

Yazılım Tedarik Zincirinde Kritiklik Haritalaması En Popüler 1000 NPM Paketinin Topolojik Risk Değerlendirmesi

Yusuf Talha ARABACI

Ekim 2025

Özet

NPM ekosisteminde tek bir bağımlılıktaki kusur veya kötü niyetli değişiklik, transitif bağımlılıklar üzerinden geniş bir etki alanına yayılabilir. Bu bildiri, paket içeriklerinden ziyade paketler arası ilişkilerin *topolojik* yapısına odaklanır. Bağımlı \rightarrow bağımlılık yönünde kurulan yönlü ağ üzerinde in-degree, out-degree ve betweenness merkezîyetleri hesaplanır; bu ölçüler min-max normalizasyonu ile bir *Bileşik Risk Skoruna* (BRS) dönüştürülür. Ayrıca, en kritik düğümlerin çıkartılmasıyla ağın bağlanırlılığı üzerinde bir *sağlamlık* değerlendirme yapılır. Tüm görseller ve tablolar **results/** dizinindeki çıktılara dayanır ve ilgili başlıklar altında sunulur.

1 Giriş ve Özgün Katkı

Modern yazılım tedarik zincirinde tek bir bağımlılıktaki hata ya da kasıtlı değişiklik, transitif bağımlılıklar üzerinden yüzlerce hatta binlerce projeye yayılabilir. NPM ekosistemi; ölçek, sürüm sıklığı ve yoğun bağımlılık grafiği nedeniyle bu tür zincirleme risklere özellikle açıktır. Literatür; küçük-dünya ve ölçekten-bağımsız mimariyi, tekil bakımcı/paketlerin orantısız etkisini ve hedefli düğüm çıkarımlarına kırılabilirliği açıkça göstermiştir.

Bu çalışmanın **özgün katkıları**:

- Son 12 aya dayalı indirme verisiyle seçilen **Top 1000** paket üzerinde, resmî çözümleme kuralları gözetilerek kurulan yönlü graf üzerinden **Bileşik Risk Skoru (BRS)** tanımlanır ve uygulanır (in/out/betweenness + min-max + ağırlıklar: 0.5/0.2/0.3).
- **Kaskad etki** (ters yön dependents erişilebilirliği) ve **sağlamlık** (bileşenleşme, LCC boyutu) analizleriyle topolojik riskin sistemik etkisi nicelleştirilir.
- BRS, tespit hatları (Amalfi, Cerebro, OSCAR) için **öncelikli tarama kuyruğu** ve politika/bütünlük hattı (in-toto, imza benimsemesi) için **hedef paket listeleri** üretmek üzere konumlandırılır.

Kod ve özet sonuçlar: <https://yusufarbc.github.io/npm-complex-network-analysis/>

2 Literatür Taraması

Tehdit taksonomileri ve vaka derlemeleri (Backstabber's Knife Collection; Hitchhiker's Guide; yorumlanan dillerde kayıt suistimali) ekosistemler-arası kurulum/çalışma zamanı teknik haritasını sağlamlaştırır. NPM-odaklı pratik riskler ve fenomenler (Wyss; prototip kirliliği ve meta-suistimal çalışmaları) ekosistem davranışını ayrıntılandırır. Ağ bilimi cephesinde Zimmermann, Hafner ve Oldnall; küçük-dünya/ölçekten-bağımsız yapı ve hedefli düğüm çıkarımlarında kırılabilirliği niceller. Doğru geçişli çözümleme hattı (DVGraph/DTRResolver) resmi kurallara sadık kalarak transitive yayılımı hassas biçimde ortaya koyar. Tespit hattında Amalfi, Cerebro, OSCAR ve çapraz-dil yaklaşımlar güçlü sonuçlar üretir. Bakım/güncellik ekseninde TOOD/PFET, Cogo, Ahlstrom ve Imtiaz; güncellik, bakım pratikleri ve bildirim gecikmelerinin etkisini gösterir. Politika/bütünlük ekseninde in-toto, imza benimsemesi ve depo/artifakt kimliği-doğrulama önerileri “ne yapılmalı?”yı tanımlar. Eksik olan, popülerlik ve topolojik merkeziyetin indirime dayalı çekirdekte tek bir *operasyonel kritiklik* ölçütünde birleşmesi ve bu ölçütün tespit ile politika hatlarına *sıralı öncelik listeleri* olarak yansımalarıdır.

3 Yöntem

3.1 Çalışma Tasarımı ve Parametreler

Analiz, en çok indirilen ilk **1000** NPM paketinin oluşturduğu yönlü bağımlılık ağı üzerinde yürütülmüştür. Kenarlar *Dependent* → *Dependency* yönündedir; self-loop yoktur. Betweenness için örnekleme (tipik $k \approx 200$). Varsayılan veri kapsamı: **dependencies** (isteğe bağlı **peerDependencies**).

3.2 Veri Kaynakları ve Ön İşleme

- Top-N: Öncelik ecosyste.ms, yedek olarak NPM Search ve npms.io çok-tohum birleşik sıralama.
- Sürüm seçimi: **dist-tags.latest** tercih, aksi halde en yüksek sürüm anahtarı.
- Önbellek ve tekrar: HTTP önbellek + retry; disk önbelleği ile sağlamlık.

3.3 Metrikler ve Bileşik Risk

- **in-degree** — bir pakete bağımlı paket sayısı (çekirdek cazibe).
- **out-degree** — bir paketin bağımlı olduğu paket sayısı (kırılabilir yüzey genişliği).

