

MOLEKÜL BOZUNMASININ DİFÜZYON İLE HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN VERİ HIZINA ETKİSİ

F. Nur KILIÇLI, Tuna TUĞCU

İçerik

2

- Giriş - Difüzyonla Haberleşmenin tanımı
- Sistem Modeli
- Moleküler Bozunma
- Benzetim Sonuçları
- Analitik Formüller
- Performans Değerlendirmesi
- Sonuçlar ve Gelecek Çalışmalar

Nano Ekibi (Boğaziçi Üniversitesi)

3

- ✓ Tuna Tuğcu
- ✓ M. Şükrü Kuran
- ✓ H. Birkan Yılmaz
- ✓ Gaye Genç
- ✓ Ali Akkaya
- ✓ A. Cem Heren
- ✓ Burcu Tepekule
- ✓ F. Nur Kılıçlı



Ekip, nano ağlar ile ilgili teorik altyapı oluşturmak üzere TÜBİTAK ve BAP destekli projeler üzerinde çalışmakta.

Giriş

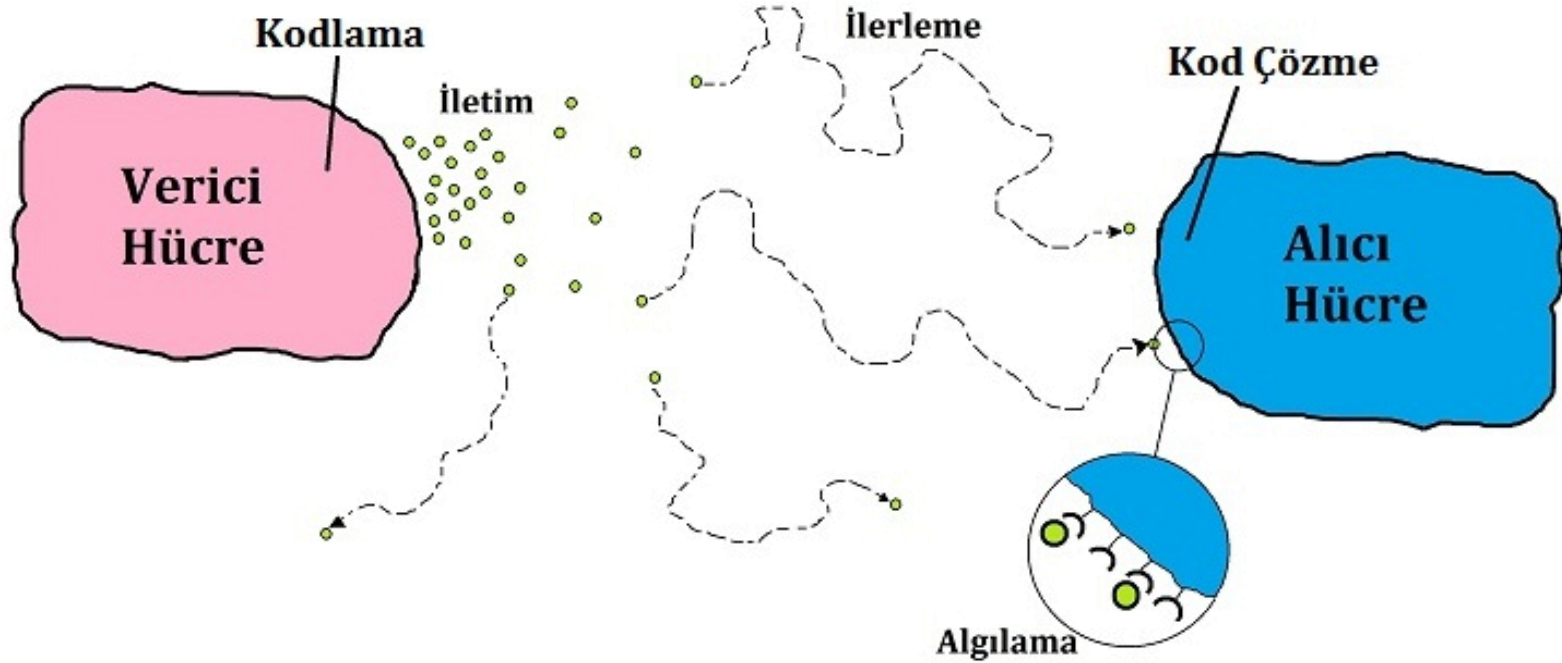
4

- Nano ağlar: İnsanlar tarafından nano ölçekteki sistemlere uygun fiziksel prensipler kullanılarak tasarlanmış iletişim sistemleridir. (IEEE - 10.09.2012)
- Bir sistemin nano ağ sayılabilmesi için bir veya birden fazla bileşeninin nano ölçekte* olması yeterlidir.
- Haberleşmede elektromanyetik, akustik, ısı veya **molekül** dalgaları kullanılabilir.
 - İyon imleşimi, mikrotübül ağlar, **difüzyon ile haberleşme...**

* Nano ölçek < 100 nm.

Difüzyon ile haberleşme (DiH)

