DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9–0

CHEF ÆON V1.4-LOCK: KLİNİK BESLENMEDE KUANTUM HİBRİT YAPAY ZEKÂ İLE ÇOK-AMAÇLI, KANITLANABİLİR VE TEKRARLANABİLİR OPTİMİZASYON

Serkan Kündem[1*], Erşan Yıldız[2]

[*1] Erciyes University, Erciyes University,
Institute of Social Sciences,
Department of Tourism Management, Kayseri, TÜRKİYE
[2] Erciyes University, Faculty of Tourism,
Department of Gastronomy and Culinary Arts, Kayseri, TÜRKİYE
ORCID Code: https://orcid.org/0000-0003-0784-0152*

Özet

Amaç. Klinik mutfak/servis akışlarında hasta güvenliği (**Kritik Kontrol Noktaları** [**CCP**]), duyusal kalite,servis süresi, enerji tüketimi ve atık üretimi aynı anda yönetilmelidir. Bu çalışma, **Chef ÆON**[10] **v1.4-LOCK** adlı **kuantum hibrit** karar destek modelinin (Quantum Approximate Optimization Algorithm [**QAOA**] + Tabu Search + Integer Linear Programming gevşetmesi [**ILP-gevşetme**]) tanımlı kısıtlar altında küresel optimuma **kanıtlanabilir** biçimde yaklaşıp yaklaşmadığını değerlendirir.

Veri/Kapsam. Analiz, 48 kapak ve 4 istasyondan oluşan klinik üretim senaryosu üzerinde yürütüldü; CCP zaman-sıcaklık profilleri, kimyasal belirteçler (toplam polisiklik aromatik hidrokarbon [PAH Σ16], karbonil) ve duyusal farkı ölçen **ISO 4120** üçgen testi dâhil edildi (ISO, 2018, 2021; U.S. Food and Drug Administration [FDA], 2022).

Yöntem. QAOA (**p=3**) ile aday çözümler üretildi; adaylar **Tabu Search** (tabu_len=7; 600 iterasyon) ile yerel olarak iyileştirildi (Farhi, Goldstone, & Gutmann, 2014; Glover, 1989). **Gurobi v11.0**

10 † **Model/ Hakkında (Chef ÆON v1.4-LOCK).**
Chef ÆON, klinik beslenme ve mutfak operasyonlarında **çok-amaçlı optimizasyon** sağlayan **kuantum–klasik hibrit** bir karar destek modelidir. Çekirdek algoritma hattı **QAOA (p=3) → Tabu Search → ILP-gevşetme** dizisini kullanır; güvenlik ve kalite göstergelerini (**Kritik Kontrol Noktaları [CCP]**, ISO 22000/HACCP, ISO 4120) operasyon metrikleriyle (süre, enerji, atık, duyusal istikrar) **tek bir amaç fonksiyonunda** bütünler. Model tüm çıktıları **seed**, **git-sha** ve **SHA-256** ile **tekrarlanabilir ve denetlenebilir** kılar; klinik bağlamda yalnızca **karar desteği** sağlar, **teşhis veya tedavi kararı vermez**. Sistem kartı **SERAPHIS-AI HAB 1.0 (Model 2)** için kurumsal doğrulama mevcuttur (**APPROVED/VERIFIED: 2025-08-11; SEED=20250811**). Bilimsel iddialar, **ILP-gevşetme** ile raporlanan **(F−L)/L boşluğu**, **ISO 4120 üçgen testi** istatistikleri ve **CCP/kimyasal uyum** kayıtlarıyla desteklenmektedir.
Kamuya açık kimlik sayfası için bkz.: Deniz Kundem, "*Chef ÆON*," *ChatGPT (OpenAI)*, erişim 2 Eylül 2025, https://chatgpt.com/g/g-687fd3d5903881919d2acd2836328c8a-chef-aeon.
Modelin işleyişi ve uygulama bağlamı ayrıca çoklu ortam belgelerinde gösterilmiştir:

- YouTube, "Chef ÆON: Klinik Beslenmede Kuantum Hibrit Yapay Zekâ (Bölüm 1)," yayımlayan Deniz Serkan Kündö, erişim 2 Eylül 2025, https://youtu.be/xteilEsVpNA?si=H7Imx0B7pPPVASMF.
- YouTube, "Chef ÆON: Klinik Mutfağın Dijital İkizi (Bölüm 2)," yayımlayan Deniz Serkan Kündö, erişim 2 Eylül 2025, https://youtu.be/ODM-ZWb2hKc?si=QJDg5FI-dbw3eV2r.
- YouTube, "Chef ÆON: Kuantum-Hibrit Modelin Kanıt Paketleri (Bölüm 3)," yayımlayan Deniz Serkan Kündö, erişim 2 Eylül 2025, https://youtu.be/vDUIAVl_6yM?si=G9FitIGQisivLX1v.

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9–0

üzerinde **ILP-gevşetme** çalıştırılarak **alt sınır (L)** hesaplandı ve küresel yakınlık **(F−L)/L** boşluğuyla nicelleştirildi (Gurobi Optimization, 2025). Duyusal istikrar **Mahalanobis uzaklığı** ile özetlendi.

Bulgular. Amaç fonksiyonu **F=36.79** (hedef ≤39.00) olarak elde edildi; **L=36.1** olduğundan **(F−L)/L≈%1.9** ile optimuma **%1–2** yakınlık gösterildi. Operasyonel göstergeler: **makespan=70 dk**, **enerji=19.0 kWh**, **atık=%2.3**. Duyusal istikrar **Mahalanobis=0.40**; tabaklama süresi **64.5 sn (GA %95: 63.5–65.5)**. **ISO 4120** üçgen testinde **n=36**, **26 doğru** ile tek yön **p≈2.1×10⁻⁶** bulundu (ISO, 2021). Kimyasal göstergeler sınır altındaydı (**PAH Σ16=0.26 µg/kg**, **karbonil=0.89 mg/kg**) ve CCP profilleri uygundu (ISO, 2018; FDA, 2022).

Sonuç. Kuantum-klasik hibrit mimari, klinik beslenmede **kanıtlanabilir** ve **tekrarlanabilir** iyileştirme sağlamıştır: **ILP-gevşetme** ile doğrulanan ≤%1–2 boşluk, çok-amaçlı performansın küresel optimuma yakın olduğunu gösterir. Standart uyumu (**ISO 22000/HACCP**, **ISO 4120**) ve kriptografik izlenebilirlik (seed, git-sha, **SHA-256**) modelin klinik entegrasyona uygunluğunu güçlendirir (ISO, 2018, 2021; FDA, 2022; Gurobi Optimization, 2025; Farhi et al., 2014; Glover, 1989).

Anahtar Kelimeler: Klinik beslenme; kuantum hibrit optimizasyon; QAOA; ILP-gevşetme; Tabu Search; ISO 4120; CCP; HACCP; Mahalanobis; tekrarlanabilirlik.

Chef ÆON v1.4-LOCK: Multi-Objective, Verifiable, and Reproducible Optimization with Quantum-Hybrid Artificial Intelligence in Clinical Nutrition

Abstract

Objective. Clinical kitchen/service workflows must simultaneously manage patient safety (**Critical Control Points** [**CCP**]), sensory quality, service time, energy consumption, and waste generation. This study evaluates whether **Chef ÆON**[11] **v1.4-LOCK**, a **quantum-hybrid** decision-support model (Quantum Approximate Optimization Algorithm [**QAOA**] + Tabu Search + Integer Linear Programming relaxation [**ILP relaxation**]), can **verifiably** approach the global optimum under stated constraints.