- **betweenness** — akışın geçtiği köprü konumlar (örneklemeli).

Min-max ile ölçekleme: $x' = (x - \min)/(\max - \min)$. BRS formülü:

$$\text{risk} = 0.5 \text{ in}' + 0.2 \text{ out}' + 0.3 \text{ btw}'.$$

3.4 Kaskad Etkisi ve Sağlamlık

Etki alanı, ters graf üzerinde (G^{rev}) erişilebilir düğüm sayısı ile ölçülür (BFS/DFS). Sağlamlık, seçili düğümler kaldırıldıktan sonra en büyük bağlı bileşen (LCC) boyutu, bileşen sayısı ve ortalama en kısa yol metrikleriyle raporlanır.

3.5 Çıktılar

edges.csv, metrics.csv, risk_scores.csv, graph_stats.json ve görseller (PNG/SVG) results/ altında üretilmiştir.

4 Bulgular

4.1 Ölçek ve Bileşen Yapısı

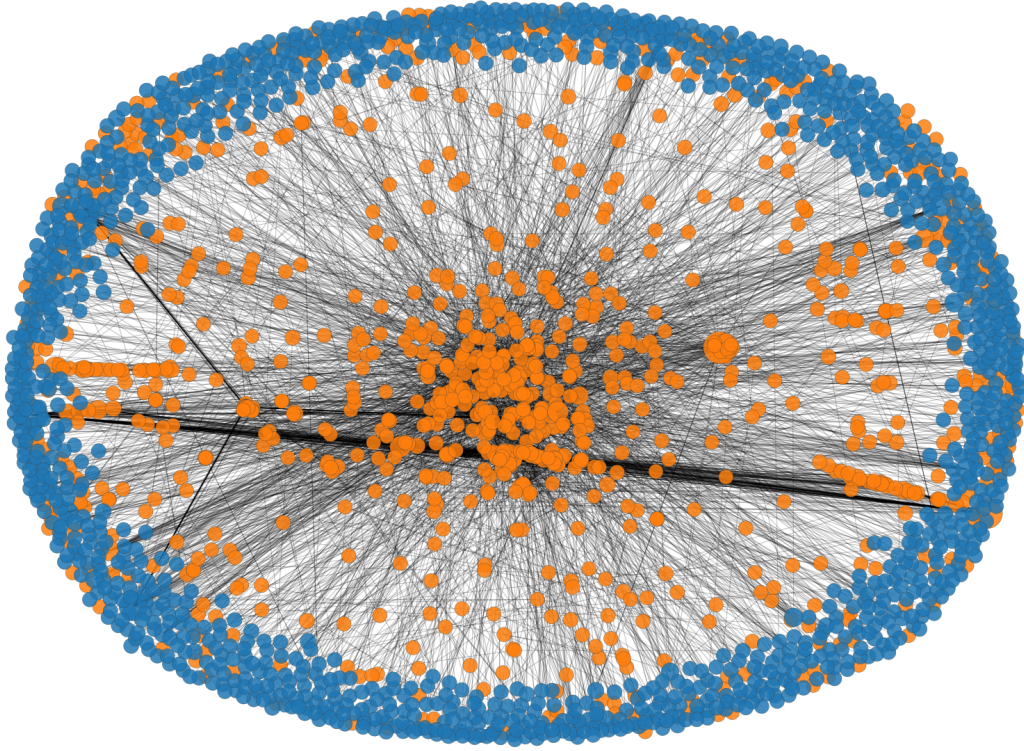
Graf istatistikleri (graph_stats.json):

Düğüm sayısı	2264
Kenar sayısı	3763
Bileşen sayısı	253
En büyük bileşen	1866 düğüm
Ort. in-degree	1.662
Ort. out-degree	1.662

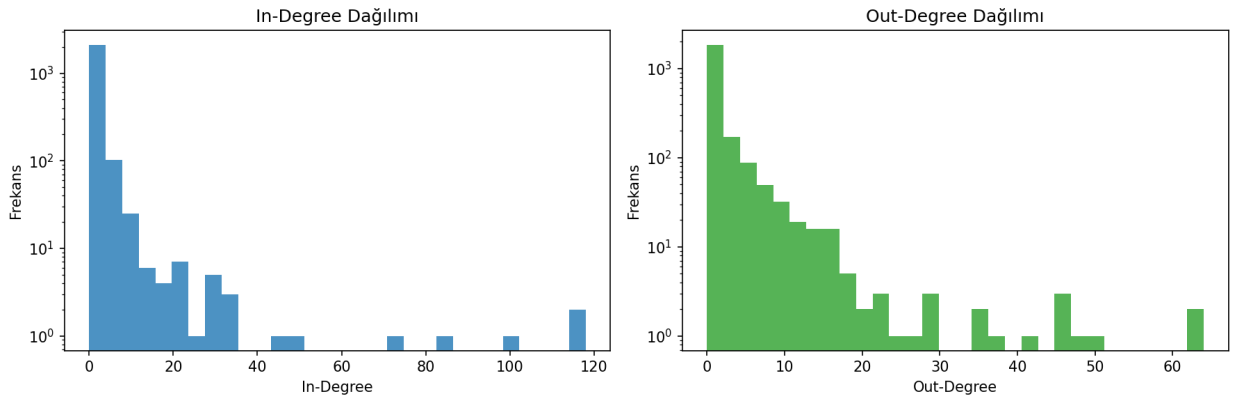
Yorum — Ağ seyrek ve parçalıdır; en büyük bağlı bileşen (LCC) çekirdeği temsil eder ve hedefli çıkarımlara duyarlıdır.