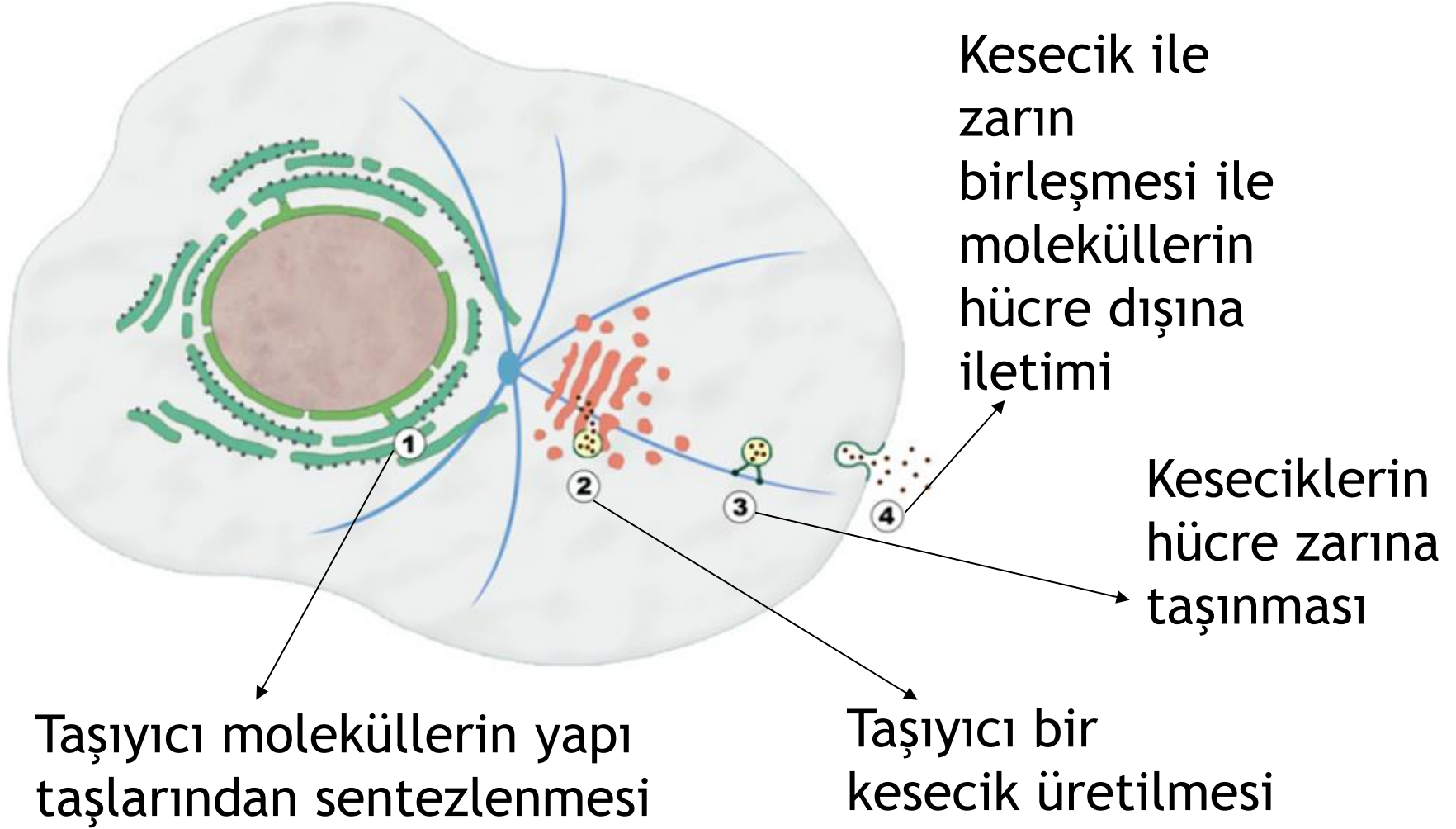
5



- Taşıyıcı moleküllerin difüzyon yoluyla alıcı ve verici arasında iletilmesi ile bilgi aktarılması işlemidir.

DiH – Kodlama&İletim

6



DiH – İlerleme

7

- Taşıyıcı moleküller ortamda Brown hareketine göre ilerlerler.
- *Brown hareketi*, rastgele ve hiçbir düzenli kurala uygun olmayarak yapılan harekettir.
- Temel belirleyiciler ortamın ve üzerinde ilerleyen molekülün kayganlık, akışkanlık, vb. özellikleridir.



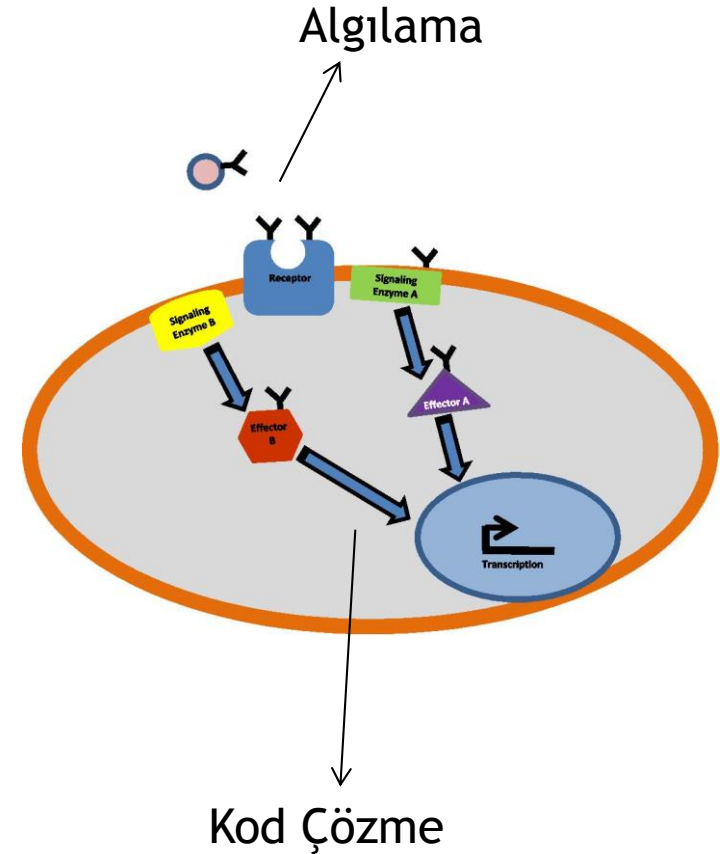
$$\Delta r = (\Delta x, \Delta y, \Delta z) \quad \Delta x \sim N(\mu, \sigma)$$
$$\sigma = \sqrt{2 \cdot D \cdot \Delta t} \quad D = Kb \cdot T / b$$

Kb: Boltzmann sabiti
T: sıcaklık
b: sürtünme katsayısı
D: difüzyon katsayısı
 Δt : sembol süresi

DiH – Algılama&Kod Çözme

8

- Taşıyıcı moleküller alıcı hücrenin reseptörleri yardımıyla algılanır.
- Algılanan bu moleküllerin anlamlı bir bilgiye dönüştürülmesi, kullanılan modülasyon tekniğine göre değişir.