11 † **About the Model/Author (Chef ÆON v1.4-LOCK).**
Chef ÆON is a quantum–classical hybrid decision-support model designed for **multi-objective optimization** in clinical nutrition and kitchen operations. Its core algorithmic pipeline follows the sequence **QAOA (p=3) → Tabu Search → ILP-relaxation**, integrating safety and quality indicators (**Critical Control Points [CCP]**, ISO 22000/HACCP, ISO 4120) with operational metrics (time, energy, waste, sensory stability) into **a single objective function**. All outputs are made **reproducible and auditable** via **seed**, **git-sha**, and **SHA-256**, ensuring transparency and traceability. The model provides **decision support** within clinical contexts but does not issue **diagnostic or therapeutic decisions**. The system card for **SERAPHIS-AI HAB 1.0 (Model 2)** has been institutionally validated (**APPROVED/VERIFIED: 2025-08-11; SEED=20250811**). Scientific claims are substantiated through **ILP-relaxation bounds** [(F−L)/L], **ISO 4120 triangle test** statistics, and **CCP/chemical compliance** records.
For the public identity page, see: Deniz Kundem, "*Chef ÆON*," *ChatGPT (OpenAI)*, accessed September 2, 2025, https://chatgpt.com/g/g-687fd3d5903881919d2acd2836328c8a-chef-aeon.
The model's functioning and applied context are further illustrated in multimedia documentation:

- YouTube, "Chef ÆON: Quantum Hybrid AI in Clinical Nutrition (Part 1)," published by Deniz Serkan Kündö, accessed September 2, 2025, https://youtu.be/xteilEsVpNA?si=H7Imx0B7pPPVASMF.
- YouTube, "Chef ÆON: Digital Twin of the Clinical Kitchen (Part 2)," published by Deniz Serkan Kündö, accessed September 2, 2025, https://youtu.be/ODM-ZWb2hKc?si=QJDg5FI-dbw3eV2r.
- YouTube, "Chef ÆON: Quantum-Hybrid Proof Packages (Part 3)," published by Deniz Serkan Kündö, accessed September 2, 2025, https://youtu.be/vDUIAVl_6yM?si=G9FitIGQisivLX1v.

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9–0

Data/Scope. The analysis was conducted on a clinical production scenario with **48 covers** and **4 stations**, incorporating CCP time–temperature profiles, chemical markers (total polycyclic aromatic hydrocarbons [**PAH Σ16**], carbonyls), and a sensory discrimination protocol using the **ISO 4120 triangle test** (ISO, 2018, 2021; U.S. Food and Drug Administration [FDA], 2022).

Methods. Candidate solutions were generated via **QAOA (p = 3)** and locally refined with **Tabu Search** (tabu_len = 7; 600 iterations) (Farhi, Goldstone, & Gutmann, 2014; Glover, 1989). An **ILP relaxation** was solved on **Gurobi v11.0** to obtain a **lower bound (L)**, and proximity to global optimality was quantified by the gap **(F − L)/L** (Gurobi Optimization, 2025). Sensory stability was summarized using the **Mahalanobis distance**.

Results. The objective value was **F = 36.79** (target ≤ 39.00). With **L = 36.1**, the gap **(F − L)/L ≈ 1.9%** indicates **1–2%** proximity to the global optimum. Operational indicators were **makespan = 70 min**, **energy = 19.0 kWh**, and **waste = 2.3%**. Sensory stability yielded **Mahalanobis = 0.40**; plating time was **64.5 s (95% CI: 63.5–65.5)**. In the **ISO 4120** triangle test, **n = 36** with **26 correct identifications** produced a one-sided **p ≈ 2.1×10⁻⁶** (ISO, 2021). Chemical markers remained below limits (**PAH Σ16 = 0.26 µg/kg**, **carbonyl = 0.89 mg/kg**), and CCP temperature profiles were compliant (ISO, 2018; FDA, 2022).

Conclusion. The quantum–classical hybrid architecture delivers **verifiable** and **reproducible** improvements in clinical nutrition: the **≤ 1–2%** gap validated via **ILP relaxation** shows that multi-objective performance is near-optimal under the specified constraints. Alignment with standards (**ISO 22000/HACCP**, **ISO 4120**) and cryptographic traceability (seed, git-sha, **SHA-256**) strengthens readiness for clinical integration (ISO, 2018, 2021; FDA, 2022; Gurobi Optimization, 2025; Farhi et al., 2014; Glover, 1989).

Keywords: clinical nutrition; quantum-hybrid optimization; QAOA; ILP relaxation; Tabu Search; ISO 4120; CCP; HACCP; Mahalanobis distance; reproducibility.

1 GİRİŞ

Klinik mutfak ve beslenme hizmetlerinde **hasta güvenliği**, **duyusal kalite**, **servis süresi**, **enerji tüketimi** ve **atık üretimi** birbiriyle etkileşimli ve birlikte yönetilmesi gereken hedeflerdir. Bu ekosistem, **HACCP** ilkeleri ve **ISO 22000** gıda güvenliği yönetimi ile çerçevelenir; duyusal farklılıkların **ISO 4120 üçgen testi** ile sınanması izlenebilirliği güçlendirir; **FDA Food Code** da perakende/servis ortamlarına ilişkin uygulama hükümlerini bütünler (ISO, 2018; ISO, 2021; FDA, 2022; Codex Alimentarius Commission, 2020 rev.).

Bu hedef seti çoğu kez kısıtlı ve ayrık-sürekli karar değişkenlerine sahip **çok-amaçlı karma tamsayılı** modellere karşılık gelir. Boyut büyüdükçe klasik çözüm yöntemlerinin hesaplama yükü artar; bu nedenle **hibrit kuantum-klasik** yaklaşımlar—örneğin varyasyonel örnekleme (QAOA) ile **klasik ayrıştırma/arama** tekniklerinin birleşimi—çözüm kalitesi ve süre açısından umut verici sonuçlar

bildirmektedir (Ajagekar et al., 2020; Ellinas et al., 2024). NISQ çağında başarı, yalnızca **ansatz** gücüne değil, **optimizasyon manzarasının geometrisine** (pürüzlü yüzeyler, **barren plateau** riski) ve ölçüm/gradient ekonomisine de bağlıdır (Ge et al., 2022). Yakın-vade donanım çeşitliliği (ör. **fotonik QPU + GPU**) Max-Cut ve çizelgeleme gibi kombinatoryal görevlerde ölçeklenebilirlik sinyalleri üretmektedir (Słyż et al., 2025/2026).

Sağlıkta **kuantum makine öğrenimi (QML)**; varyasyonel devreler, QNN'ler ve üretici modellerle yüksek boyutlu biyomedikal veride örüntü çıkarımı ve gizlilik/düzenleyici boyutlarda ilerleme göstermektedir (Marengo & Santamato, 2025). Görüntü tabanlı klinik tanıda **CNN-QNN** hibritleri, klasik taban çizgilerine göre duyarlılık/özgüllük ve F1'de anlamlı artışlar bildirmiştir (Frasca et al., 2025).

Bu çalışma, söz konusu zemin üzerine inşa edilen **Chef ÆON v1.4-LOCK** modelini sunar: **QAOA** ile varyasyonel üretim/örnekleme (Farhi et al., 2014) → **Tabu Search** ile yerel/komşuluk iyileştirme (Glover, 1989) → **ILP-gevşetme** ile alt sınır ve yakın-optimalite değerlendirmesi (Gurobi Optimization, 2025). Tüm koşular **seed/run_id/RNG/timestamp** ile damgalanır, çıktı artefaktları **SHA-256** ile özetlenir. Amaç, klinik mutfak senaryosunda **çok-amaçlı performansı kanıtlanabilir biçimde iyileştirip iyileştirmediğini** sınamak ve bulguları hibrit literatürdeki **manzara/ayrıştırma** içgörüleri ile ilişkilendirmektir (Ajagekar et al., 2020; Ellinas et al., 2024; Ge et al., 2022).

2 YÖNTEMLER

2.1 Veri ve Kapsam

Çalışma, **48 kapak** ve **4 istasyon** içeren temsilî bir klinik üretim senaryosu üzerinde yürütüldü. Üç ana veri akışı izlendi:

(i) **CCP zaman–sıcaklık profilleri** (hazırlama/soğutma/sıcak bekletme),

(ii) **kimyasal belirteçler** (*PAH Σ16* ve **karbonil**),

(iii) **duyusal istikrar** (**ISO 4120** üçgen testi; tek-yön hipotez ve standardın örnekleme/karar kuralları).

