

# HÜCRESEL SİNİR AĞLARININ PSPICE BENZETİMLERİNDE DİYOT KÖPRÜLÜ LİMİTÖRÜN AKTİVASYON FONKSİYONU DEVRESİ OLARAK KULLANILMASI

Baran TANDER

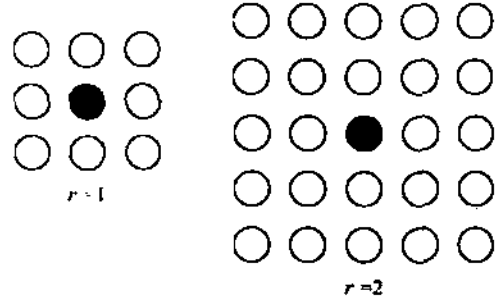
Mahmut ÜN

İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi  
Elektronik Mühendisliği Bölümü  
34850, Avcılar, İstanbul  
e-posta: [btander@istanbul.edu.tr](mailto:btander@istanbul.edu.tr)

*Anahtar sözcükler: Hücresel Sinir Ağları, Diyot Köprülü Limitör, PSPICE*

## ABSTRACT

*In this paper, "Diode Bridge Limiter" is developed as the activation function circuit for Cellular Neural Networks (CNNs). It is verified that the voltage characteristic of the proposed circuit approximates a piecewise linear curve for specific component values. This curve can be employed as an activation function for CNN structure. We compare the results with the ideal piecewise linear characteristic as well as with the conventional activation function circuit realized with an operational amplifier. 3x3, 1x2 and 1x3 cell CNNs are simulated by using the new circuit and others mentioned above as the numerical examples. The benefits and drawbacks of the proposed circuit are also discussed.*



Şekil - 1:  $r = 1$  ve  $2$  için hücre komşulukları.

## 1. GİRİŞ: HÜCRESEL SİNİR AĞLARI

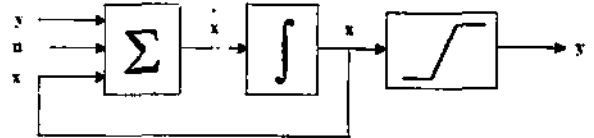
Hücresel sinir ağları (HSA); ilk defa 1988 yılında L.O.Chua tarafından tanımlanmış [1], başta görüntü işleme olmak üzere birçok alanda uygulamaları bulunan özel bir sınıf dinamik sinir ağı yapılarıdır. Yine bir dinamik sinir ağı yapısı olan Hopfield ağlarından farklı olarak HSA' da bir hücre (1) ifadesiyle tanımlanan bir komşulukla sadece komşu hücrelerine bağlıdır.

$$N_r(i, j) = \{k, l \mid \max\{|k - i|, |l - j|\} \leq r, 1 \leq k \leq M, 1 \leq l \leq N\} \quad (1)$$

$r = 1$  ve  $r = 2$  komşulukları için bir hücrenin bağlantı yaptığı hücreler, şekil - 1' de gösterildiği gibi olacaktır. HSA' nın Hopfield ağlarından diğer bir farkı da kararlı durumda çıkışın sadece  $\pm 1$  değerlerinden birini alabilmesidir. Yani kararlı bir HSA, iki boyutlu sabit girişlerin seçildiği bir  $[-1, 1]^{M \times N}$  giriş uzayından, kaçırcı durum çıkışlarının değer aldığı  $\{-1, 1\}^{M \times N}$  uzayına cebrik bir dönüşüm olarak tanımlanabilir [2].

## 2. HSA' NIN DEVRE EŞDEĞERİ

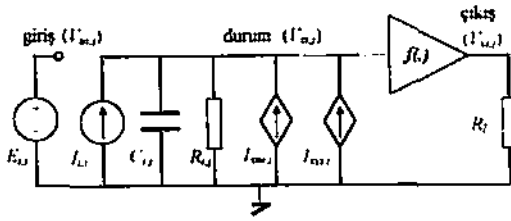
Bilindiği gibi bir dinamik sinir ağı "Toplama", "Dinamik" ve "Aktivasyon Fonksiyonu" birimlerinden oluşmuştur. Bu bağlamda bir HSA hücresinin blok diyagramı şekil - 2' deki gibi verilebilir [3].