Sistem Modeli

9

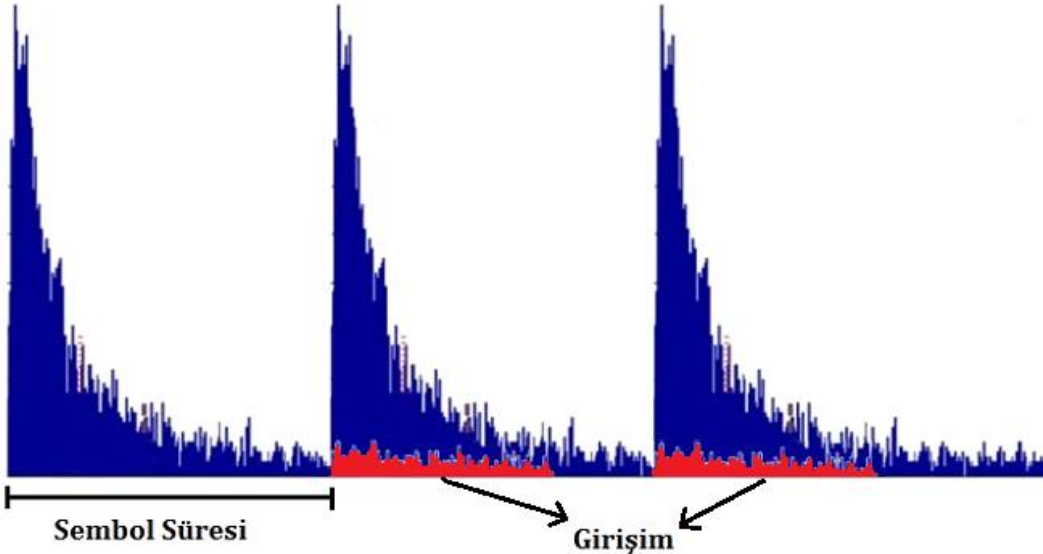
- Taşıyıcı moleküller Brown hareketi kurallarına göre ortamda ilerlerler:

$$\Delta X \sim \mathcal{N}(0, \sqrt{2D\Delta t}) \quad \vec{r} = (\Delta x, \Delta y, \Delta z)$$

- Kodlama tekniği olarak ikili Yoğunluk Farkıyla Kodlama (iYFK) kullanılmaktadır:
 - «1» için N molekül, «0» için 0 molekül gönderilir.
 - Algılanan molekül sayısı τ ile kıyaslanılır, τ 'dan büyükse «1», küçükse «0» olarak çözümlenir.

Semboller Arası Girişim (SAG)

10



Difüzyon ile dağılan moleküllerin rastgele hareketi, SAG'a sebebiyet vermektedir.

SAG ise hatalı bilgi iletimine yol açmaktadır.

- DiH sistemlerinin en büyük sorunlarından biri olan SAG'a çözüm olarak bozunma özelliğine sahip molekül kullanımı.
 - Çoğu biyolojik molekülün zamanla yapısında meydana gelen değişiklikler dolayısıyla ortamdaki derişimi azalmaktadır.

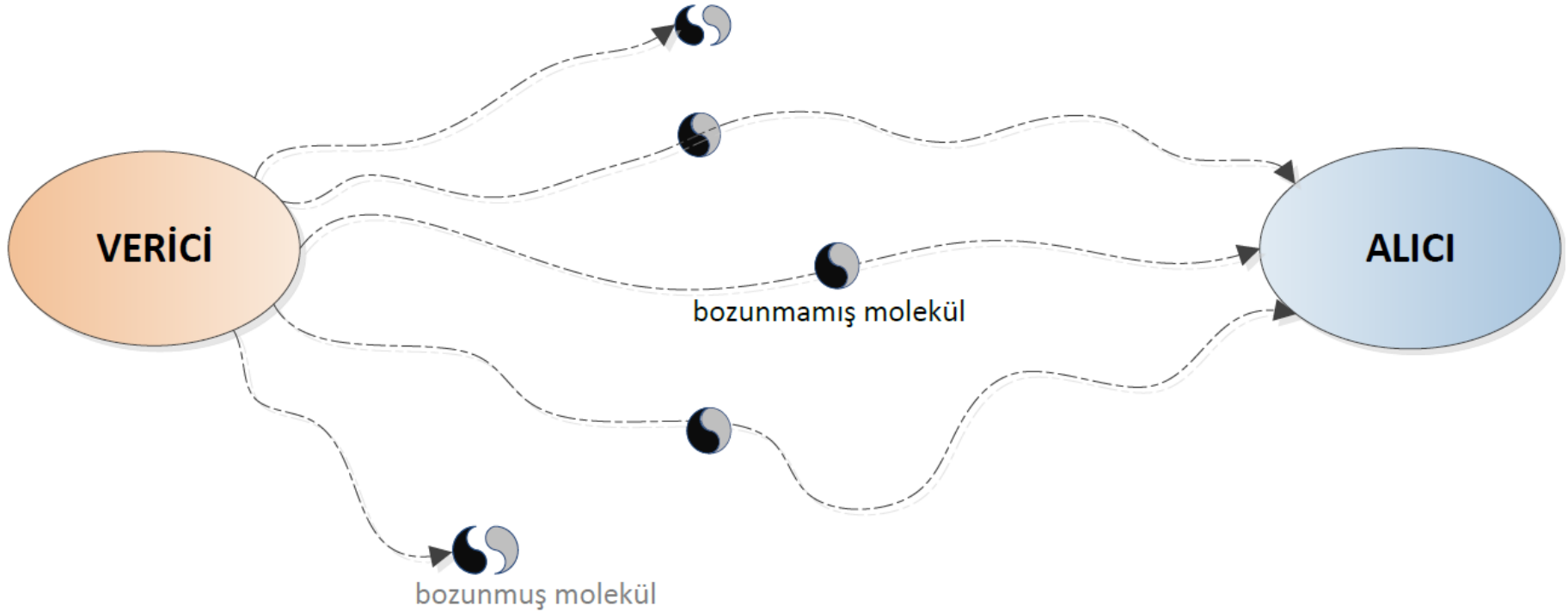
Moleküler Bozunma

11

-
- Yarılanma ömrü ($t_{1/2}$) : moleküllerin ortamdaki derişiminin yarıya inmesi için geçen süre
 - Milisaniyelerden yıllara kadar çeşitlenebilmektedir.
- Fosforlanma, yarılanma, ubikutin ekleme, asetilleme, formilleme ve glikolizlenme
- Hücre içi veya hücre dışı
- Enzimatik veya enzimatik olmayan tepkimeler