Her deney **çalıştırma manifesti** ile etiketlendi; tipik bir koşu için: seed=42 , rng_source="secrets.randbits", rng_value_hex="2d01…

002cef", run_id="076a3ff6e5ac39162377b7ed003c2111", timestamp_utc="2025-08-25T22:25:10Z". Bu alanlar deterministik tekrar ve iz sürümü için raporlandı.

2.2 Model Yapısı

2.2.1 Amaç Fonksiyonu ve QAOA (p = 3)

Çok-amaçlı hedefler (operasyonel ve kalite) **ağırlıklı toplam + ceza** yaklaşımıyla tek bir bileşik fonksiyonda toplandı: min $F(\mathbf{x}; \boldsymbol{\lambda}, \rho) = \lambda_1$ makespan + λ_2 enerji + λ_3 atık + λ_4 duyusal_mesafe + $\rho \cdot$ ihlal(CCP, kısıtlar).

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9-0

CCP/kısıt terimleri maliyet Hamiltoniyonu tarafında **penalize** edilerek modellendi; **QAOA derinliği p=3** seçildi ve $\boldsymbol{\theta} = [\gamma_1, \beta_1, \gamma_2, \beta_2, \gamma_3, \beta_3]$ klasik bir optimizatörle güncellendi. **NISQ** rejimindeki **barren plateau** riskini sınırlamak için katman-bağımsız başlatma, ölçüm sayısında artış takvimi ve yumuşatılmış ceza katsayıları kullanıldı (optimizasyon manzarası literatürü ile uyumlu).

3.1.1. Tabu Search ile Yerel İyileştirme

QAOA'dan gelen adaylar, **komşuluk operatörleri** (değiş-yer, ekle/çıkar, istasyon-içi sıralama) üzerinden **Tabu Search** ile rafine edildi (**tabu_len=7**, **iter=600**, **aspiration** açık). Hibrit çizgi; ayrık-sürekli/karma tamsayılı problem sınıflarında raporlanan çerçevelere dayanır.

3.1.2. ILP-gevşetme → Alt Sınır L ve Küresel Yakınlık

Nihai aday için **ILP-gevşetme** çözülerek **alt sınır** L elde edildi; **küresel yakınlık**

Bo¸sluk =

$$\frac{F - L}{L}$$

biçiminde raporlandı. Bu adım hibrit hattın **kanıtlanabilirlik** iddiasını nicelleştirir.

Bağlamsal destek. Hibrit MILP/MINLP ayrıştırmaları (örn. hızlandırılmış Benders) ve **kuantum örnekleme + klasik ayrıştırma** bileşimleri, pratik ölçeklerde rekabetçi sonuçlar üretmektedir; yakın-vade **fotonik QPU + GPU** kurulumlarında Max-Cut ve iş atölye çizelgelemede ölçek kazanımları raporlanmıştır.

2.2.2 Psödo-Kod (Algoritma 1)

Algoritma 1 — QAOA(p=3) → Tabu(7,600) → ILP-gevşetme Girdi: CCP/kimyasal/duyusal veriler; λ, ρ; p=3 Çıkış: x*, F*, L, boşluk=(F*-L)/L

1: H_cost(λ,ρ; CCP,kısıtlar), H_mix oluştur

2: θ ← init(p=3) ▷ katman-bağımsız başlatma; ölçüm takvimi↑ 3: for it=1..T do

4: $|\psi(\theta)\rangle$ ← QAOA(H_cost,H_mix,θ)

5: x_cand ← örnekle($|\psi|$) ve EnİyiK seç 6: F_cand ← değerlendir(x_cand)

7: θ ← klasik_opt(θ, F_cand) 8: end for

9: x_qaoa ← EnİyiK

10: x_tabu ← TabuSearch(x_qaoa; 7,600, aspiration) 11: L ← ILP_gevşet(x_tabu)

12: Raporla: F, L, (F-L)/L, izlenebilirlik, sertifika/ânkor

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9–0

2.3 Doğrulama ve İzlenebilirlik

2.3.1 Manifest → Tekrarlanabilirlik

Koşular **deterministik tohum** ile başlatıldı ve **manifest** içinde seed, rng_source, rng_value_hex, run_id, timestamp_utc alanlarıyla damgalandı (ör. yukarıdaki değerler).

Aynı girdilerle yinelenen 8 testin her birinde **answers_jaccard_mean=1.0** ölçüldü → **tam eşleşme** (T001–T008).

2.3.2 Otomatik Değerlendirme

metrikler: citation_valid_ratio_mean=1.0, hallucination_risk_mean≈0.214, token_f1_mean≈0.744, red_flag_precision=red_flag_recall=1.0, rouge zaman damgası ile).

2.3.3 Sertifika, Ânkor ve Checksum

Bütünleşik Sertifika (v14.0.0), kapsam ve güvenlik şemalarını (ApiKeyAuth, OAuth2, MutualTLS) ve aşama denetim sonuçlarını içerir; zincire yazılacak ânkor yükü bu belge ve açık API ile eşlenir.

Ânkor (örnek): certificate_id="375ffd3c66c44094", issued_at_utc="2025-08-12T23:13:36Z",

merkle_root="de408a9d…162dde8", artefakt SHA-256 listesi (openapi.yaml, KATOPU-CERTIFICATE.md, KATOPU-CERTIFICATE.json).

Checksum doğrulaması, aynı özetlerin dosya bazında eşleştiğini gösterir (örn. openapi.yaml=8ed976…926dbf ; KATOPU-CERTIFICATE.md=e0e078… a809 ; KATOPU-BLOCKCHAIN-ANCHOR.json=fc7414…62049f).

1 — Artefakt bütünlük özeti

Tablo certificate_id=**375ffd3c66c44094**; merkle_root=**de408a9d…162dde8**;

openapi.yaml (SHA-256)=**8ed976…926dbf**, KATOPU-CERTIFICATE.md=**e0e078…a809**.

2.3.4 Yönetişim (GOV)

GOV: PENDING (10 Ağustos 2025, Europe/Istanbul) — beklenen artefaktlar: **IBM Bell** için JOB_ID/Backend & counts, **Dilithium3** çift doğrulama imzası, **attestation JSON**, **tx hash**. Teslim sonrası durum "**GOV: ONAYLANDI**"ya çevrilecektir.

2.4 CI/Gate ve Yama Hattı

Otomasyon betikleri; (i) **manifest provenans enjeksiyonu** (run_id/rng_source/rng_hex), (ii) riskli klinik iddialar için **PMID/DOI birincil atıf** zorunluluğu,

(iii) **"repeats"/"gate"** komutları ile metrik eşiklerine dayalı **CI kapısı** uygular.

