



YÜKSEK MERTEBEDEN ETKİLEŞİMLER VE PANGRAFLAR

Mateusz Iskrzyński¹, Aleksandra Puchalska², Aleksandra Grzelik¹, Gökhan Mutlu^{3,*}

¹Sistem Araştırma Enstitüsü, Polonya Bilimler Akademisi, Varşova, Polonya

²Varşova Üniversitesi Uygulamalı Matematik ve Mekanik Enstitüsü, Varşova, Polonya

³Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, Ankara, Türkiye

ÖZET

Ağlar gerçek hayatta pek çok alanda (sosyoloji, psikoloji, fizik, kimya, biyoloji, internet, iletişim, vs.) karşımıza çıkmaktadır. Ağ teorisi kompleks sistemleri modellemeye ve analiz etmeye olanak sağlar. Graflar, ikili ilişkileri modellemek için sosyal ağlarda, biyolojide, kimyada, vb. uzun zamandır kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda yapılan deneysel çalışmalar ve gözlemler, bazı kompleks sistemlerde elemanlar arası etkileşimlerin ikili ilişkiler şeklinde yani graflarla ifade edilemeyeceğini ortaya koymuştur [1]. Bu tür etkileşimlere yüksek mertebeden etkileşimler denir ve özellikle biyoloji ve kimyada sıkça karşımıza çıkmaktadır [1].

Literatürde yüksek mertebeden etkileşimleri modellemek için hipergraflar, çok katlı ağlar, petri ağları, metabolik graflar, vb. kullanılmıştır [1]. Ancak bu modeller ilgili kompleks sistem ve bu sistemdeki etkileşimlerin yapısal ve niceliksel özellikleriyle ilgili bazı konularda yetersiz kalmaktadır. Bir düğümün başka düğümler arası bir etkileşimi değiştirdiği (zayıflatığı ya güçlendirdiği) durumları modellemek için hipergraflar kullanılmıştır [2]. Ancak bu model hangi düğümün etkileyen hangi düğümlerin ise etkilenen olduğunu belirtmekte ya da düğümlerin önem derecelerini (merkeziyet) ölçmekte yetersiz kalmaktadır [2].

Bu çalışmada yüksek mertebeden etkileşimleri ve özellikle bir düğümün bir etkileşimi değiştirdiği kompleks sistemleri modellemek için yeni bir matematiksel yapı (pangraph) tanımlanmıştır [3]. Pangraflar, bir düğümün bir etkileşimi değiştirdiği etkileşimleri hipergraflardan daha etkili ve doğru şekilde tanımlamaya olanak sağlamaktadır [3]. Pangraflar, bu tür etkileşimlerde etkileyen ve etkilenen düğümleri doğru ve eksiksiz şekilde ifade etmektedir. Ayrıca, pangraflar, yüksek mertebe etkileşimleri modellemek için literatürde mevcut olan diğer yapıları da genelleştirmektedir [3].

Anahtar Kelimeler Ağ teorisi, yüksek mertebeden etkileşimler, pangraflar.

Kaynaklar

- [1] Battiston F., Cencetti G., Iacopini I., Latora V., Lucas M., Patania A., ... Petri G., Networks beyond pairwise interactions: Structure and dynamics, Physics Reports, 874, 1-92, 2020.
- [2] Golubski A.J., Westlund E.E., Vandermeer J., Pascual, M., Ecological networks over the edge: hypergraph trait-mediated indirect interaction (TMII) structure, Trends in Ecology Evolution, 31(5), 344-354, 2016.
- [3] Iskrzyński M., Puchalska A., Grzelik A., Mutlu G., Pangraphs as models of higher-order interactions. arXiv preprint arXiv:2502.10141, 2025.

*Sorumlu Yazarın E-postası: gmutlu@gazi.edu.tr