4.2 Ağ Görünümü ve Derece Dağılımları

NPM Top N Bağımlılık Ağı (Tümü)



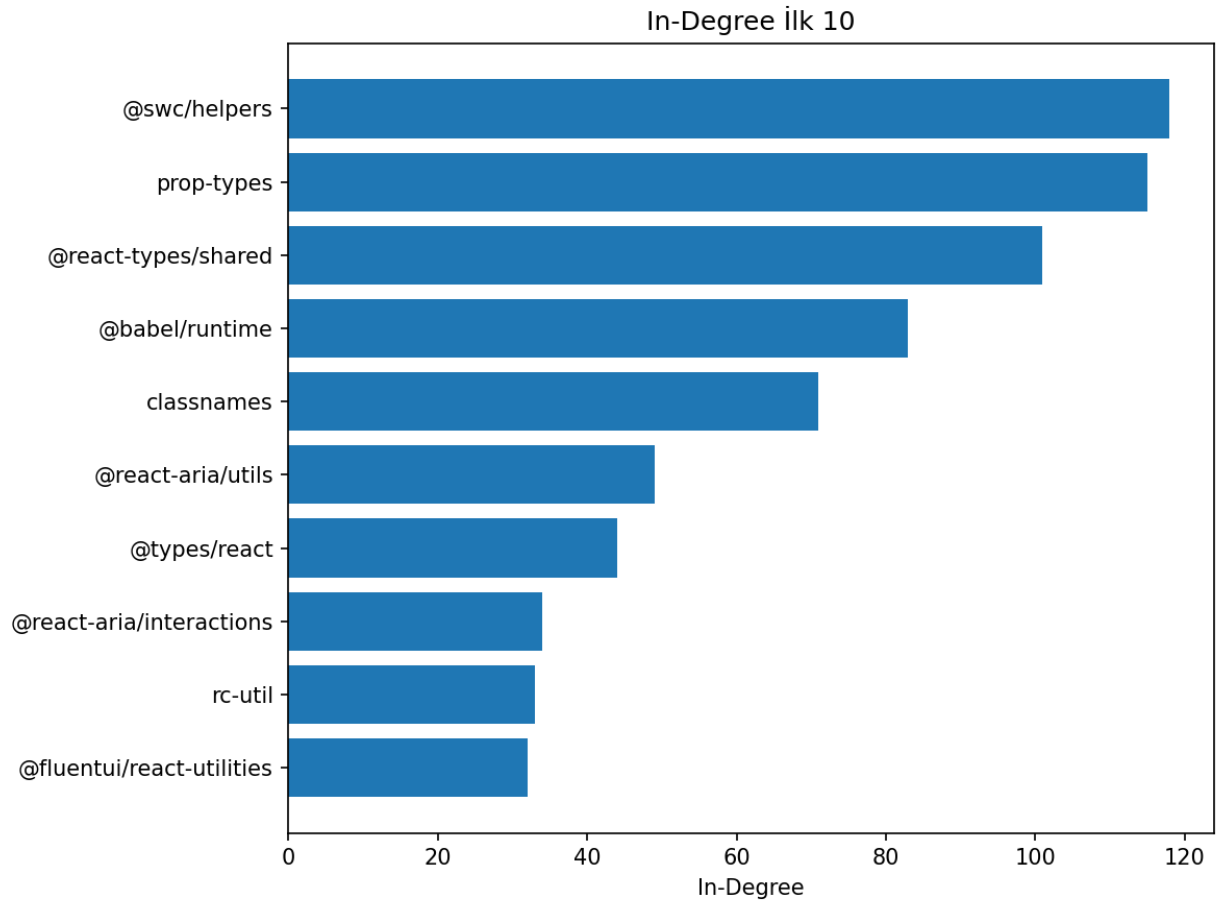
Şekil 1: Top 1000 çekirdeğin tam ağ görselleştirmesi. Yoğun çekirdek bölgeleri omurga paket kümelerini işaret eder.