Şekil - 2: Bir HSA hücresinin blok diyagramı.

Yukarıda gösterilen sistemden yola çıkarak HSA' nın devre eşdeğerini bulabiliriz. Görüldüğü gibi şekil - 3' teki hücre devresinde "Giriş", "Durum" ve "Çıkış" katları mevcuttur. Toplama birimlerindeki bağımlı kaynaklar vasıtasıyla hücre komşularından gelen akımlar ağırlıklı olarak toplanır, aslında basit bir RC devresi olan dinamik birimin uçlarında " $v_x$ " durum gerilimi oluşturulur, aktivasyon fonksiyonu ise parça parça lineer bir gerilim karakteristiği arz eden bir yapıdır. Dinamik birimde oluşturulan " $v_x$ " durum

gerilimi, aktivasyon fonksiyonu devresinin çıkışında +1 veya -1 seviyesine dönüştürülür.



Şekil - 3: Bir HSA hücresinin devre eşdeğeri.

Devrenin "Durum" düğümüne KAY' nı uygulayacak olursak,

$$0 = -I + C \frac{dv_{x,j}}{dt} + \frac{1}{R} v_{x,j} - \sum_{(k,l) \in N_s(u,j)} A(i,j;k,l) \cdot v_{x,k} - \sum_{(k,l) \in N_r(u,j)} B(i,j;k,l) \cdot v_{x,k} \quad (2)$$

elde edilir. Bu denklemi tüm ağ için düşünüp, matris formunda yazarsak,

$$\dot{\mathbf{x}} = -\mathbf{x} + \mathbf{A} * \mathbf{y}(\mathbf{x}) + \mathbf{B} * \mathbf{u} + \mathbf{I} \quad (3)$$

bulunur. Burada, (\*) iki boyutlu konvolüsyon operatörünü göstermektedir.  $\mathbf{x}$ , hücresinin "Durumu";  $\mathbf{u}$ , hücresinin "Girişi";  $\mathbf{A}$ , hücresinin komşu hücre çıkışlarıyla olan bağlantı ağırlıklarını içeren "Klonlama Şablonu";  $\mathbf{B}$  komşu hücre girişleriyle olan bağlantı ağırlıklarını veren "Kontrol Şablonu" ve  $\mathbf{I}$  da her hücre için aynı değere sahip bir "Eşik Seviyesi" dir. Kararlı bir HSA' da durum gerilimleri  $t \rightarrow \infty$  iken belli bir sabite yakınsayacaktır. Bu noktaya "Kararlı Denge Noktası" adı verilir.

### 3. AKTİVASYON FONKSİYONU VE GERÇEKLENMESİ

(3) Denklemindeki  $\mathbf{y}(\mathbf{x})$ , aşağıdaki formülle tanımlanan parça parça lineer bir fonksiyondur:

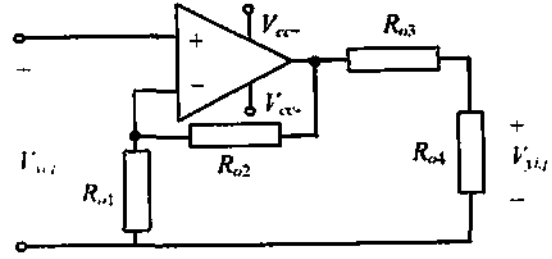
$$y(x) = \frac{1}{2} [|x+1| - |x-1|] \quad (4)$$

Bu fonksiyon;