Moleküler bozunma kullanılan DiH

12



Moleküler bozunma benzetimleri

13

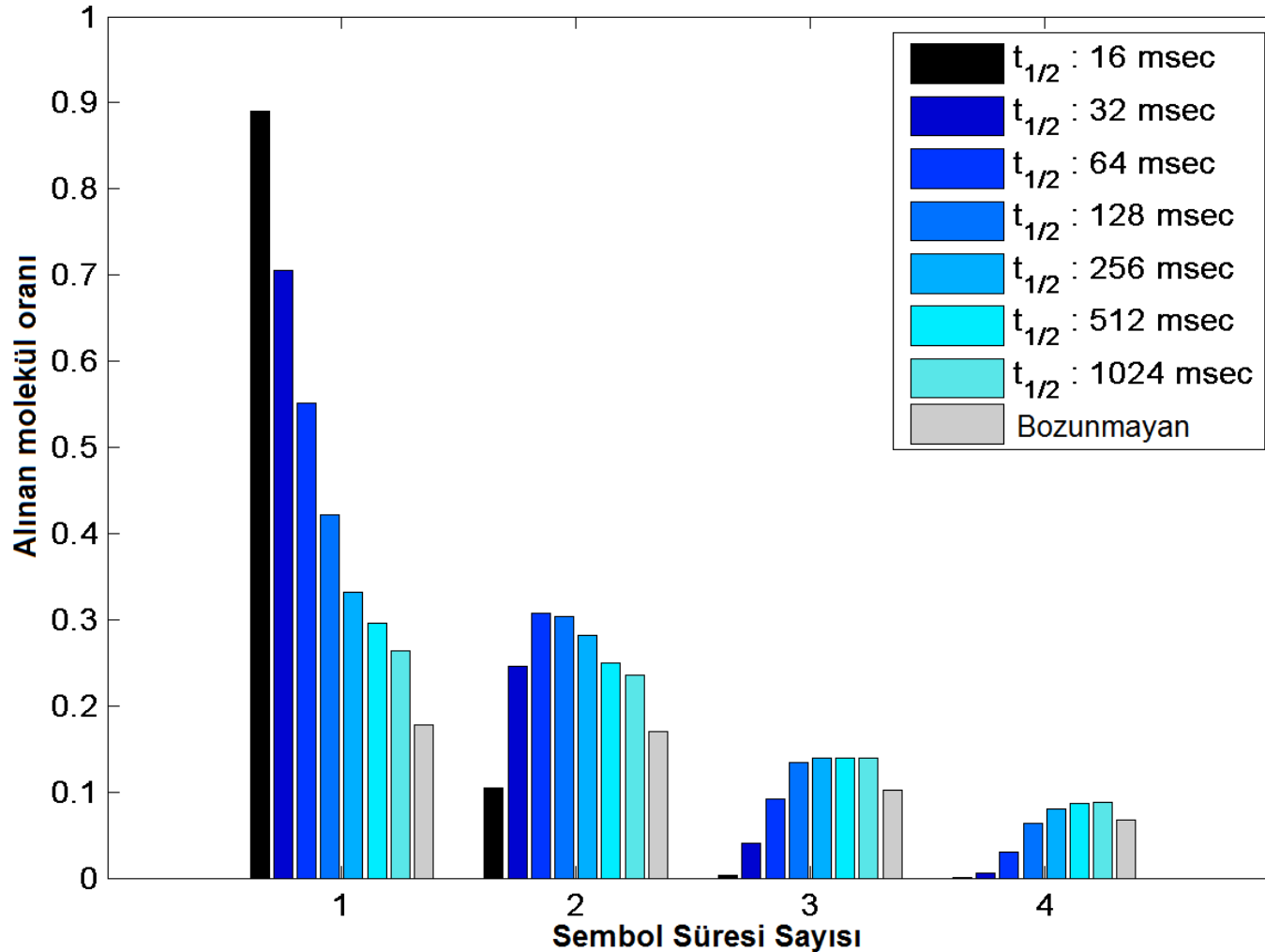
Tablo I. PARAMETRELER VE DEĞERLERİ

Parametre	Değer
“1” için gönderilen molekül sayısı (N)	1000 - 6000
Akışmazlık (η)	$0.001 \text{ kg}/(\text{s} \cdot \text{m})$
Moleküllerin yarıçapı (r_{MM})	$2.56 \cdot 10^{-9} \text{ m}$
Alıcının yarıçapı (r_{NeN})	$10 \mu\text{m}$
Mutlak Sıcaklık (T)	$310 \text{ }^\circ\text{K}$
Difüzyon Katsayısı (D)	$79.4 (\mu\text{m})^2 / \text{s}$
Moleküllerin Yarılanma Ömürleri ($t_{1/2}$)	$16 \text{ ms} - 2.048 \text{ s}$
Sembol Süresi (t_s)	$1 \text{ ms} - 10 \text{ s}$
Eşik Değeri (τ)	$1 - N$
Alıcı-verici arasındaki uzaklık (d)	$2 - 8 \mu\text{m}$
Birim zaman (Δt)	1 ms
Sembol süresi (t_s)	$20 - 300 \text{ ms}$

Alıcı-verici arasında 10,000 bit gönderilerek bozunmanın DiH sistemlerine etkisi gözlemlendi.