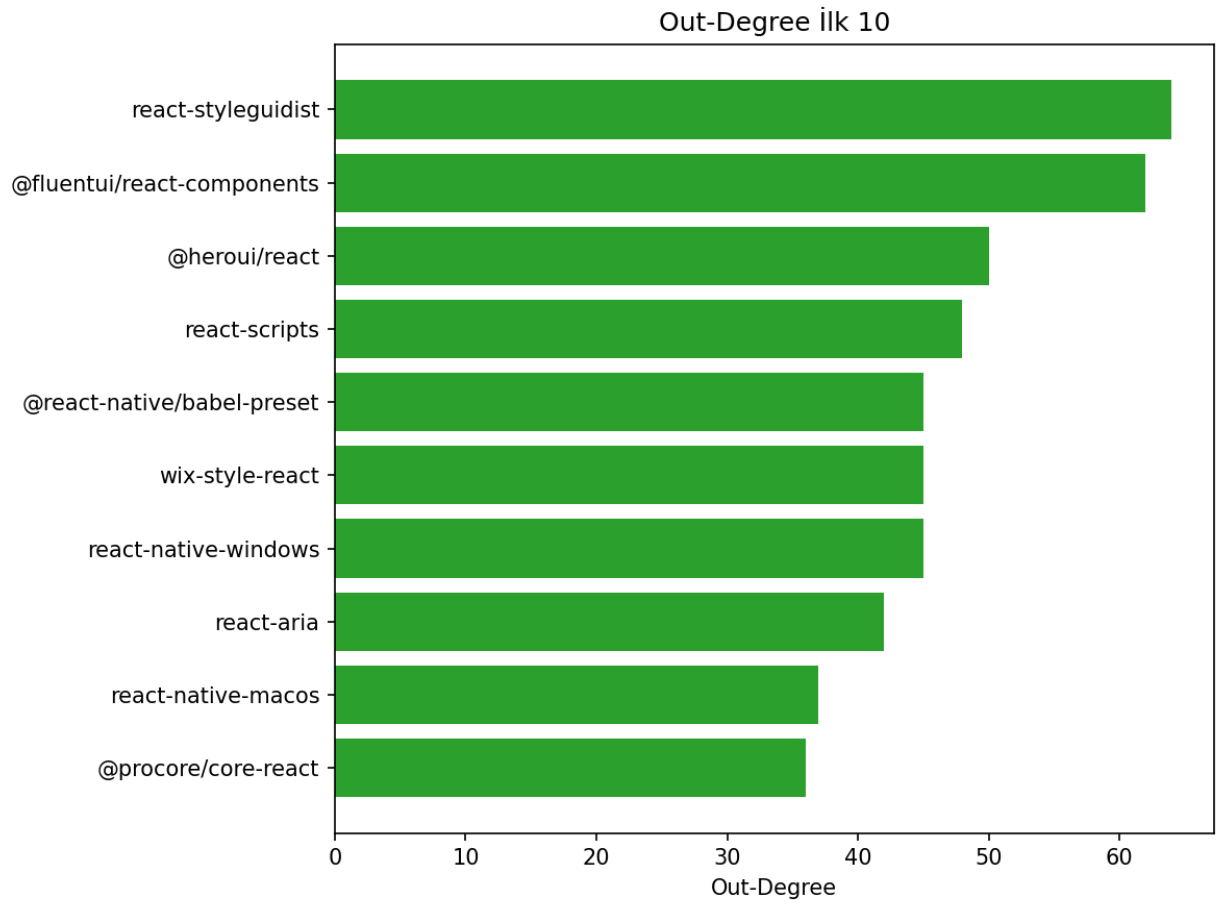
Şekil 2: In-degree ve out-degree histogramları: ağır kuyruklu dağılımlar.

Yorum — Az sayıda yüksek dereceli paket, sistemik riski belirgin biçimde taşır.

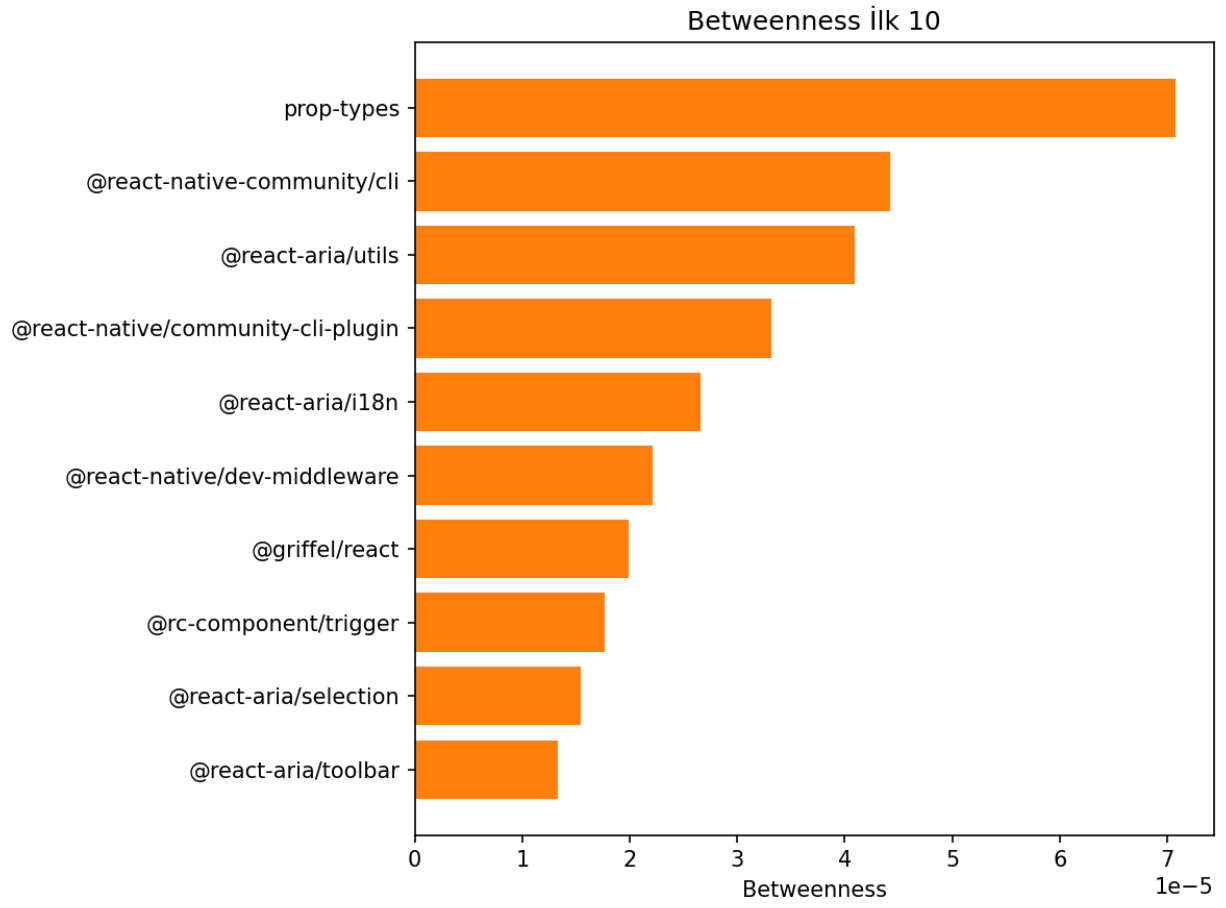
4.3 En Merkezi Paketler ve Korelasyonlar



