5$ ) ve aralıklı ısı uygulamaları  $T(k) = \{35, 5, 35, 5, 35, 5, 35, 5, 35, 5\}^{\circ}\text{C}$  ( $\alpha=1,0$  ve  $\beta=1,0$ ) simülasyon yoluyla elde edilmiştir.



Şekil 8. İki tip optimal değer den (tek ve aralıklı ısıl işlemler) etkilenen domates meyvelerinde renk değişimlerinin gerçek optimal kontrol performansları. Karşılaştırma için soğuk muamele (5°C ) uygulaması gösterilmiştir.

### **Optimal Kontrol Performansı (İşlem D)**

Son olarak, iki farklı tür optimal ısı uygulamaları gerçek sistemde uygulanmıştır. Şekil 8, renk değişikliği için gerekli optimum kontrol performansını göstermektedir. Bu iki optimal ısı tedavisi altındaki renk değişiklikleri soğuk tedavi altında bulunan meyvelerden daha küçük olduğu açıktır. İki optimal ısı uygulaması arasındaki renk değişimi arasında istatistiksel fark bulunamamıştır.

Sonuç olarak, toplam bitkisel üretim sisteminin optimizasyonu için konuşan bitki ve konuşan meyve tabanlı akıllı kontrol tekniklerinin uygun olduğu, dolayısıyla hassas tarımda en önemli temalardan biri olduğu gösterilmiştir.

### **Kaynaklar**

1. Chalabi, Z. S., B. J. Bailey, and D. J. Wilkinson. 1996. A real-time optimal control algorithm for greenhouse heating. *Comput. Electron. Agric.* 15: 1-13.
2. Sigrimis, N., and N. Rerras. 1996. A linear model for greenhouse control. *Trans. ASAE* 39: 253-261.
3. Ioslovich, I., and I. Seginer. 1998. Approximate seasonal optimization of the greenhouse environment for a multi-state-variable tomato model. *Trans. ASAE* 41: 1139-1149.
4. Hashimoto, Y., T. Morimoto, and S. Funada. 1981. Computer processing of speaking plant for climate control and computer aided cultivation. *Acta Hortic.* 115: 317-325.
5. Hashimoto, Y., and T. Morimoto. 1985. Some speaking plant approach to the synthesis of control system in the greenhouse. *Acta Hortic.* 174: 219-226.
6. Hashimoto, Y. 1989. Recent strategies of optimal growth regulation by the speaking plant concept. *Acta Hortic.* 260: 115-121.
7. Tantau, H.-J. 1993. Optimal control for plant production in greenhouses. *The Computerized Greenhouse*, eds. Y. Hashimoto, G. P. Bot, W. Day, and H.-J. Tantau, 139-152. San Diego, CA: Academic Press.
8. Challa, H., and G. van Straten. 1993. Optimal diurnal climate control in greenhouses as related to greenhouse management and crop requirements. *The Computerized Greenhouse*, eds. Y. Hashimoto, G. P. Bot, W. Day, and H.-J. Tantau, 119-137. San Diego, CA: Academic Press.