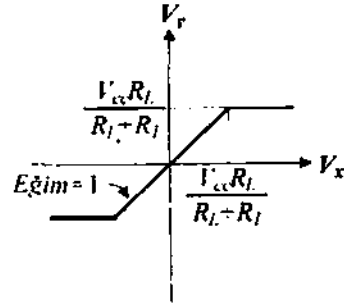
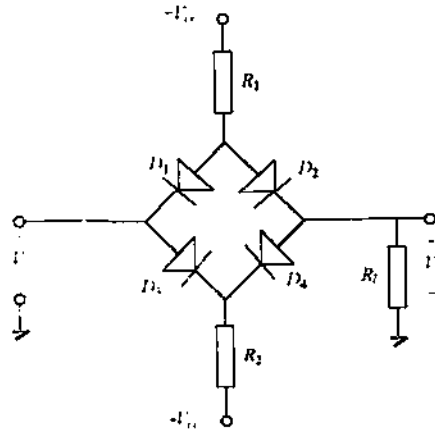
$$R_{o4} = R_{o1}, R_{o3} = R_{o2} \text{ ve } 1 + \frac{R_{o2}}{R_{o1}} \geq 1$$

koşulları altında şekil - 4' te gösterilen basit bir işlemsel kuvvetlendirici devresiyle gerçekleştirilebilir [4]. Ancak bu devreyi kullanan bir HSA' nın PSPICE ile benzetimini yapmak için bir makromodel (UA741, LM741 vs.) kullanmamız gerekecektir. Bunun da benzetim süresini artıracaktır. Ayrıca böyle bir yapının gerçekleştirilme/imalat işlemi de nispeten zor olacaktır. Bu şartlar gözönünde bulundurulduğunda,

daha basit bir devrenin kullanılması gerekmektedir. Şekil - 5' te gösterilen bir "Diyot Köprülü Limitör",  $R_L \gg R_1 = R_2$  koşulu altında istenen parça parça lineer aktivasyon fonksiyonu birimi için düşünülebilir.

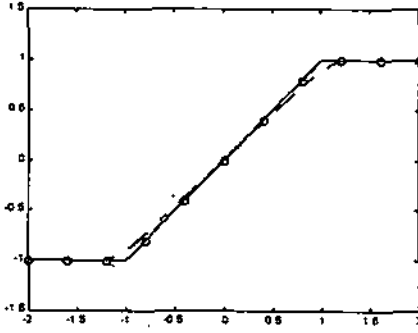


Şekil - 4: Parça parça lineer karakteristiğin işlemsel kuvvetlendirici ile gerçekleştirilmesi.



Şekil - 5: Diyot köprülü limitör ve giriş-çıkış gerilim karakteristiği.

Bu devrede, sıcaklık duyarlılığı kısmen kompanze edilmiştir ancak diyotların yapıları sebebiyle, fonksiyonun kırılma noktaları ideal olmamakta ve küçük eğilmeler göstermektedir [5]. İdeal, işlemsel kuvvetlendiricili ve diyot köprülü limitör devrelerinin gerilim karakteristikleri şekil - 6' da verilmiştir. Diyot köprülü limitör devresinin  $\pm V_{cc}$  besleme gerilim değerlerinin artırılması ideale daha yakın bir aktivasyon fonksiyonu karakteristiği elde etmemizi sağlayacaktır.



Şekil - 6: İdeal, işlemsel kuvvetlendiricili ve diyot köprülü limitörlü devrelerin gerilim karakteristikleri  
 - : diyot köprülü a.f., o : işlemsel kuvv. a.f. - : ideal a.f.  
 ( $V_{cc0}=15V$ ;  $V_{ccd}=1.5V$ ;  $R_{o1}=R_{o2}=1k\Omega$ ;  $R_{o3}=R_{o4}=12k\Omega$ ;  
 $R_{d1}=R_{d2}=1k\Omega$ ;  $R_{dL}=470k\Omega$ ).

#### 4. BENZETİM ÖRNEKLERİ

Bu kısımda  $3 \times 3$ ' lük kararlı,  $1 \times 2$ ' lik osilasyon yapan ve  $1 \times 3$ ' lük kaotik işaretler üreten 3 değişik HSA yapısının önerilen diyot köprülü limitör devresi kullanılarak PSPICE benzetimleri yapılmış. durum ve çıkış gerilimleri işlemsel kuvvetlendiricili konvansiyonel aktivasyon fonksiyonu devresi ile oluşturulmuş HSA' ninkilerle karşılaştırılmıştır.