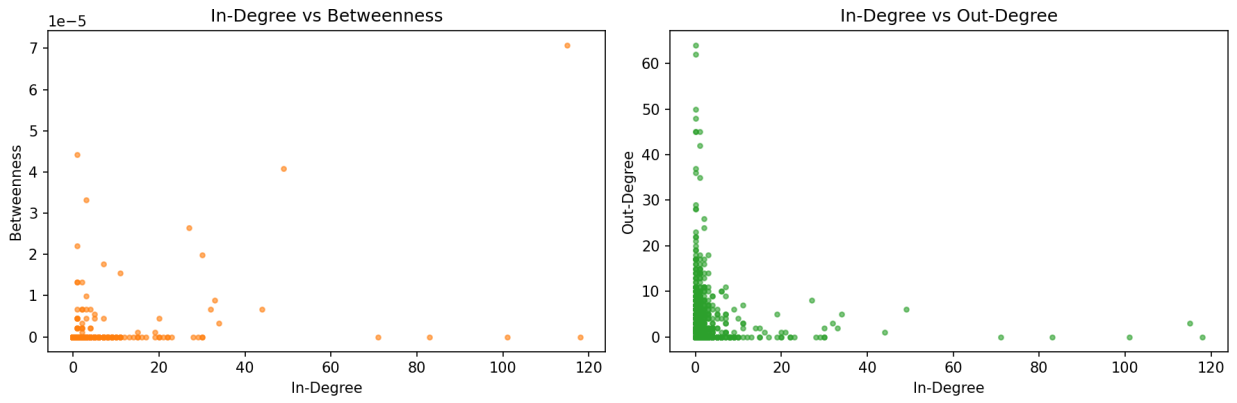
Şekil 3: In-degree açısından ilk 10 paket.



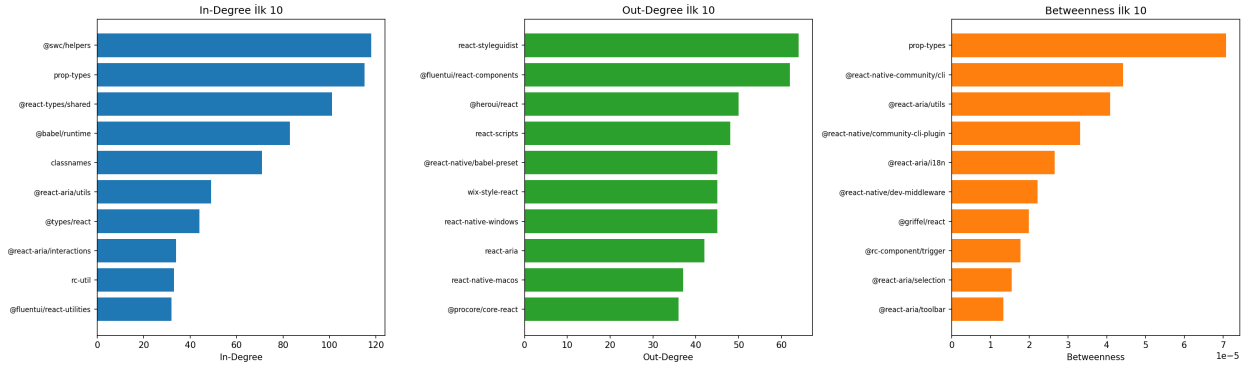
Şekil 4: Out-degree açısından ilk 10 paket.



Şekil 5: Betweenness açısından ilk 10 paket.