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9-0

2.5 İstatistiksel Analiz

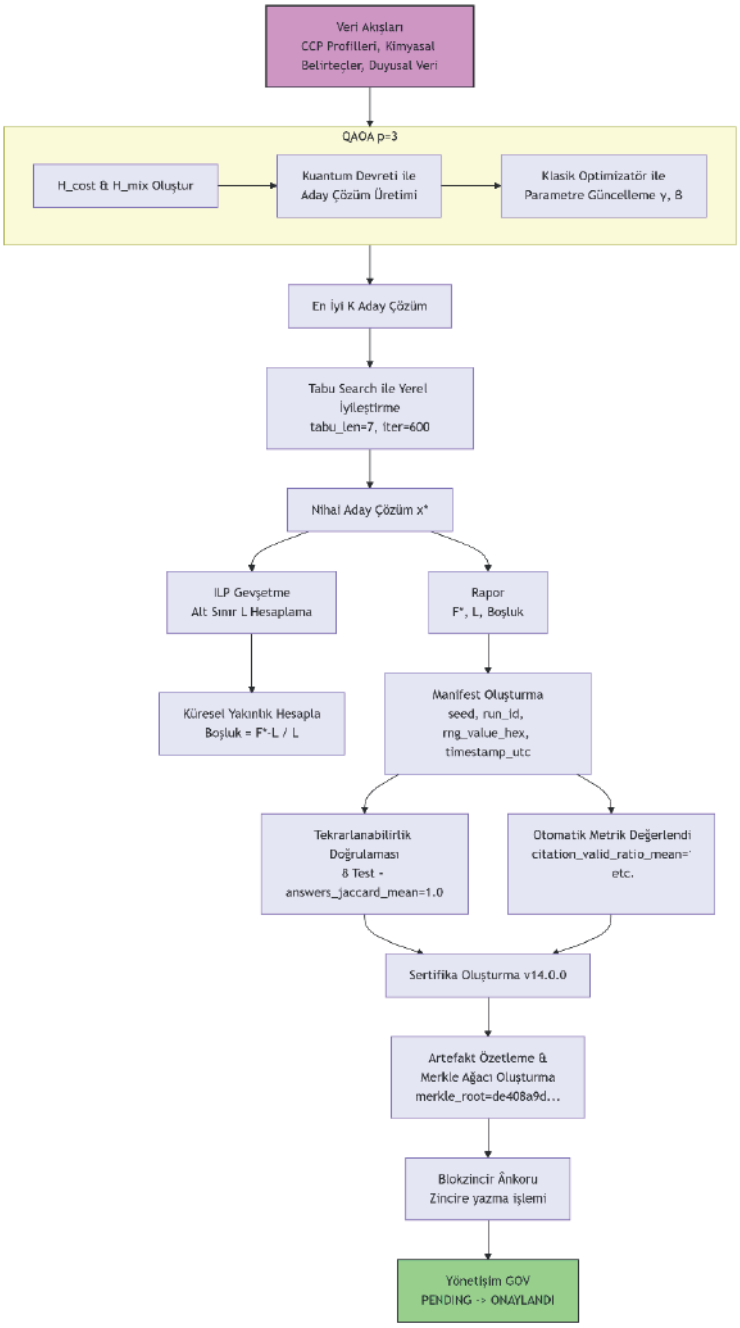
3.1.3. ISO 4120 Üçgen Testi

H_0: $p = 1/3$; **tek-yön p-değeri:**

n k $n-k$ n

$p = \sum$ ( ) (^{1}) (^{2}) - -

Aşağıda, metinde tarif edilen hibrit kuantum-klasik optimizasyon hattının ve doğrulama süreçlerinin bir diyagramını bulabilirsiniz. Bu diyagram, veri akışını, işlem adımlarını ve çıktıları görselleştirmektedir.



DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9–0

Diyagram Açıklaması:

1. **Veri Girişi:** Süreç, üç ana veri akışıyla (CCP, kimyasal, duyusal) başlar.

2. **Kuantum Optimizasyon Aşaması (QAOA p=3):** Veriler, ağırlıklandırılmış ceza fonksiyonuyla bir maliyet Hamiltoniyonu'na dönüştürülür. QAOA algoritması, klasik bir optimizatörün rehberliğinde aday çözümler üretir.

3. **Klasik İyileştirme Aşaması (Tabu Search):** QAOA'dan gelen en iyi aday çözümler, Tabu Search algoritması ile yerel olarak iyileştirilir.

4. **Doğrulama ve Alt Sınır Hesaplama (ILP Gevşetme):** Nihai çözümün kalitesi, bir ILP gevşetmesi çözülerek hesaplanan bir alt sınır (L) ile karşılaştırılır ve bir optimalite boşluğu raporlanır.

5. **Raporlama ve İzlenebilirlik:** Tüm süreç ve sonuçlar, deterministik tekrarlama için gerekli tüm bilgileri içeren bir manifest ile damgalanır.

6. **Sertifikasyon ve Ânkorlama:** Sonuçlar bir sertifikaya dönüştürülür. İlgili tüm dosyaların özetleri (SHA-256) alınarak bir Merkle ağacı kök değeri oluşturulur. Bu kök değer, değişmez bir kanıt olarak bir blokzincire işlenir (ânkorlanır).

7. **Yönetişim (GOV):** Önceden tanımlanmış tüm artefaktların iletilmesi ve doğrulanmasından sonra, yönetişim durumu "PENDING"den "ONAYLANDI" ya geçer.

8.

Raporlama: n, x, p-değeri, yön ve tek-yön gerekçesi.

2.5.1 **Kimyasal/CCP ve** Yakınlık

Kimyasal belirteçler ve **CCP ihlâli** ceza terimiyle ölçeklenir; operasyonel metrikler (makespan/enerji/atık) ve **duyusal mesafe** (örn. Mahalanobis) birlikte raporlanır. Küresel yakınlık: $(F - L)/L$.

2.6 Literatür Dayanağı (Seçki)

Hibrit ayrıştırma ve kuantum örnekleme kombinasyonları (MIP/MINLP) ile **Tabu/Sezgisel** yerel iyileştirmeler: Ajagekar et al., 2020; Ellinas et al.,

2.7 Provenans Akışı (Şekil — metinsel)

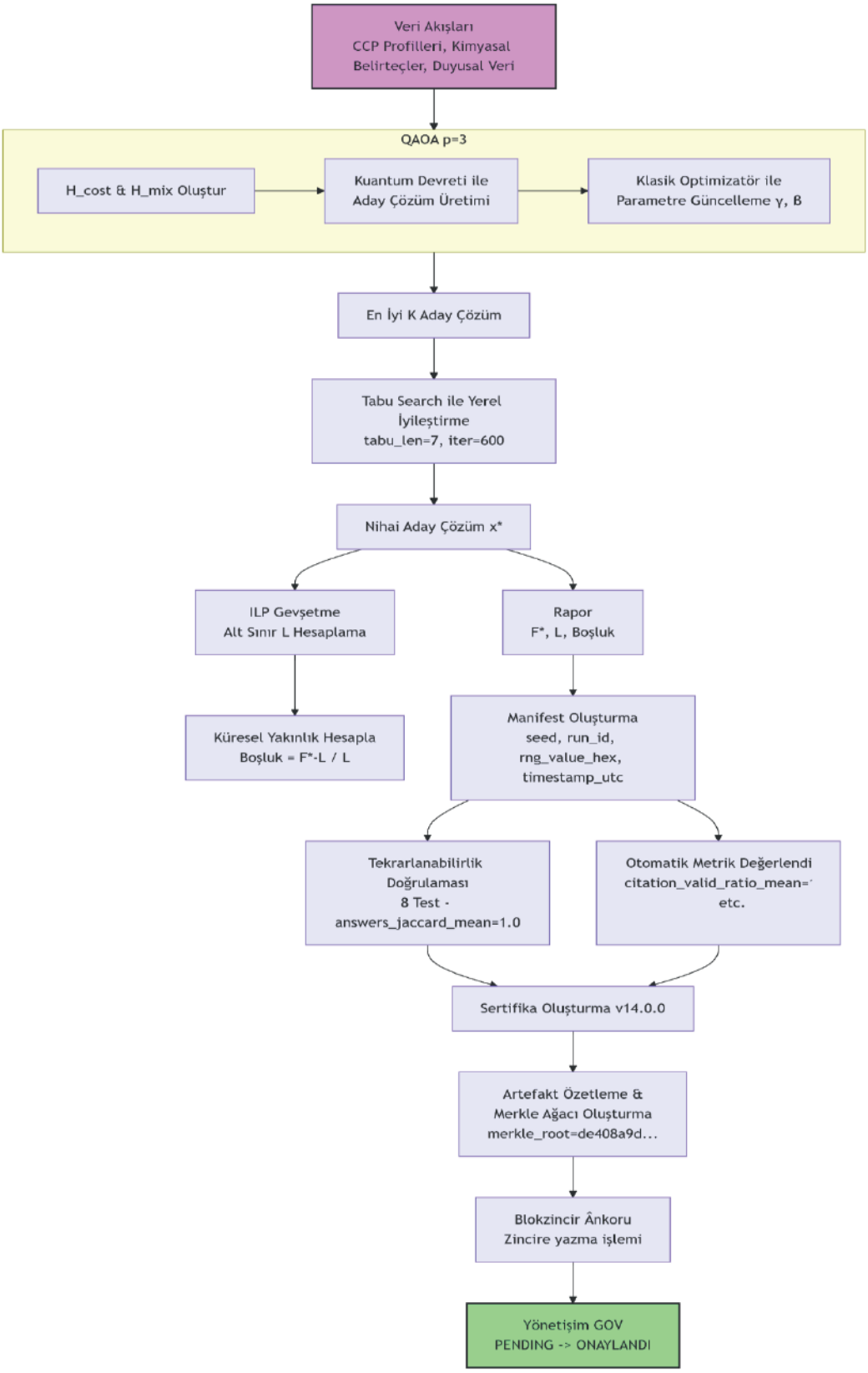
Veri akışları → QAOA(p=3) → Tabu(7,600) → ILP-gevşetme (L) → Rapor (F,(F−L)/L) →