Moleküler bozunmanın etkileri - 1

14

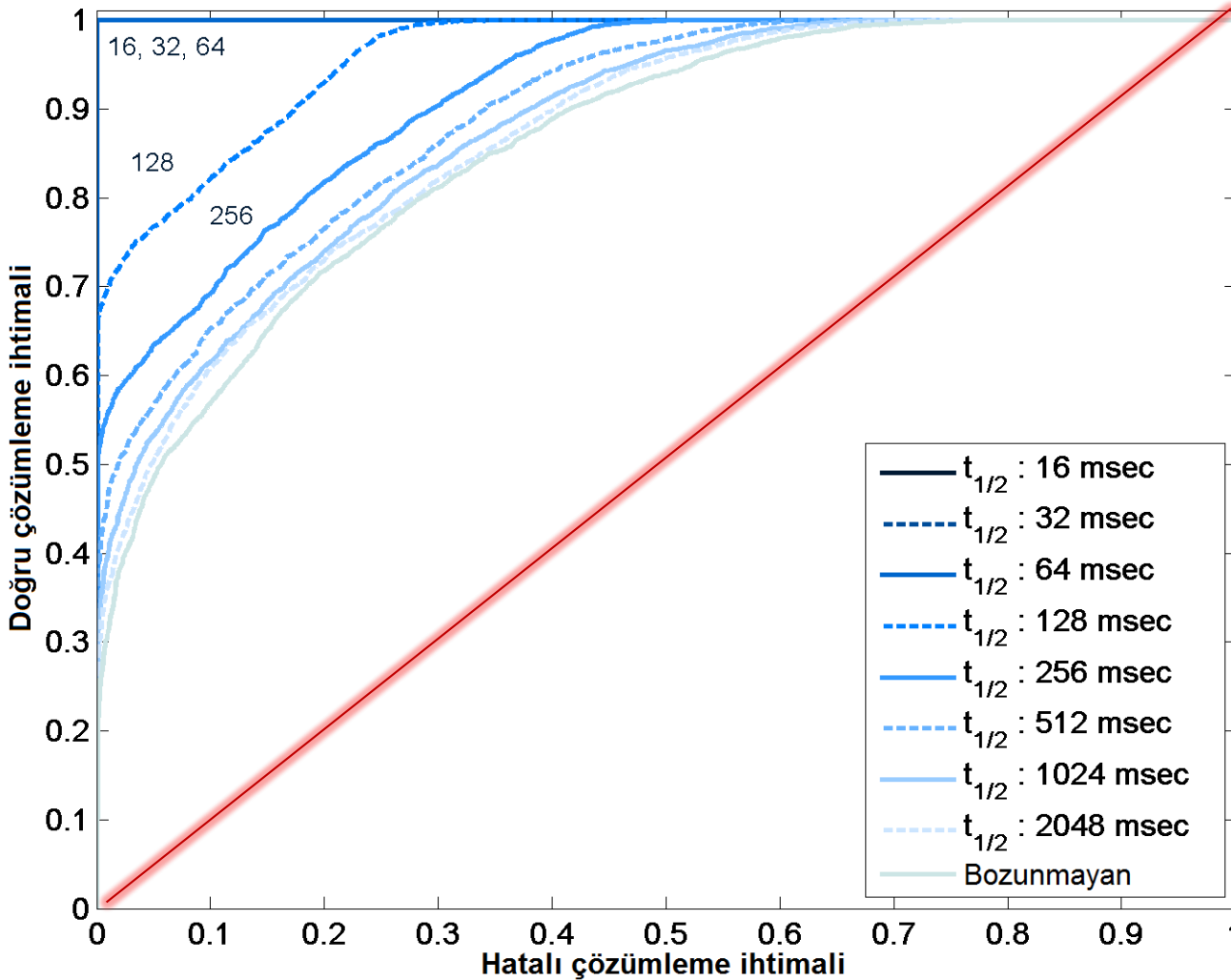


Sonraki sembol sürelerine kalan molekül miktarı yarılanma ömrüyle ters orantılıdır.

SAG ciddi şekilde azaldığı için gönderilen bit-alınan bit tahminleri de iyileşmektedir.

Moleküler bozunmanın etkileri - 2

15



ROC eğrilerinin y-eksenine ve $y=1$ doğrusuna yakınlığı testin doğruluk oranının yüksek olduğunu gösterir.

Kırmızı çizgiye daha yakın eğriler için doğruluk oranı daha düşüktür.

Analitik formüller

16

- Taşıyıcı molekülün bozunmadan alıcı hücreye varma ihtimali:

$$F_{hit}(t, \lambda | r_{NeN}, d, D) = \frac{r_{NeN}}{2l} \exp\left(-d\sqrt{\frac{\lambda}{D}}\right) \left\{ 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{d}{\sqrt{4Dt}} - \sqrt{\lambda t}\right) + \exp\left(2d\sqrt{\frac{\lambda}{D}}\right) \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{d}{\sqrt{4Dt}} + \sqrt{\lambda t}\right) \right] \right\}$$

- Alıcı hücreye varan taşıyıcı molekül miktarı:

$$E[N^{Rx}(t | r_{NeN}, d, D, N)] = \gamma \cdot F_{hit}(t | r_{NeN}, d, D)$$

$$\gamma = \begin{cases} N & \text{gönderilen sembol 1} \\ 0 & \text{gönderilen sembol 0.} \end{cases}$$

Analitik formüller

17

- İletilen sinyalin doğru veya hatalı çözümlenme ihtimalleri:

$$P_{c_1} = \sum_{i=1}^{2^k} p((E[N_{P_t}^{Rx}(S_i)] + E[N_C^{Rx}]) \geq \tau) \cdot p(S_i)$$

$$P_{c_0} = \sum_{i=1}^{2^k} p(E[N_{P_t}^{Rx}(S_i)] < \tau) \cdot p(S_i)$$

$$P_{e_1} = \sum_{i=1}^{2^k} p((E[N_{P_t}^{Rx}(S_i)] + E[N_C^{Rx}]) < \tau) \cdot p(S_i)$$

$$P_{e_0} = \sum_{i=1}^{2^k} p(E[N_{P_t}^{Rx}(S_i)] \geq \tau) \cdot p(S_i)$$

Analitik formüller

18

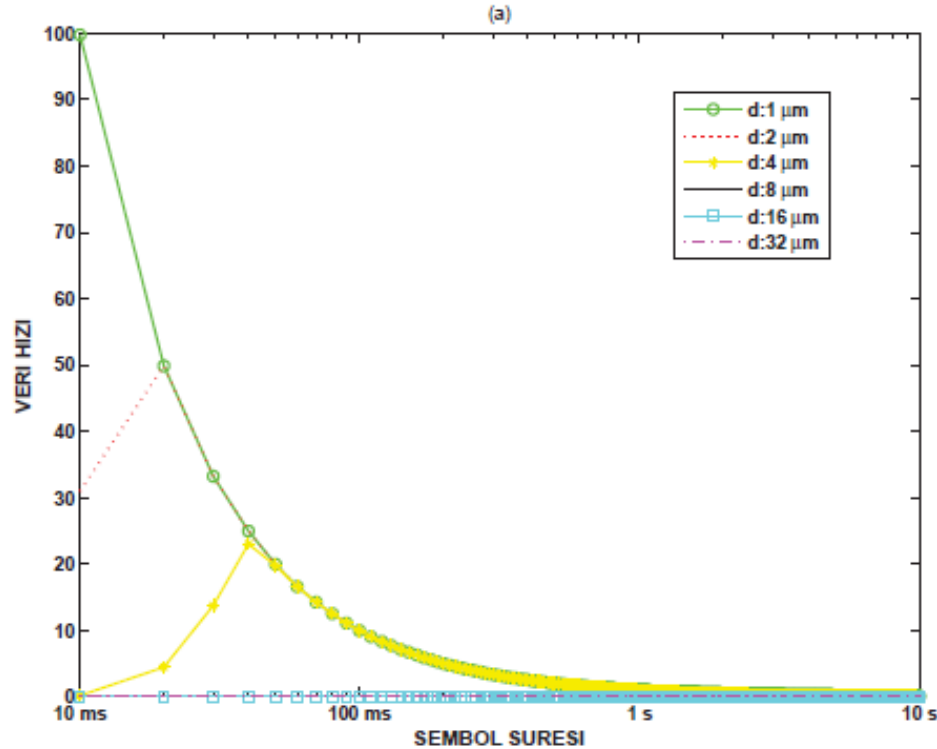
- Ortak bilgi, kanal kapasitesi ve veri hızının hesaplanması:

$$I(X;Y) = \frac{1}{2} \left\{ P_{c_0} \log_2 \left(\frac{2P_{c_0}}{P_{c_0} + P_{e_1}} \right) + P_{e_0} \log_2 \left(\frac{2P_{e_0}}{P_{e_0} + P_{c_1}} \right) + P_{c_1} \log_2 \left(\frac{2P_{c_1}}{P_{c_1} + P_{e_0}} \right) + P_{e_1} \log_2 \left(\frac{2P_{e_1}}{P_{e_1} + P_{c_0}} \right) \right\}$$

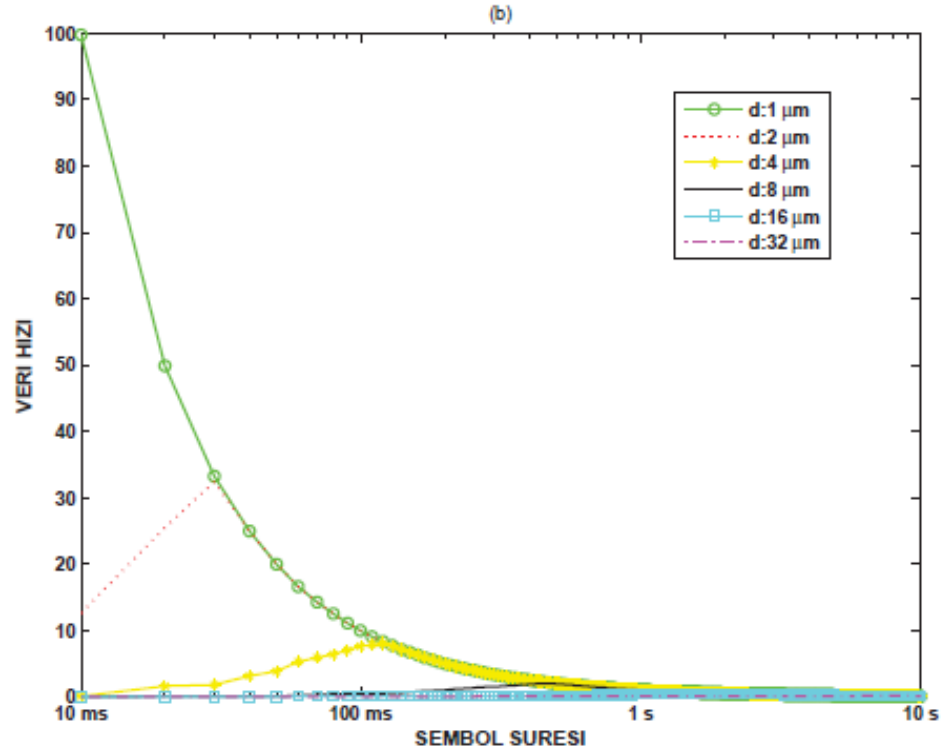
$$C = \max_{\tau} I(X;Y) \quad \text{veri hızı} = \frac{C}{t_s} = \frac{\max_{\tau} I(X;Y)}{t_s}$$