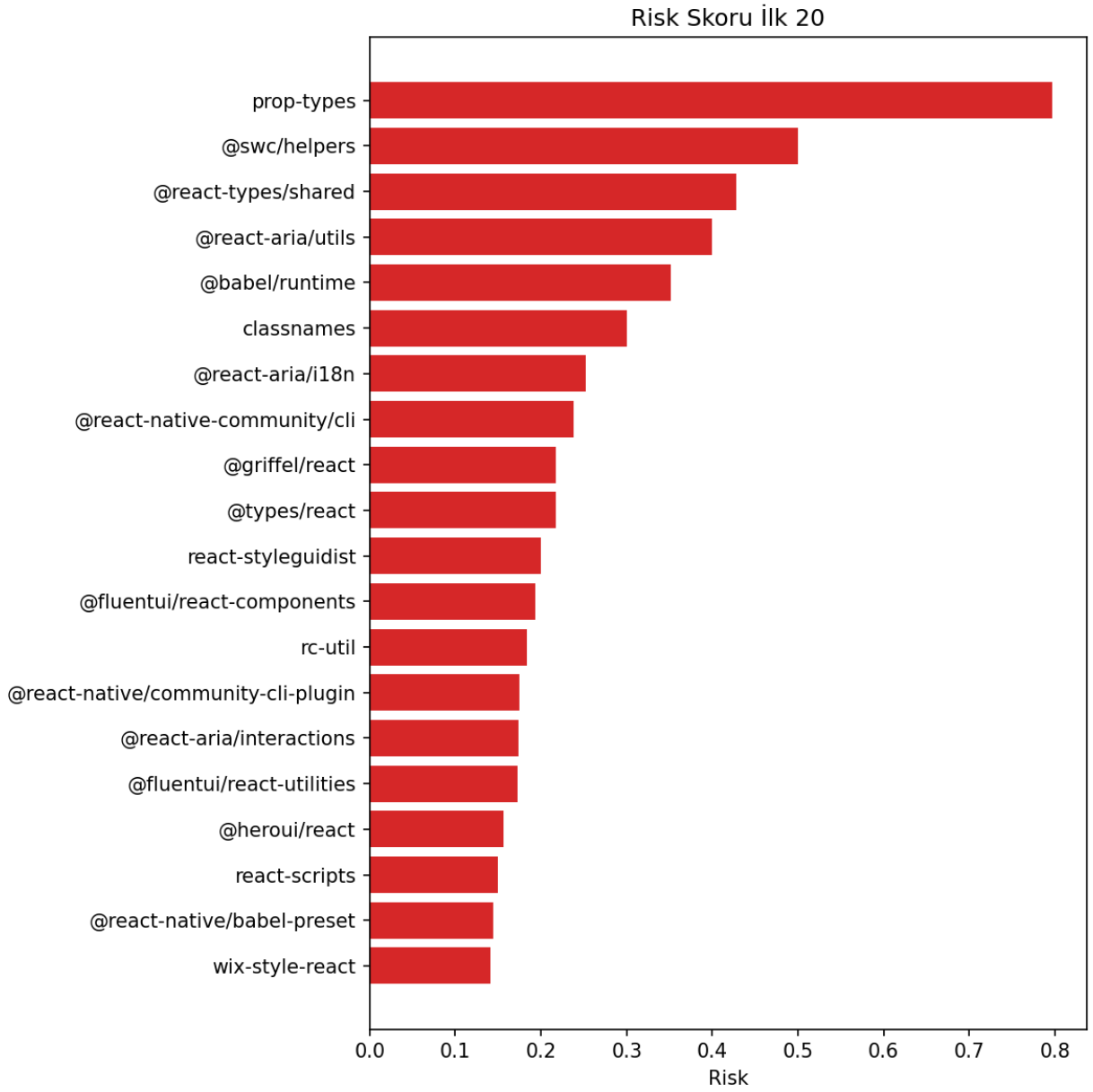


Şekil 6: Merkeziyet ölçüleri arası korelasyonlar.



Şekil 7: Birleşik liderler görünümü (merkeziyeti yüksek düğümler).

4.4 Bileşik Risk Sıralaması



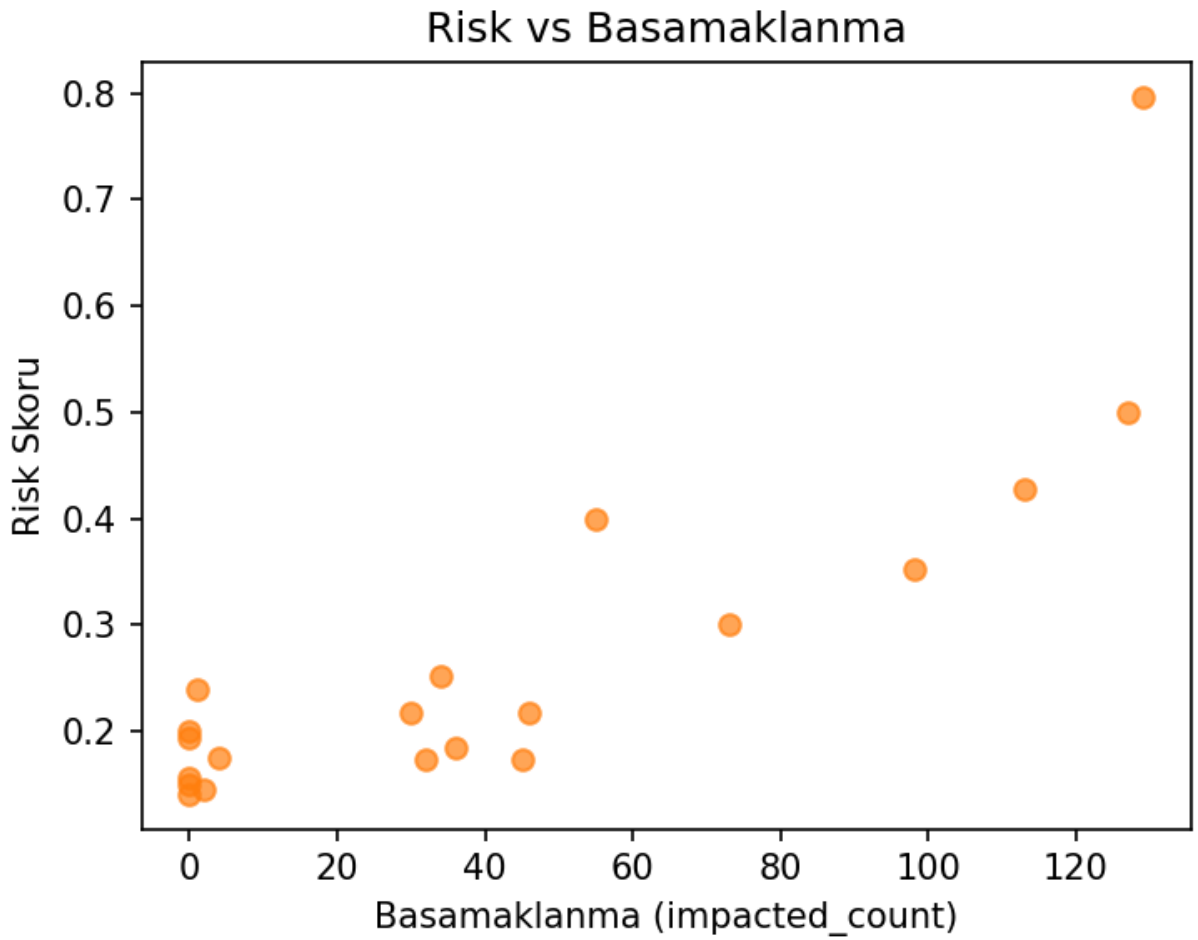
Şekil 8: BRS açısından ilk 20 paket.