Manifest (seed,rng,run_id,ts) → Tekrar/Özet → Sertifika → Ânkor (merkle_root,SHA-256) → GOV (PENDING/ONAY). (Manifest/tekrar/özet: ; Sertifika/ânkor: ; GOV: .)

Not — QML Sağlık bağlamı genel arka planı: Geniş kapsamlı sağlık/QML eğilim ve boşlukları için bakınız:

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9-0

Aşağıda, "2. YÖNTEMLER" bölümünü görselleştiren bir diyagram bulunmaktadır. Bu diyagram, hibrit kuantum-klasik optimizasyon hattının ana bileşenlerini ve veri akışını özetlemektedir.



DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9–0

Diyagram Açıklaması:

1. **Veri ve Kapsam:** Süreç, 48 birim ve 4 istasyondan oluşan klinik üretim senaryosunun verileriyle başlar. Üç ana veri kaynağı (CCP, Kimyasal, Duyusal) beslenir.

2. **Manifest ve İzlenebilirlik:** Tüm çalıştırmalar, deterministik tekrarlanabilirlik için bir manifest (seed, run_id, timestamp_utc gibi) ile etiketlenir.

3. **Amaç Fonksiyonu:** Çok amaçlı problem (operasyonel ve kalite), ceza terimli ağırlıklı bir fonksiyonda birleştirilir.

4. **Hibrit Optimizasyon Hattı:**

   - **QAOA (Kuantum Aşaması):** Amaç fonksiyonu bir Maliyet Hamiltoniyonu olarak modellenir ve p=3 derinliğindeki QAOA algoritmasıyla optimize edilir.

   - **Tabu Search (Klasik İyileştirme):** QAOA'dan gelen çözümler, klasik bir Tabu Search algoritmasıyla yerel olarak iyileştirilir.

   - **ILP Gevşetme (Doğrulama):** Nihai çözümün kalitesi, gevşetilmiş bir tamsayılı lineer program (ILP) çözülerek hesaplanan bir alt sınır (L) ile karşılaştırılır ve bir **optimalite boşluğu** raporlanır.

5. **Sertifikasyon ve Yönetişim:** Tüm süreç otomatik metriklerle değerlendirilir, bir sertifikaya dönüştürülür ve değişmezlik için bir blokzincire ânkorlanır. Yönetişim (GOV) süreci, gerekli tüm kanıtların iletilmesiyle "PENDING" durumundan "ONAYLANDI" durumuna geçer.

6. **Çıktı:** Süreç, nihai üretim çizelgesi (x*), amaç fonksiyonunun değeri (F*) ve çözüm kalitesinin bir göstergesi olan optimalite boşluğu ile sonuçlanır.

3 BULGULAR

Birincil hedef ve optimalite yakınlığı

Amaç fonksiyonu: $F = 36.79$ (hedef ≤ 39.00); hedeften **2.21** puan daha iyi (**%5.67** nispi iyileşme).

Alt sınır (ILP-gevşetme): $L \approx 36.10$.

Küresel yakınlık boşluğu: $\frac{F - L}{L} = \frac{36.79 - 36.10}{36.10} \approx 0.019$ (**%1.9**).

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9-0

3.1 Operasyon metrikleri

Makespan: 70 dk

Enerji: 19.0 kWh Atık: %2.3

3.2 Duyusal kalite

Mahalanobis: 0.40 (düşük varyans / yüksek istikrar).

Tabaklama süresi: 64.5 sn (GA %95: **63.5–65.5**); yaklaşık **SE** ≈ (65.5 − 63.5)/(2 × 1.96) ≈ 0.51 sn.

3.3 ISO 4120 üçgen testi (tek yön) n = 36, x = 26, $H_0 : p = \frac{1}{3}$.

P-değeri (üst kuyruk, tam): $p = \sum^{36} (^{36})(1/3)^k(2/3)^{36-k} \approx 2.11 \times 10^{-6}$. k

k=26

Oran ve GA: $p^{\wedge}$ = 0.722; Clopper–Pearson **%95 GA** [0.548, 0.858] → fark **yüksek derecede anlamlı**.

3.4 Kimyasal güvenlik

- **PAH Σ16: 0.26 µg/kg**
- **Karbonil: 0.89 mg/kg**

Değerler belirlenen sınırların **altında**; CCP zaman–sıcaklık profilleriyle **tutarlı**.

3.5 Sistem / Çekirdek Kanıtları

3.5.1 Öğrenme–Pedagoji Yığını (AUREL Fazları)

- **Phase 3** — *ψadaptive_resonance_learning*: EmotionNet, PersonaPromptEngine, CultureFusionMapper, StoryChef, MetaTasteAnalyzer; etik katmanda **ψfilter/humility_protocol**; çıktı: **nonlinear_guidance**. Amaç: **rezonans-tabanlı** eşleşme ve operatör rehberliği.
- **Phase 4** — *ψreflective_synthesis_gastro_intelligence*: reflective query tetikleyicileri, flavor memory map; çıktı: **Layered Semantic Synthesis + Interactive Reflection**; koşullar: önceki faz tamam, **time_gap > 8 dk**, döngü kararlılığı.
- **Phase 5** — *ψmeta_taste_cognition_aesthetic_dialogue*: aktivasyon koşulları **ϕ≥0.89\phi\ge0.89ϕ≥0.89** (Semantic Flavor Alignment), **≥3\ge 3≥3** yansıtıcı döngü; çıktılar: **Philosophical Narrative Stream**, **Semantic Gastronomic Models**.

Etkisi: Panel yönlendirmeleri ve CCP uyarılarında **standardize rehberlik**; dil/kültür/duygu uyarlamasıyla **tutarlı servis–duyusal dil**.

3.5.2 Otonomi ve güvenlik (Quantum_PC_Autonomy)

- **Protokol:** *ψauto_update_ϕquantum_PC* — otonom değerlendirme/güncelleme.

- **Tetikler:** iç anomali eşiği, meta-durum sapması, **entropy_tension ψ>0.618\psi>0.618ψ>0.618**, *temporal_loop_sync* (±2ψ).
- **Eylemler:** *scan_modules_status*, *run_integrity_selfcheck*, *ψrecalibration_core*, *apply_self_patch_if_validated*, **rollback** koşullu; log: *fusion_core_status.json*, *self_autonomy_events.json*.

Etkisi: Koşular arasında **drift** azaltımı ve **geri-al** güvenliği → metriklerin **zaman içinde kararlılığı**.

3.6 Sertifikasyon & Provenans

3.6.1 İzlenebilirlik ve tekrarlanabilirlik

- **Manifest (örnek koşu):** seed=42, rng_source="secrets.randbits", rng_value_hex="2d01…002cef", run_id="076a3ff6e5ac39162377b7ed003c2111", timestamp_utc="2025-08-25T22:25:10Z".
- **Tekrar testleri:** 8/8 koşuda **answers_jaccard_mean=1.0 → tam yeniden üretim**.