##### 4.1. $3 \times 3$ ' lük HSA Benzetimi

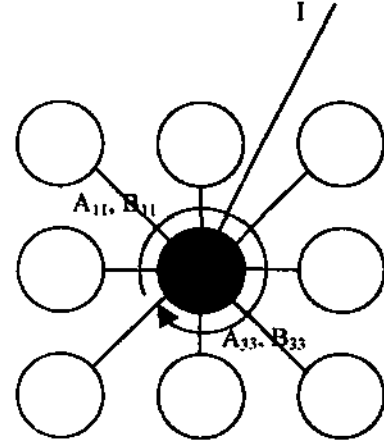
İlk olarak bir görüntü işleme problemi olan kenar belirleme için HSA' da kullanılan aşağıdaki A, B ve I' ya göre benzetim yapılmıştır. Burada 256 gri seviyeli, 0 +1 arasında ölçeklenmiş bir görüntünün  $3 \times 3$ ' lük bir piksel grubu üzerinde çalışılmış. her bir piksel bir hücreye karşı düşürülmüştür. Hücrelerde kondansatörlerinin  $v_x(0)$  başlangıç değerleri sözkonusu hücrenin u girişine eşit kılınmıştır [4].

$$A = \begin{bmatrix} -0.1836 & -0.2724 & -0.1764 \\ -0.2523 & 3.7405 & -0.2523 \\ -0.1764 & -0.2724 & -0.1836 \end{bmatrix}$$

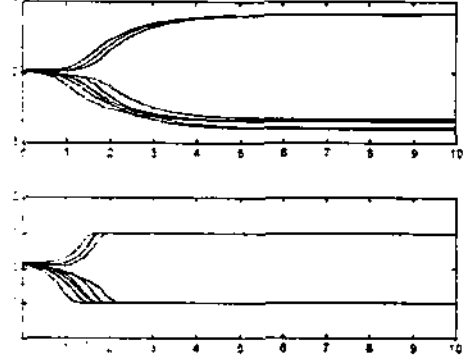
$$B = \begin{bmatrix} -0.1433 & -0.1396 & -0.1439 \\ -0.1396 & -0.0698 & -0.1396 \\ -0.1439 & -0.1396 & -0.1433 \end{bmatrix}; \quad I = -0.2540$$

$$u = x(0) = \begin{bmatrix} 0.1513 & 0.1429 & 0.1261 \\ 0.1429 & 0.1261 & 0.1092 \\ 0.1345 & 0.1176 & 0.1008 \end{bmatrix}$$

Böyle bir ağı yapısı şekil - 7' de; hücrelerin " $v_x$ " durum ve " $v_y$ " çıkış gerilimlerinin geçici rejimlerinin benzetimleri de şekil - 8' de verilmiştir.



Şekil - 7: Benzetimi yapılan  $3 \times 3$ ' lük HSA' nın bir hücrenin bağlantıları.



Şekil - 8: Verilen A, B ve I için HSA' nın " $v_x$ " ve " $v_y$ " gerilimlerinin geçici rejim benzetimleri:

Yukarıda anlatılan her iki devre ile gerçekleştirilen aktivasyon fonksiyonlarını kullanan HSA için denge noktalarının ve çıkışların değerleri aşağıdaki gibidir:

$$V_{x0} = \begin{bmatrix} 4.1277 & -3.9699 & 4.1267 \\ -4.0328 & -3.4529 & -3.4775 \\ 4.1250 & -3.4578 & -3.3419 \end{bmatrix}$$

$$V_{y0} = \begin{bmatrix} 4.1290 & -3.9704 & 4.1279 \\ -4.0333 & -3.4530 & -3.4776 \\ 4.1263 & -3.4580 & -3.3437 \end{bmatrix}$$

$$V_y = \begin{bmatrix} +1 & -1 & +1 \\ -1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Görüldüğü gibi  $3 \times 3$ ' lük kararlı HSA' nda diyot limitörlü devrenin denge noktalarının değerleri, işlemsel kuvvetlendiricili kullanan devreninkine çok yakın. çıkış gerilimlerinin değerleri ise aynıdır.