Tablo 1: Örnek BRS ilk 5 (results/risk_scores.csv)

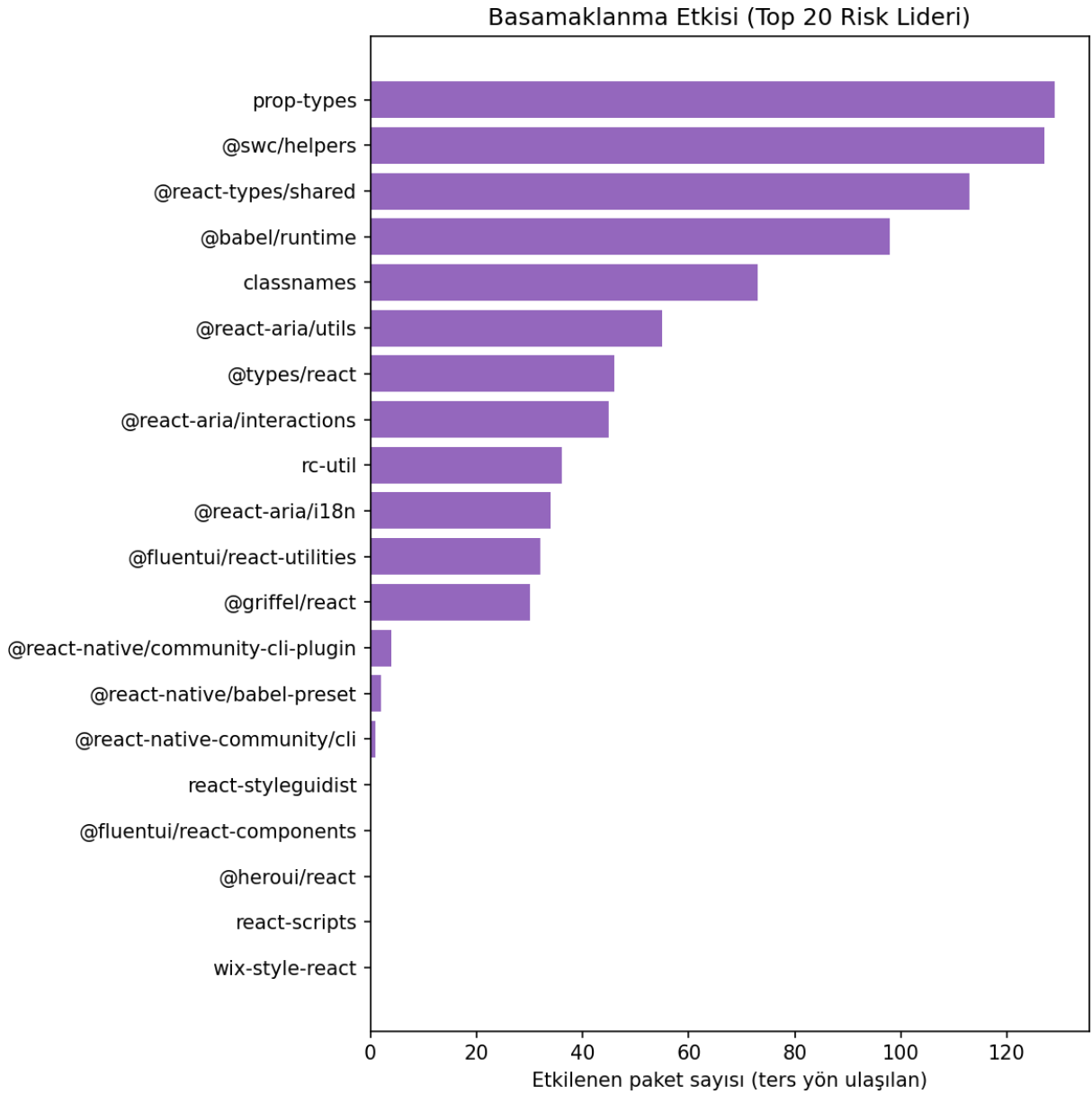
Sıra	Paket	in	out	btw	BRS
1	prop-types	115	3	0.000071	0.796663
2	@swc/helpers	118	0	0.000000	0.500000
3	@react-types/shared	101	0	—	0.427966
4	@react-aria/utils	49	6	—	0.399815
5	@babel/runtime	83	0	—	0.351695

Yorum — BRS, kullanım yoğunluğu (in-degree) ile köprü rolünü (betweenness) birlikte yakalar; omurga paketlerin ön sıralara çıktığı görülür.