Sembol süresinin veri hızına etkisi

19



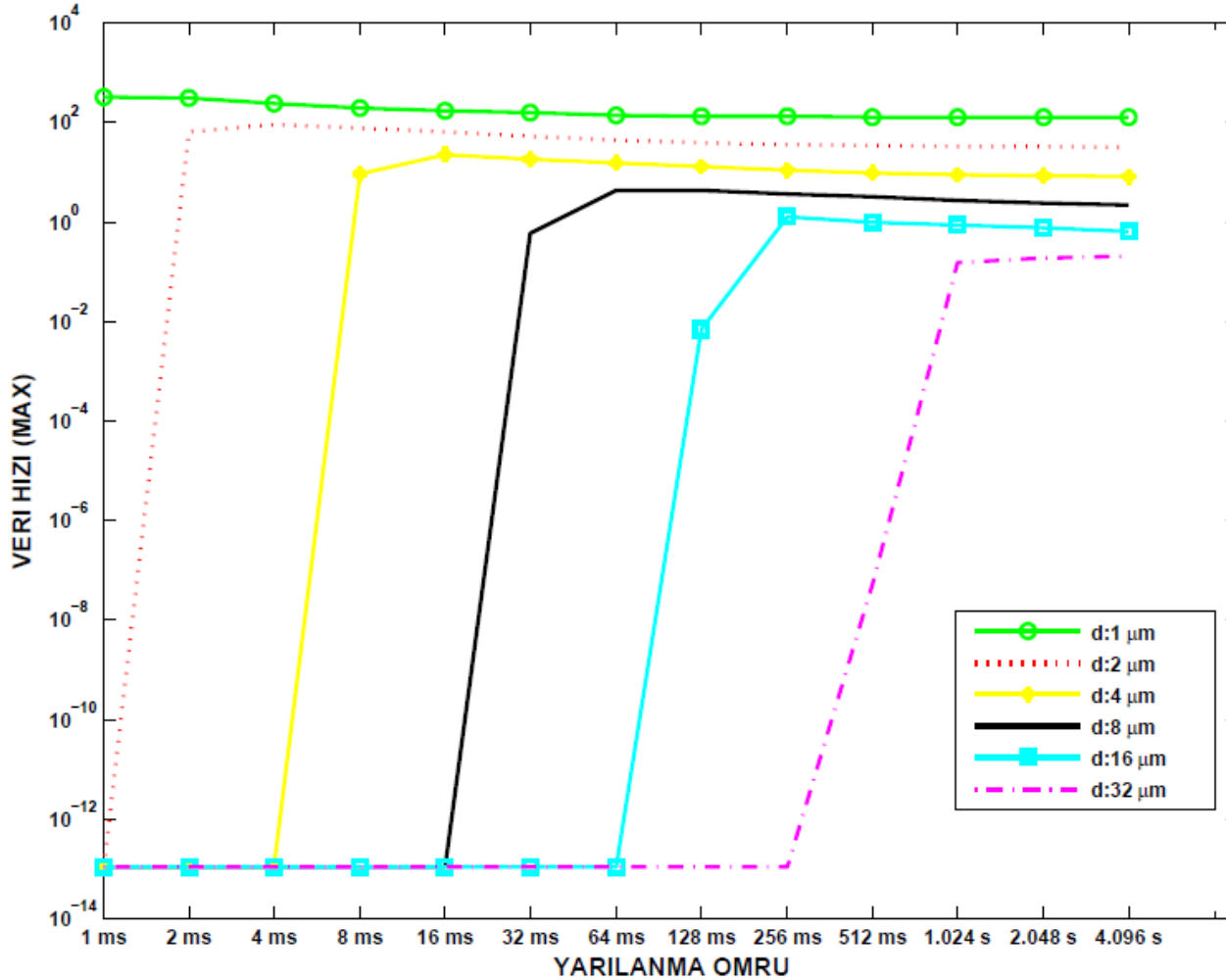
(a) Yarılma ömrü 512 milisaniye



(b) Bozunmayı dikkate almayan sistem

Bozunma ve uygun veri hızı değerleri

20

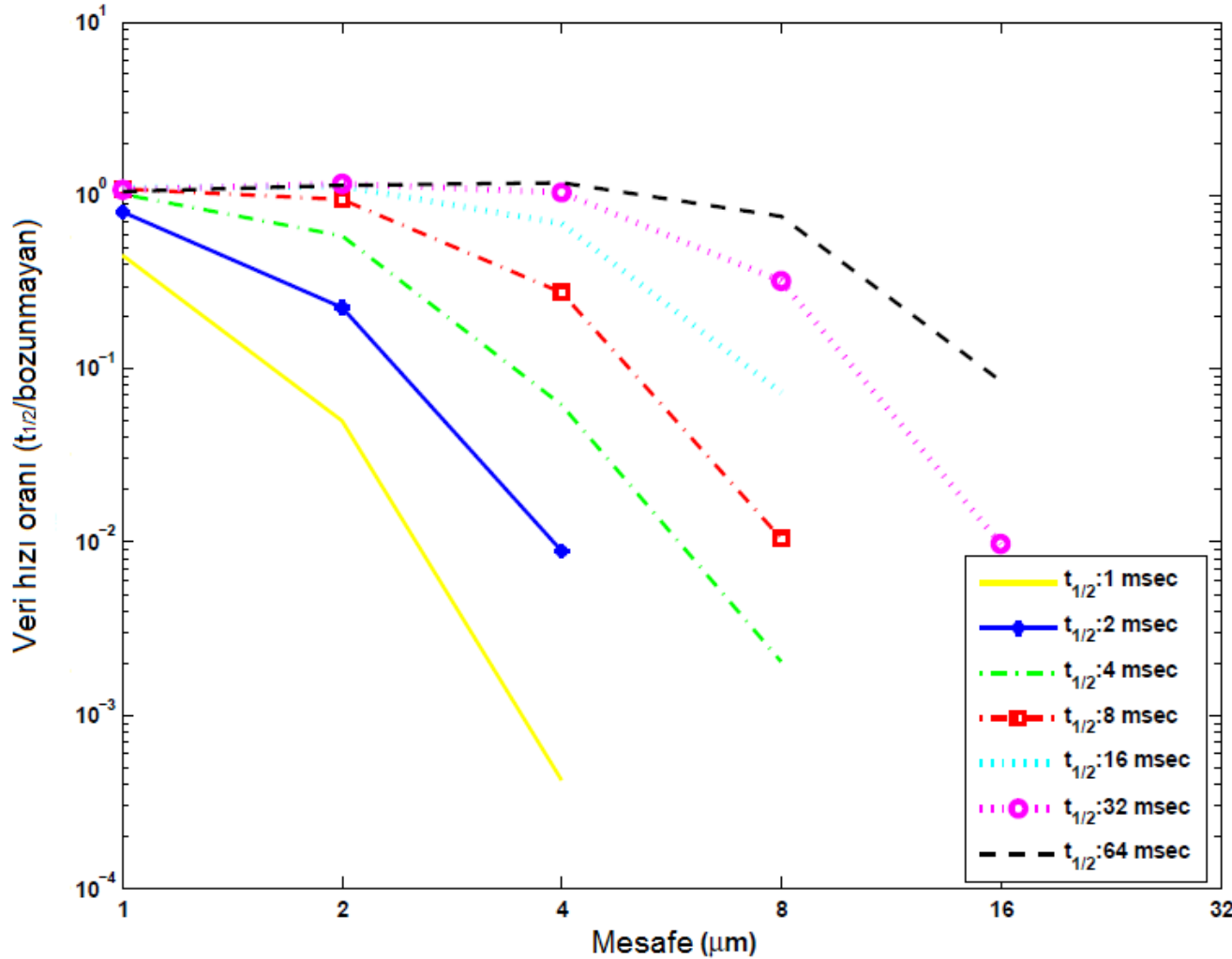


Daha uzun mesafelerde en büyük veri hızı değerleri azalmaktadır.

Veri hızını enbüyükleyen belirli yarılanma ömrü değerleri vardır.