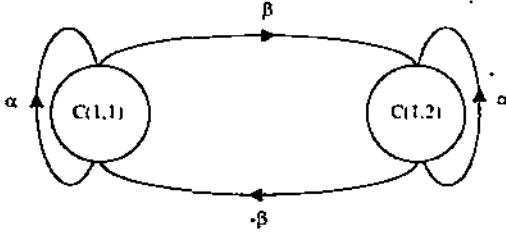
## 4.2. 1x2' lik HSA Benzetimi

İkinci olarak, Zou ve Nossek tarafından verilmiş, ters işaretli klonlama şablonuna sahip, osilasyon yapan 1x2' lik HSA' da [6] diyot köprüllü limitörlü devre eşdeğerinin benzetim başarımı incelenecektir. Bunun için aşağıdaki durum denklemlerini gözönüne alalım:

$$\dot{x}_1 = -x_1 + \alpha \cdot y(x_1) - \beta \cdot y(x_2) \quad (5a)$$

$$\dot{x}_2 = -x_2 + \beta \cdot y(x_1) + \alpha \cdot y(x_2) \quad (5b)$$

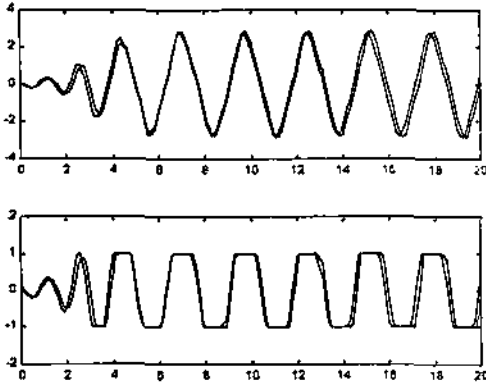
Bu denklemi sağlayan 1x2' lik HSA yapısı şekil - 9' da gösterilmiştir.



Şekil - 9: Ters-işaretli klonlama şablonuna sahip 1x2' lik HSA yapısı.

$\alpha = 2, \beta = 5$  seçildiğinde, her iki devrenin aşağıda verilmiş klonlama şablonu için durum ve çıkış gerilim işaretleri şekil - 10' daki gibi olacaktır.

$$A = \begin{bmatrix} 2 & -5 \\ 5 & 2 \end{bmatrix}; \quad B=0; \quad I=0; \quad X(0) = \begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.1 \end{bmatrix}^T$$



Şekil - 10: 1x2' lik ters-işaretli klonlama şablonuna sahip HSA' nda "v\_x" ve "v\_y" dalga şekilleri:

Şekilden de görülebileceği gibi, diyot köprüllü ve işlemsel kuvvetlendiricili HSA devrelerinin osilasyon genlik ve frekansları, birbirlerine oldukça yakındır ancak, aralarında zamanla değişen küçük bir faz farkı söz konusudur.

## 4.3. 1x3' lük HSA Benzetimi

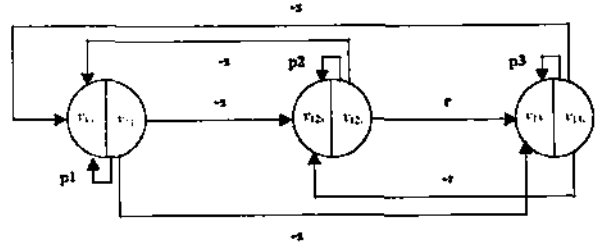
Son olarak, yine Zou ve Nossek tarafından verilmiş aşağıdaki denklem takımıyla tanımlanan [7], 1x3' lük bir HSA yapısında önerilen aktivasyon fonksiyonu devresinin başarımı incelenecektir.

$$\dot{x}_1 = -x_1 + p_1 \cdot y(x_1) - s \cdot y(x_2) - s \cdot y(x_3) \quad (6a)$$

$$\dot{x}_2 = -x_2 - s \cdot y(x_1) + p_2 \cdot y(x_2) - r \cdot y(x_3) \quad (6b)$$