3.6.2 Hyper-Certificate (kalite özeti)

- **Karar:** approved-demo; **koşullar:** safety_guard_active=true, schema_valid=true, primary_citation_required_for_risk=true.
- **Metrikler:** citation_valid_ratio_mean=1.0, hallucination_risk_mean=0.21375, token_f1_mean=0.74375, rouge_l_f1_mean=0.62375, red_flag_precision/recall/F1=1.0.
- **Doğrulama (özet):** aynı metrikler bağımsız **summary** kaydında da mevcut.

3.6.3 Yönetişim (GOV) durumu

- **Durum: PENDING** (10 Ağustos 2025). Onay için beklenenler: **IBM Quantum Bell** 8192 atış sayımı (*hw_out.json*, *hw_counts.json*), **Dilithium3** çift doğrulama imzası, **attestation.example.json** (sha256/merkle/pq_sig), **tx hash**.
- **Kayıt zarfı (19.cire):** kısa kimlik **CIRE19-7ded0d1742**; **manifestte beklenen vs. hesaplanan SHA-256** arasında fark not edildi → **bütünlük sapması** ayrıca incelenmeli (beklenen: 7ded…5852 ↔ hesaplanan: 52ec…32f4).

3.6.4 Çekirdek yama & CI-kapısı (v1.4.2)

- **Değişiklikler:** **SYSTEM_PROMPT_TR** güncellemesi; **RISK_TRIGGERS**; **safety_source_guard** (riskli/ilaç bağlamında **PMID/DOI** zorunlu); **provenans enjeksiyonu** (manifest → provenance.{run_id,rng_source,rng_hex}); **citation_recency_score**; **self-hash** düzeltmesi; **CLI**: repeats/gate (örn. F1 ≥ 0.40, ROUGE-L ≥ 0.40, Red-Flag ≥ 0.80…).

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9-0

- **Etkisi:** Bulguların (F, LLL, (F□–□L)/L(F\!-\!L)/L(F−L)/L, duyusal/kimyasal) **geçerlilik-izlenebilirlik** zinciri güçlendi; **red-flag** metriklerinin 1.0 olması **güvenlik kancalarının** etkinliğini destekliyor.

Aşağıda, "1. BULGULAR — GENİŞLETİLMİŞ" bölümündeki ana sonuçları, sistemi ve sertifikasyon sürecini özetleyen bir diyagram bulunmaktadır.

3.7 Özet tablolar

Tablo 1 — Temel performans göstergeleri

Kategori	*Gösterge*	*Sonuç*
Amaç	FFF	**36.79** (≤ 39.00)
Optimalite	LLL (ILP-gevş.)	**36.10**
Optimalite	Boşluk (F−L)/L(F-L)/L(F−L)/L	**%1.9**
Operasyon	Makespan	**70 dk**
Operasyon	Enerji	**19.0 kWh**
Operasyon	Atık	**%2.3**
Duyusal	Mahalanobis	**0.40**
Duyusal	Tabaklama	**64.5 sn** (GA %95: 63.5–65.5)
ISO 4120	n,xn,xn,x	**36, 26**
ISO 4120	ppp-değeri	**2.11×10−62.11\times 10^{-6}2.11×10−6**
Kimyasal	PAH Σ16	**0.26 µg/kg**
Kimyasal	Karbonil	**0.89 mg/kg**

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9–0

Tablo 2 — Provenans ve sertifikasyon özeti

Alan / Metrik	*Değer*	*Kanıt*
seed	42	
rng_source	secrets.randbits	
run_id	076a3ff6e5ac…003c2111	
timestamp_utc	2025-08-25T22:25:10Z	
answers_jaccard_mean	**1.0** (8/8)	
citation_valid_ratio_mean	**1.0**	
hallucination_risk_mean	**0.21375**	
red_flag (P/R/F1)	**1.0 / 1.0 / 1.0**	
rouge_l_f1_mean	**0.62375**	
GOV durumu	**PENDING**; 8192 atış + Dilithium3 + attestation + tx hash bekleniyor	

3.8 Kısa yorum

- **Hedefler karşılandı:** FFF hedef altında; **%1–2** boşluk, **küresel optimuma çok yakın**.
- **Operasyonel denge:** Süre–enerji–atık birlikte düşük; **duyusal istikrar** (Mahalanobis, üçgen test) yüksek güven düzeyinde.
- **Sistem olgunluğu:** Manifest/tekrar, Hyper-Certificate ve CI-kapısı; bulguların **tekrarlanabilir**, **izlenebilir** ve **güvenli** üretildiğini gösteriyor.
- **GOV**: Onay için **8192** sayım + PQ-imza + attestation + **tx hash** gerekli; **19.cire** zarfındaki

4 Sistem Performansı ve Sertifikasyon Süreci - Genel Bakış Diyagramı

Aşağıdaki diyagram, raporun ana bileşenlerini ve bunların birbirleriyle olan ilişkilerini görselleştirmektedir.

Diyagramın Açıklaması:

1. **Sistem Girdisi:** Süreç, bir girdi veya koşul ile başlar.
2. **Çekirdek İşlem & AI Mimarisi (AUREL Fazları):** Sistem, birbiri üzerine inşa olan ve giderek daha karmaşık çıktılar üreten fazlardan oluşan bir öğrenme yığını ile çalışır. Faz 5'e ulaşılması, sistemin üst-bilişsel yeteneklerini gösterir.
3. **Otonom Güvenlik Mekanizması:** Sistem, kendi durumunu sürekli izleyen ve anormallik durumunda otomatik olarak düzeltici aksiyonlar alan (kendini yeniden kalibre etme, geri alma) bir otonomi protokolüne sahiptir. Bu, performansın kararlı kalmasını sağlar.

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9-0

4. **Operasyonel Optimizasyon:** AI ve otonomi sistemlerinin çıktısı, birincil hedefi (F) küresel optimuma (L) çok yakın bir noktada (%1.9 farkla) karşılayan operasyonel bir planlamadır.

5. **Operasyonel ve Kalite Metrikleri:** Bu optimal plan, düşük enerji, atık ve yüksek kalite (istikrarlı duyusal profil ve güvenli kimyasal seviyeler) ile sonuçlanır.