9. De Baerdemaeker, J., and Y. Hashimoto. 1994. Speaking fruit approach to the intelligent control of the storage system. Proc. of 12th CIGR World Congress, Milano (1): 190-197.
10. Hashimoto, Y., T. Morimoto, and J. De Baerdemaeker. 1995. New approach to total production systems based on an intelligent control. Preprints 1st IFAC Workshop on Control Applications in Post-Harvest Processing and Technology, 151-156.
11. Biggs, M. S., R. William, and A. Handa. 1988. Biological basis of hightemperature inhibition of ethylene biosynthesis in ripening tomato fruit. *Physiol. Plant.* 72: 572-578.
12. Lurie, S. 1998. Postharvest heat treatments. *Postharv. Biol. Technol.* 14: 257-269.
13. Hashimoto, Y., B. R. Strain, and T. Ino. 1984. Dynamic behavior of CO<sub>2</sub> uptake as affected by light. *Oecologia* 63: 159-165.
14. Hashimoto, Y., P. J. Kramer, B. R. Strain, and H. Nonami. 1990. *Measurement Techniques in Plant Science*. USA: Academic Press.
15. Eguchi, H., and T. Matsui. 1977. Computer control of plat growth by image processing II. Pattern recognition of growth in on-line system. *Environ. Control in Biol.* 15: 37-45.
16. Hashimoto, Y., T. Ino, P. J. Kramer, A. W. Naylor, and B. R. Strain. 1984. Dynamic analysis of water stress of sunflower leaves by means of a thermal image processing system. *Plant Physiol.* 756: 266-269.
17. Uchida, T., Y. Nakanishi, and T. Sakano. 1991. Measurement of bioelectric potential on the surface of Spinach Lamina. Proc. 1st IFAC/ISHS Workshop on Mathematical and Control Applications in Agriculture and Horticulture, 373-378.
18. Baily, B. J., B. G. D. Haggett, A. Hunter, W. J. Albery, and L. R. Svanberg. 1988. Monitoring nutrient film solutions using ion-selective electrodes. *J. Agri. Eng. Res.* 40: 129-142.
19. Shiraishi, M., Y. Hashimoto, and S. Kuraishi. 1978. Cyclic variations of stomatal aperture observed under the scanning electron microscope. *Plant and Cell Physiol.* 19: 637-645.
20. Morimoto, T., W. Purwanto, J. Suzuki, and Y. Hashimoto. 1997. Optimization of heat treatment for fruit during storage using neural networks and genetic algorithms. *Comput. Electron. Agric.* 19: 87-101.
21. Chen, H., and J. De Baerdemaeker. 1993. Effect of apple shape on acoustic measurements of firmness. *J. Agric. Eng. Res.* 56: 253-266.
22. De Belie, N., S. Schotte, J. Lammertyn, B. M. Nicolai, and J. De Baerdemaeker. 2000. Firmness changes of pear fruit before and after harvest with the acoustic impulse response technique. *J. Agric. Eng. Res.* 77: 183-191.
23. Jancsó, P. T., L. Clijmans, B. M. Nicolai, and J. De Baerdemaeker. 2001. Investigation of the effect of shape on the acoustic response of conference pears by finite element modelling. *Postharvest Biol. Technol.* 23: 1-12.
24. De Belie, N., I. C. Hallett, F. R. Harker, and J. De Baerdemaeker. 2000. Influence of ripening and turgor on the tensile properties of pears: A microscopic study of cellular and tissue changes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125: 350-356.
25. Morimoto, T., T. Torii, and Y. Hashimoto. 1995. Optimal control of physiological processes of plants in a green plant factory. *Control Eng. Practice* 3: 505-511.
26. Morimoto, T., J. Suzuki, and Y. Hashimoto. 1997. Optimization of a fuzzy controller for fruit storage using neural networks and genetic algorithms. *Eng. Appl. Artif. Intell.* 10: 453-461.
27. Hashimoto, Y. 1997. Applications of artificial neural networks and genetic algorithms to agricultural systems. *Comput. Electron. Agric.* 18: 71-72.

28. Hashimoto, Y., H. Murase, T. Morimoto, and T. Torii. 2001. Intelligent systems for agriculture in Japan. *IEEE Control Systems Magazine* 21: 71-85.
29. Chen, S., S. A. Billings, and P. M. Grant. 1990. Non-linear system identification using neural network. *Int. J. Control* 51: 1191-1214.
30. Hirafuji, M. 1991. A plant growth model by neural networks and L-system. *Preprints of 9th IFAC Symp. on Identification and System Parameter Estimation*, 1: 605-600.
31. Morimoto, T., I. Cho, and Y. Hashimoto. 1991. Identification of hydroponics in an advanced control system of the greenhouse. *Proc. of 9th IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation*, (1): 610-615.
32. Seginer, I., and R. W. McClendon. 1992. Methods for optimal control of the greenhouse environment. *Trans. ASAE* 35: 1299-1307.
33. Goldberg, D. 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Reading, MA: Addison-Wesley.
34. Luo, H., and T. Kato. 1987. Studies on the characteristics of seedlings raised in pot under various conditions and their productivity in eggplant and sweet pepper. *Environ. Control in Biol.* 25: 91-96 (in Japanese).
35. Cybenko, G. 1989. Approximation by superpositions of a sigmoidal function. *Mathematics of Control Signals and Systems* 2: 303-314.
36. Isermann R., S. Ernst, and O. Nelles. 1997. Identification with dynamic neural networks. *Preprints of 11th IFAC Symp. on System Identification*, 3: 997-1022.
37. Rumelhart, D. E., G. E. Hinton, and R. J. Williams. 1986. Learning representation by back-propagation error. *Nature* 323: 533-536.
38. Purwanto, W., T. Morimoto, and Y. Hashimoto. 1996. Simulative estimation for the identification of the cumulative response of a plant using neural networks. *Journal of SHITA* 8: 112-118.
39. Mizrahi, Y., E. Taleisnik, V. Kagan-Zur, Y. Zohar, R. Offenbach, E. Matan, and R. Golan. 1986. A saline irrigation regime for improving tomato fruit quality without reducing yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113: 202-205.
40. Morimoto, T., J. De Baerdemaeker, and Y. Hashimoto. 1997. An intelligent approach for optimal control of fruit-storage process using neural networks and genetic algorithms. *Comput. Electron. Agric.* 18: 205-224.
41. , R. E., and N. J. Chen. 1990. Heat shock response in field-grown, ripening papaya fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115: 623-631.
42. Collins, G. G., X. Nie, and M. E. Saltveit. 1995. Heat shock proteins and chilling sensitivity of mung bean hypocotyls. *J. Exp. Bot.* 46: 795-802.
43. Thai, C. N., R. L. Shewfelt, and J. C. Garner. 1990. Tomato color changes under constant and variable storage temperatures: Empirical models. *Trans. ASAE* 33: 607-614.