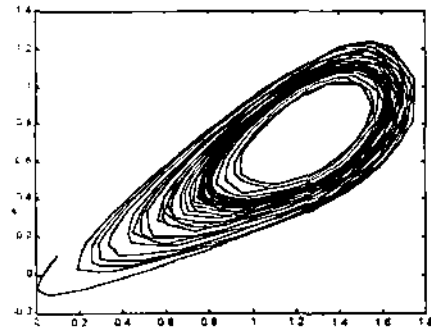
$$\dot{x}_3 = -x_3 - s \cdot y(x_1) + r \cdot y(x_2) + p_3 \cdot y(x_3) \quad (6c)$$

Bu yapı şekil - 11' de gösterildiği gibidir.

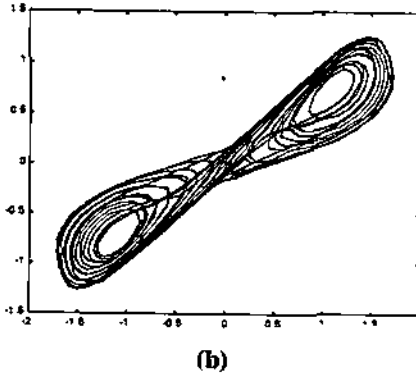


Şekil - 11: 1x3' lük bir HSA yapısı.

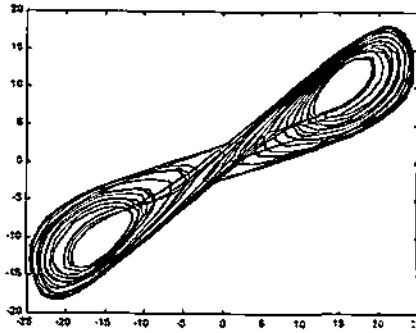
$p_1 = 1.25, p_2 = 1.1, p_3 = 1; s = 3.2; r = 4.4$  için bu denklem takımının çözümü kaotik bir işarettir. Burada her hücrenin durum gerilimlerinin birbirlerine göre değişim eğrileri, "Garip Çeker" adı verilen ve kaotik işaretlere özgü olan grafiklerdir. Şekil - 12' de sözkonusu yapının C(1,2) hücresinin durum geriliminin, C(1,1) hücresinin durum gerilimine göre değişimini gösteren faz düzlemi hem işlemsel kuvvetlendiricili hem de diyot köprüllü limitörlü HSA için çizdirilmiştir. Görüldüğü gibi grafikler arasında bir benzerlik bulunmamaktadır. İşlemsel kuvvetlendiricili devre kaotik osilasyonların benzetimini yapabilirken diyot köprüllü limitörlü devre sinüsoidal, sönümlü bir işaret üretmektedir. Bunu gidermek için, 3. kısımda anlatılan diyot köprüllü limitörün  $\pm V_{cc}$  besleme gerilimlerini,  $\pm 1.5V$ ' tan  $\pm 15V$ ' a çıkartırsak, Şekil - 13' te C(1,1) - C(1,2) hücrelerinin "v\_x" gerilimleri için verilen faz düzleminde, daha yüksek genlikli kaotik işaretlerin üretilebildiğini görürüz.



(a)



ekil – 12: ki hücrenin durum gerilimleri için faz düzlemi: (a) diyot köprülü limitörlü devrede, (b) i lemsel kuvvetlendiricili devrede.



ekil – 13:  $\pm V_{cc}$ ' si 15V olan diyot köprülü limitörlü aktivasyon fonksiyonu için faz düzlemi.