Bozunmanın veri hızına etkisi - 1

21

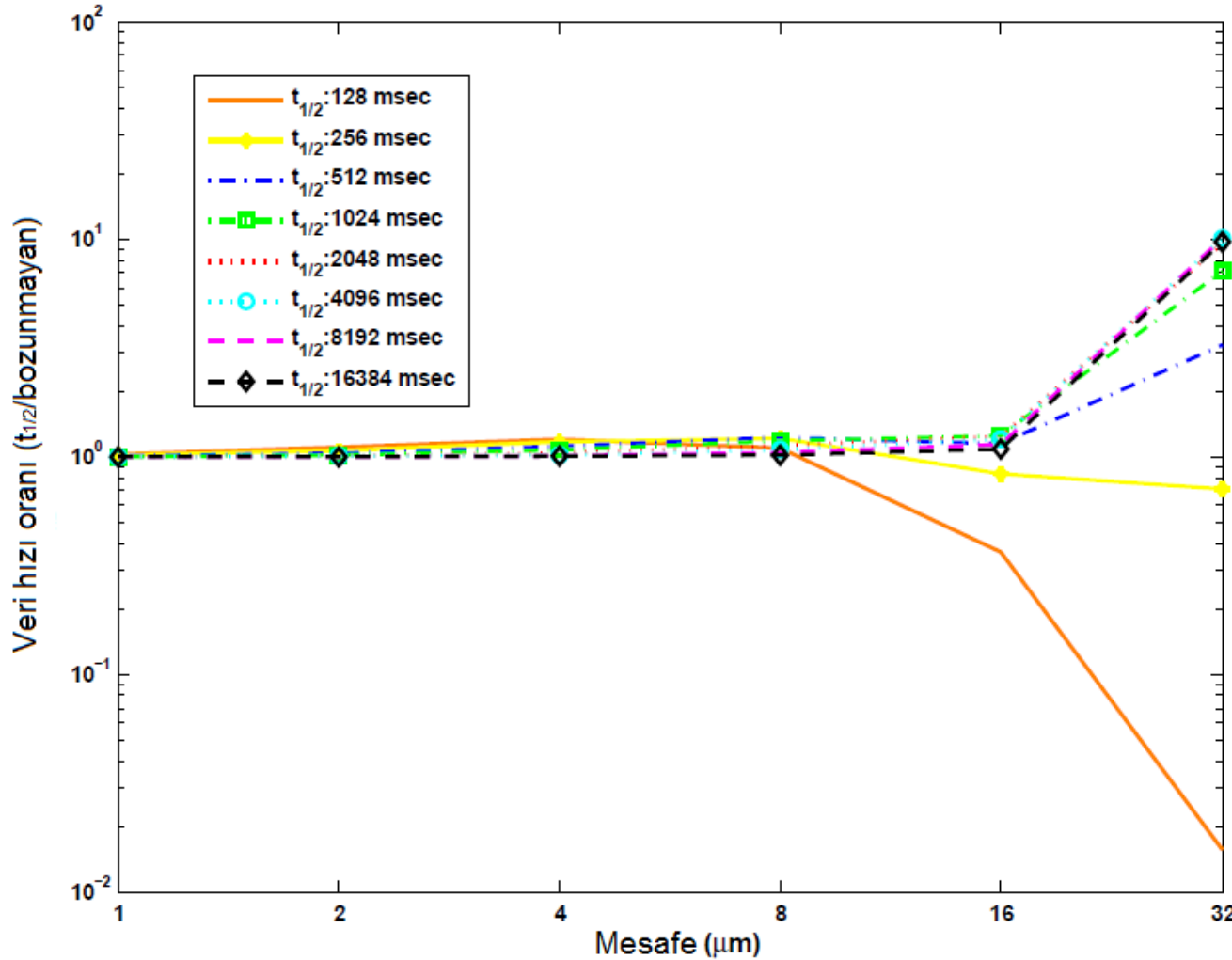


Mesafe arttıkça elde edilen veri hızı oranı azalmaktadır.

Yarılanma ömrü çok küçük moleküller kullanıldığında veri hızı değerleri olumsuz etkilenmektedir.

Bozunmanın veri hızına etkisi - 2

22



Mesafe arttıkça elde edilen veri hızı oranı azalmaktadır.

Özellikle uzun mesafelerde, ideal yarılanma ömrü seçilimi veri hızını 10 katına çıkarabilmektedir.

Sonuçlar

23

- Literatürdeki çoğu çalışmadan farklı olarak belirli bir süre sonra deforme olan moleküllerin kullanıldığı, gerçeğe daha yakın bir model ayrıntılı bir şekilde betimlenmiştir.
- Bu modelin SAG, hatalı çözümlenme ve veri hızı üzerindeki etkileri gösterilmiştir.
- Uygun yarılanma ömrü seçiliminin veri hızını ciddi boyutlarda artırdığı görülmüştür.

Gelecekte yapılabilecek çalışmalar

24

- Bu doğal olgunun
 - haberleşmede harcanan enerji,
 - taşıyıcı moleküllerin alıcıya varma süreleri,gibi iletişimin diğer önemli ölçevleri üzerindeki etkilerini gözlemlemek.

- Moleküler boyuttaki diğer haberleşme tekniklerinin (iyon imleşimi, mikrotübül ağlar, hücre çıkıntıları kullanarak iletişim, vs.) incelenmesi ve nano ağlarda haberleşme için biyoloji literatüründe yeni yöntemlerin araştırılması.

Kaynaklar

26

- I.F. Akyildiz, F. Brunetti, C. Blazquez, “*Nanonetworks: a new communication paradigm*”, Computer Networks (Elsevier) Journal 52 (12) (2008) 2260–2279.
- G. Genc, H. B. Yilmaz, and T. Tugcu, “*Reception enhancement with protrusions in communication via diffusion*,” in Communications and Networking (BlackSeaCom), 2013 First International Black Sea Conference on, pp. 89–93. IEEE, 2013.
- M. S. Kuran, H. B. Yilmaz, and T. Tugcu, “*A tunnel-based approach for signal shaping in molecular communication*,” in Communications Workshops (ICC), 2013 IEEE International Conference on, pp. 776–781. IEEE, 2013.
- A. C. Heren, F. N. Kilicli, G. Genc, and T. Tugcu, “*Effect of messenger molecule decomposition in communication via diffusion*,” in Nanoscale Computing and Communication (NANOCOM), 1st ACM International Conference on. ACM, 2014.
- G. M. Cooper and R. E. Hausman, *The cell*. Sinauer Associates Sunderland, 2000.
- A. C. Heren, “*Effects of Messenger Molecule Degradation in Molecular Communication via Diffusion*,” Master’s thesis, Bogazici University, Turkey, 2014.
- M. S. Kuran, H. B. Yilmaz, T. Tugcu, B. Özerman “*Energy model for communication via diffusion in nanonetworks*” Nano Communication Networks 1 (2010) 86–95 Conference on, IEEE
- B. Alberts, A. Johnson, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts, P. Walter, *Molecular Biology of the Cell, 5th edition*, Garland Science, 2007.