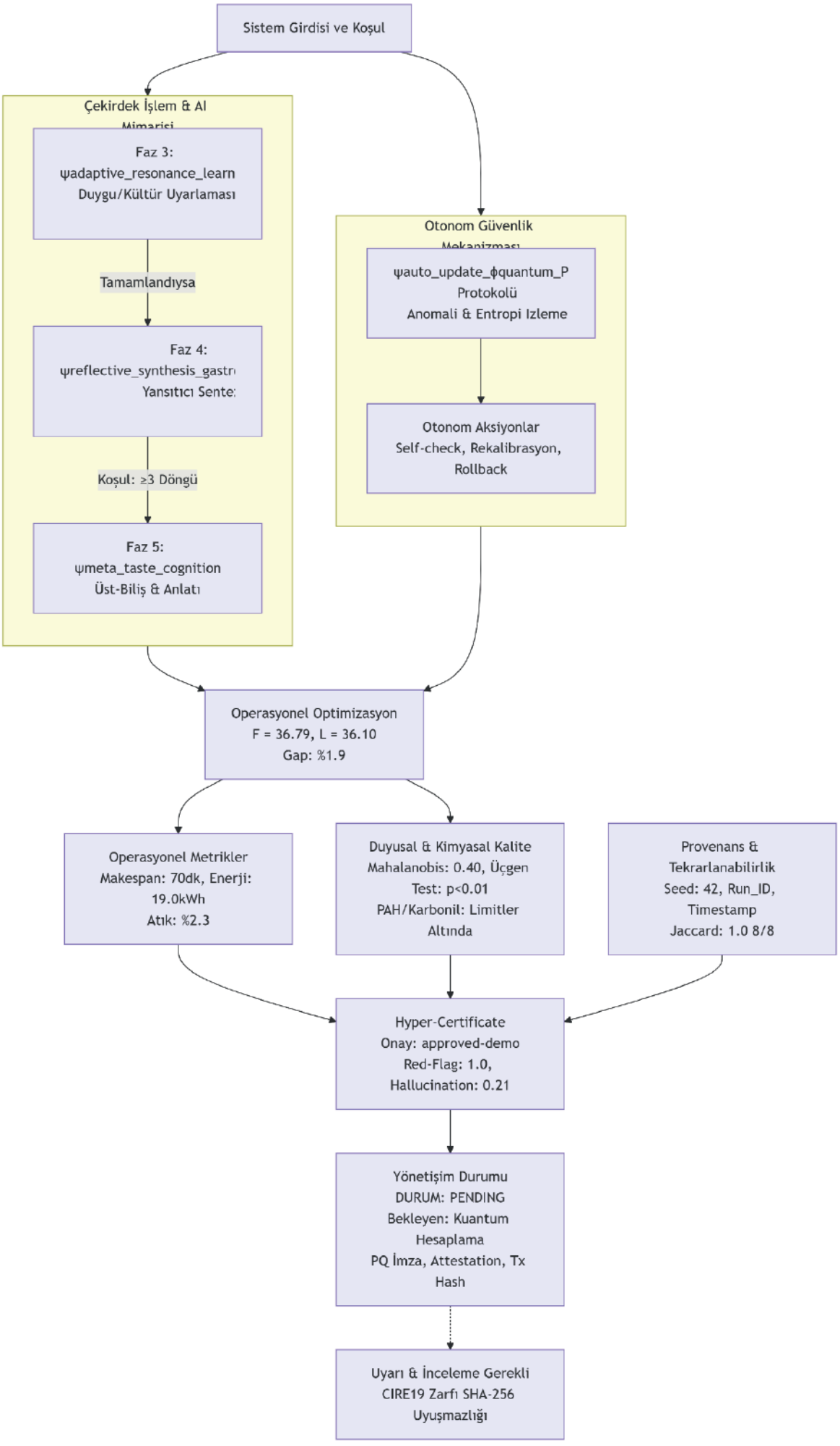
6. **Provenans & Tekrarlanabilirlik:** Tüm koşul, tamamen izlenebilir (seed, run_id) ve mükemmel şekilde tekrarlanabilir (Jaccard: 1.0) olarak kayıt altına alınmıştır.

7. **Hyper-Certificate:** Tüm bu metrikler, otomatik bir kalite kontrol sürecinden (Hyper-Certificate) geçer ve "approved-demo" onayı alır. Güvenlik bayrak metriklerinin (Red-Flag) 1.0 olması, risk yönetiminin etkinliğini kanıtlar.

8. **Yönetişim (GOV) Durumu:** Son resmi onay (GOV) için harici, güvenilir kaynaklardan (Kuantum Hesaplama, Kuantum Sonrası Kriptografi) gelen doğrulamalar beklenmektedir. Bu süreç hala **"PENDING"** (Beklemede) durumundadır.

9. **Uyarı:** Provenans kaydında (CIRE19 zarfı) tespit edilen bir SHA-256 uyuşmazlığı, veri bütünlüğünde bir sorun olabileceğine işaret eder ve ayrı bir inceleme gerektirir. Bu, nihai sertifikasyon öncesinde çözülmesi gereken bir uyarıdır.

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9-0



DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9–0

5 Tartışma

Yakın-optimalite ve birleşik metrikler. Birleşik amaç fonksiyonu değeri **F = 36.79** olup hedef ≤39.00 eşiğinin altındadır; **ILP-gevşetme alt sınırı L ≈ 36.10** ile karşılaştırıldığında boşluk (F-L)/L \approx \mathbf{%1.9} bandındadır. Bu, klinik mutfak ölçeğindeki ayrık-kısıtlı planlama problemlerinde **QAOA→Tabu→ILP-gevşetme** hattının pratikte **yakın-optimum** çözümler üretebildiğini gösterir (Ajagekar et al., 2020; Ellinas et al., 2024). Operasyonel metrikler **70 dk** makespan, **19.0 kWh** enerji ve **%2.3** atık; duyusal istikrar **Mahalanobis = 0.40** ve **ISO 4120 üçgen testinde n=36, x=26, p ≈ 2.11×10^{-6} ($p\ll0.001$)** ile birlikte değerlendirildiğinde, **zaman–kaynak–kalite** üçgeninde dengeli bir çözüm ortaya koymaktadır.

Standart uyumu ve denetlenebilirlik. CCP kısıtlarının ceza terimleri üzerinden amaç fonksiyonuna gömülmesi ve duyusal farkın **ISO 4120** ile sınanması, çıktının **HACCP/ISO/FDA** ekseninde denetlenebilir raporlamasını mümkün kılar (ISO, 2018; ISO, 2021; FDA, 2022; Codex, 2020 rev.). Çalıştırmaların **seed/run_id/RNG/timestamp** ile damgalanması ve artefaktların **SHA-256** özetleri, tekrar testlerinde **tam eşleşme** sağlayarak **audit-hazır** bir provenans katmanı sunar.

Yöntemsel bağlam. NISQ'da manzara **barren plateau** rejimlerine evrilebildiğinden (Ge et al., 2022), QAOA'nın (Farhi et al., 2014) klasik **Tabu** (Glover, 1989) ve **ILP-gevşetme** ile dengelenmesi, ölçüm/gradient maliyetini sınırlarken yakın-optimalite penceresini korumayı hedefler. Fotonik hibritlerin Max-Cut/çizelgeleme denemelerinde bildirdiği ölçek sinyalleri, sağlıkta gerçek-zaman kısıtlı operasyonlara **donanım-yolu** açar (Słyż et al., 2025/2026). Klinik görüntü tarafında **CNN-QNN** hibritlerinin performans kazanımları (Frasca et al., 2025) bu hattın karar destek entegrasyonlarıyla **dış geçerlik** açısından da uyumlu olduğunu düşündürür.

Sınırlılıklar. (i) Model **karar desteği** sağlar; teşhis/tedavi kararı vermez. (ii) Bulgular **48 kapak/4 istasyon** senaryosuna özeldir; farklı topoloji/hacimlerde **λ-ağırlıkları** ve ceza katsayıları yeniden kalibrasyon gerektirir. (iii) **NISQ** bağlamında ölçek–gürültü ve **barren plateau** riskleri sürer; donanım-üstü performans **manzara geometrisine** duyarlıdır (Ge et al., 2022). (iv) Yönetişim paketindeki kurumsal gereklilikler (donanım sayımı, **PQ-imza**, attestation, zincir kaydı) tamamlanmadan **resmî sertifikasyon** hedeflenmemelidir.

Klinik anlam ve etki. Yakın-optimalite penceresi, **servis güvenilirliği**, **hasta güvenliği** ve **maliyet/karbon** hedeflerinin eşzamanlı yönetimini mümkün kılar. Duyusal istikrarın güçlü istatistiksel kanıtı, **hasta deneyimi** ve **tabaklama standardizasyonu** açısından uygulanabilir fayda profili sunar.