## 5. SONUÇLAR

Tüm HSA yapısının boyutunun büyüklüğü ve aktivasyon fonksiyonundaki karmaşıklıkta, (3)' te verilmiş diferansiyel denklem sisteminin analitik çözümünü neredeyse imkansızlaştırmaktadır. Bu tip denklem sistemlerinin analizinde nümerik metodlar kolaylıkla kullanılabilir. Ayrıca, elektronik devrelerin benzetimlerinin yararlarından biri de tasarımcının laboratuvar ölçümleri ile bulmuş olduğu sonuçların bu teknikle kolayca elde edilebilmesidir. Örneğin; benzetimle, gerçek bir devrede ölçülen probunun yaptığı gibi devreyi yüklemeksizin veya deney plakentinin getireceği parazitik etkiler olmaksızın akım ve gerilimlerin dalga şekilleri gözlemlenebilir. Netice itibarıyla laboratuvar ortamına geçilmeden devrenin davranışları bilgisayar yardımıyla incelenebilir [8].

Bu çalışmada, diyot köprülü limitörün bir HSA hücresinin aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılması önerilmiş ve benzetim örnekleriyle sözkonusu devrenin çeşitli boyutlardaki HSA için başarımları incelenmiştir.

Önerilen devrelerin avantajları, basit ve ucuz olarak gerçekleştirilebilmeleri ve benzetim zamanından tasarruf

saayabilmeleridir. Nitekim 3x3' lük, 1x2' lik ve 1x3' lük HSA için yaklaşık benzetim süreleri ile ilgili tablo da bunu göstermektedir:

Tablo – 1: Diyot köprülü limitörlü ve i lemsel kuvvetlendiricili aktivasyon fonksiyonları için benzetim süreleri.

HSA Boyutu	Benzetim süresi (diyot köp. lim)	Benzetim süresi (i lemsel kuvv.)
3x3	0.28 s.	1.77 s.
1x2	0.34 s.	1.78 s.
1x3	1.32 s.	11.08 s.

Devrenin dezavantajları ise, düşük besleme gerilimleri için ideale göre kötü bir karakteristiğe sahip olması – ki bu, (6a, b, c) ile tanımlanan diferansiyel denklem takımında kaotik hareketin üretilmesini engellemektedir, zira kaotik hareketler, ilk koşullara ve devre parametrelerine dolayısıyla gerilim karakteristiğine artırımlıdır – ve hücre çökme küçük empedanslı bir yük bağlandığında istenen gerilim karakteristiğinin bozulması ve benzetimin beklenen başarımları gösterememesidir. Yine de bu dezavantajlar gözönünde bulundurularak önerilen diyot köprülü limitörün aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılan HSA'nın devre gerçeklemeleri mümkündür.

## 6. KAYNAKÇA

- [1] L.O. CHUA, L. YANG, "Cellular Neural Networks: Theory", IEEE Transactions on Circuits and Systems Vol.35, No.10, October 1988,
- [2] GÜZEL C., "Hücreli Yapay Sinir Ağlarıyla Görüntü İşlenmesi", Tübitak Proje no. EEAG – 103, Ocak 1993, İstanbul,
- [3] CIMAGALLI V., BALSİ M., "Cellular Neural Networks: A Review", Proceedings of the 6th Italian Workshop on Parallel Architectures and Neural Networks, Vietri Sul Mare, Italy, May 12 - 14, 1993,
- [4] TANDER B., ÖZMEN A., UÇAN O.N., "3x3' lük Kararlı bir Hücreli Sinir Ağının PSPICE ile Modellenmesi ve Simülasyonu", 8. Ulusal Elektrik – Elektronik – Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Eylül 1999, G. Antep,
- [5] GREAME J.G., TOBEY G.E., HUELSMAN L.P., "Operational Amplifiers: Design and Applications", McGraw Hill Book Comp., 1989, ISBN: 0 – 07 – Y85845 – 4,
- [6] ZOU F., NOSSEK J.A., "Stability of Cellular Neural Networks with Opposite - Sign Templates", IEEE Transactions on Circuits and Systems, Vol.38, No.6, June 1991.
- [7] ZOU F., NOSSEK J.A., "Bifurcation and Chaos in Cellular Neural Networks", IEEE Transactions on Circuits and Systems, Vol.40, No.3, March 1993,
- [8] KUNTMAN H.H., TOKER A., ÖZCAN S., "Sayısal Elektronik Devreleri", Sistem yayıncılık, 1996. ISBN: 975 – 7397 – 80 – 6.