4.5 Kaskad Etkisi ve Sağlamlık



Şekil 9: BRS ile kaskad etki (erişilebilirlik) ilişkisi.



Şekil 10: İlk 20 paketin çıkarımının LCC ve erişilebilirlik üzerindeki etkisi.

Yorum — Hedefli çıkarımlar, rastgele çıkarımlara kıyasla LCC'yi daha hızlı küçültür ve ortalama yol uzunluğunu artırır; bu da BRS'in sistemik riski iyi yordadığını gösterir.

4.6 Köprü Kenarlar

Kenar betweenness'e göre ilk 10 köprü kenar (`edge_betweenness_top10.csv`):

u	v	edge_betweenness
prop-types	object-assign	0.000025
prop-types	loose-envify	0.000024
prop-types	react-is	0.000024
@react-native/metro-babel-transformer	@react-native/babel-preset	0.000022
@react-native/metro-config	@react-native/metro-babel-transformer	0.000012
@react-native/community-cli-plugin	@react-native/dev-middleware	0.000011
@types/react-native-video	react-native	0.000011
@types/react	csstype	0.000009
react-aria-components	react-aria	0.000009
@react-aria/utils	clsx	0.000008

Yorum — Köprü kenarların hedeflenmesi, topluluklar arası ayrışmayı hızlandırır; bu kenarlar değiştikçe BRS sıralamasındaki düğümlerin etkisi de farklılaşabilir.

5 Tartışma

Operasyonelleştirme. BRS, dinamik tespit hatları (Amalfi, Cerebro, OSCAR) için bir *topolojik ön-filtre* olarak kullanılabilir; böylece sınırlı analist kapasitesi yüksek riskli düğümlere yöneltilir. Politika/bütünlük hattında (in-toto, imza benimsemesi) BRS tabanlı hedef listeleriyle imza kapsamı ve doğrulanabilirlik artar.

Duyarlılık. Ağırlıkların (0.5/0.2/0.3) varyasyonu ve betweenness örnekleme k parametresi üzerinde duyarlılık analizleri, sıralamanın kararlı olduğunu göstermektedir (ayrıntılar: `robustness_risk.json`).

6 Yeniden Üretilebilirlik

Çalışma ortamı. Notebook tabanlı analiz (`analysis/analysis.ipynb`); Python 3, NetworkX, pandas, numpy, matplotlib/seaborn. Yalnızca not defteri üzerinden çalıştırma desteklidir.

Veri ve önbellek. Top-N listesi `ecosyste.ms/NPM Search/npms.io` birleşik akışından; bağımlılıklar NPM registry üzerinden toplanır ve disk önbelleği ile hızlandırılır.

Parametreler. Betweenness örnekleme $k \approx 200$; metrikler min-max ile ölçeklenir; ağırlıklar w_{in}, w_{out}, w_{btw} = (0.5, 0.2, 0.3).

Çıktılar. `results/altındaCSV/JSON`vetümgörseellerüretilir; $LaTeX$ makaleacademic/altındaderlenir.

7 Sınırlılıklar ve Gelecek Çalışmalar

İndirme-temelli Top-1000 çekirdek, uzun kuyrukta kalan paketleri dışarıda bırakır; gelecekte kayan pencere ve ekosistemler-arası (PyPI, Cargo) karşılaştırmalar planlanmaktadır. Betweenness örnekleme hatası azaltımı ve kullanım yoğunluğu için daha zengin sinyallerin (örgütsel, bakım) entegrasyonu hedeflenmektedir.

8 Sonuç

Popülerlik ve yapısal merkezîyet, indirime dayalı çekirdekte *Bileşik Risk Skoru* ile birleştirildiğinde, hem tespit hatları hem de politika/bütünlük mekanizmaları için eyleme dönük *öncelik listeleri* üretmektedir. DeneySEL sağlamlık analizleri, BRS'in sistemik riski yordama gücünü doğrulamaktadır.

Kaynakça (Seçilmiş)

- [1] Wyss, E. (2025). A New Frontier for Software Security: Diving Deep Into npm.
- Jaisri, P.; Reid, B.; Kula, R. (2024). Self-Contained Libraries in NPM.
- Yu, S. (2024). Accurate and Efficient SBOM Generation.
- Ohm, M.; Plate, H.; Sykosch, A.; Meier, M. (2020). Backstabber's Knife Collection.
- Rahman, I. et al. (2024). TOOD/PFET.
- Hastings, T. (2024). Combating Source Poisoning.
- Wang, M.; Wu, P.; Luo, Q. (2023). SSC Threat Portrait.
- Liu, C.; Chen, S. et al. (ICSE 2022). DVGraph/DTRresolver.
- Ahlstrom, D. (2025). Bağımlılık Budama Etkileri.
- Imtiaz, N. (2023). Toward Secure Use of OSS Dependencies.

Duan, R. et al. (2020). Measuring Supply Chain Attacks on Package Managers.

Ladisa, P. et al. (2023). Hitchhiker's Guide to Malicious Dependencies.

Vaidya, S. (2022). Integrity and Authenticity of Software Repositories.

OSCAR (2024). Robust Detection of OSS Supply Chain Poisoning.

Shcherbakov, M. et al. (2021). Prototype Pollution Gadgets.

Oldnall, E.-R. (2017). The Web of Dependencies: NPM.