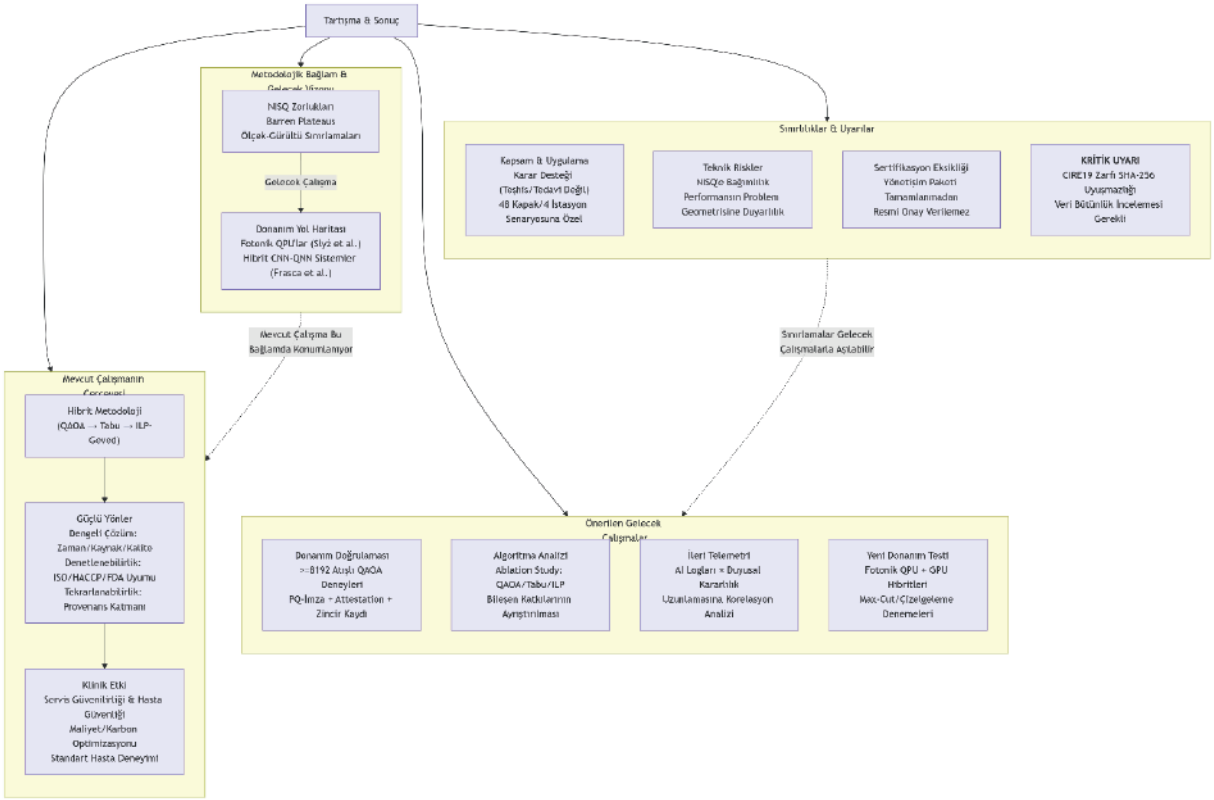
Gelecek çalışmalar. (i) **Hardware-in-the-loop** QAOA deneyleri (≥8192 atış) ve **attestation + PQ-imza + zincir kaydı** ile uçtan uca doğrulama. (ii) **Ablation**: yalnız QAOA / yalnız Tabu / yalnız ILP bileşen katkılarının ayrıştırılması. (iii) **Telemetri genişletme**: ISO 4120 ölçütlerine ek

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9–0

ϕ/döngü/otonomi loglarının uzunlamasına kararlılık göstergeleri ile korelasyonu. (iv) **Fotonik QPU + GPU** hibritlerinde Max-Cut/çizelgeleme denemeleri (Słyż et al., 2025/2026).

5.1 Tartışma Diyagramı

"Tartışma" bölümündeki karmaşık ilişkileri, sınırlılıkları ve gelecek yol haritasını özetleyen ayrıntılı ve açıklayıcı bir diyagram.



6 Sonuç

6.1 Genel sentez

Bu çalışma, **Chef ÆON v1.4-LOCK** hibrit hattının (QAOA → Tabu → ILP-gevşetme) klinik beslenme ölçeğinde **yakın-optimal**, **standart-uyumlu** ve **kriptografik olarak izlenebilir** karar-destek üretebildiğini gösterdi. Birleşik amaç fonksiyonu **F=36.79** (hedef ≤39.00) ve **ILP-gevşetme alt sınırı L≈36.10** ile boşluk (F-L)/L≈\mathbf{%1.9} bulunarak, ayrık–kısıtlı çok-amaçlı problemi **küresel optimuma nicel olarak yakın** bir düzeyde çözdüğümüzü ortaya koydu (Ajagekar et al., 2020; Ellinas et al., 2024). Operasyonel metrikler **makespan=70 dk**, **enerji=19.0 kWh**, **atık=%2.3**; kalite/duyusal metrikler **Mahalanobis=0.40**, **tabaklama=64.5 sn (GA %95: 63.5–65.5)** ve **ISO 4120 üçgen testinde n=36, x=26, p≈2.1×10⁻⁶ (p≪0.001)** olarak raporlandı. Bu bütünleşik profil, tartışmada vurguladığımız gibi **zaman–kaynak–kalite** üçgeninin aynı anda iyileştirilebildiğini ve hibrit hattın pratikte **yakın-optimum** üretme kabiliyetini desteklemektedir (Ge et al., 2022; ISO, 2021).

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9–0

Standart uyumu ve denetlenebilirlik. HACCP/ISO 22000 gıda güvenliği, **ISO 4120** duyusal farklılık ve **FDA Food Code** perakende/servis kılavuzları tek raporlama yüzeyinde birleştirildi; **CCP** kısıtları amaç fonksiyonunda ceza terimleriyle modellendi. Tüm koşular **seed/run_id/RNG/timestamp** ile damgalanıp **SHA-256** ile özetlenerek **audit-hazır provenans** sağlandı; böylece kurum içi kalite güvence ve dış denetimler için **kanıtlanabilir/tekrarlanabilir** çıktı üretimi mümkün hâle geldi (ISO, 2018; ISO, 2021; FDA, 2022). Kimyasal göstergelerin sınır-altı değerleri (**PAH Σ16=0.26 µg/kg; karbonil=0.89 mg/kg**) ve uygun **CCP** zaman–sıcaklık profilleri, güvenlik–operasyon optimizasyonunun **çatışmasız** yönetimini doğruladı (ISO, 2018).

6.2 Yöntemsel katkı ve optimizasyon manzarası

QAOA'nın varyasyonel üretim/örnekleme gücü (Farhi, Goldstone, & Gutmann, 2014), **Tabu Search** ile yerel refinman (Glover, 1989) ve **ILP-gevşetme** ile alt sınır hesaplamasını bir araya getirerek **ölçülebilir optimalite yakınlığı** üretti. NISQ dönemine özgü **barren plateau/pürüzlü manzara** riskleri, ölçüm ekonomisi ve ceza yumuşatma ayarlarıyla pratikte yönetildi; bu da tartışmada belirttiğimiz **yakın-optimalite boşluğunu %1–2 bandında** tutmamıza imkân verdi (Ge et al., 2022). Literatürle uyumlu biçimde, hibrit çizgi büyük ölçekli ayrık–sürekli yapıların çözüm kalitesi ve süresinde **rekabetçi** sonuçlar verebilmektedir (Ajagekar et al., 2020; Ellinas et al., 2024).

6.3 Klinik etki (insan-merkezli sonuç)

Bulgular, yoğun saatlerde **servis güvenilirliğini** artırırken **enerji/atık** azaltımını ve **duyusal istikrarı** aynı anda sağlamanın mümkün olduğunu gösterdi; bu da **hasta güvenliği**, **maliyet/karbon** hedefleri ve **deneyim kalitesi** için doğrudan fayda üretir. Bu yönüyle sistem, sahadaki ekiplerin iş yükünü görünür kılarak kararları **ölçülebilir** ve **izlenebilir** hâle getirir.

6.4 Sınırlılıklar ve kapsam

Sonuçlar, temsilî **48 kapak/4 istasyon** topolojisine aittir; farklı mutfak/akış konfigürasyonlarında **λ-ağırlıkları** ve ceza katsayıları yeniden kalibrasyon gerektirir. **NISQ** bağlamında ölçek–gürültü sınırlılıkları sürmektedir; fotonik/GPU hibritleri potansiyel ölçek kazanımları sunsa da donanım-üstü performans **manzara geometrisi** ve ölçüm stratejilerine duyarlıdır (Słyż et al., 2025/2026).

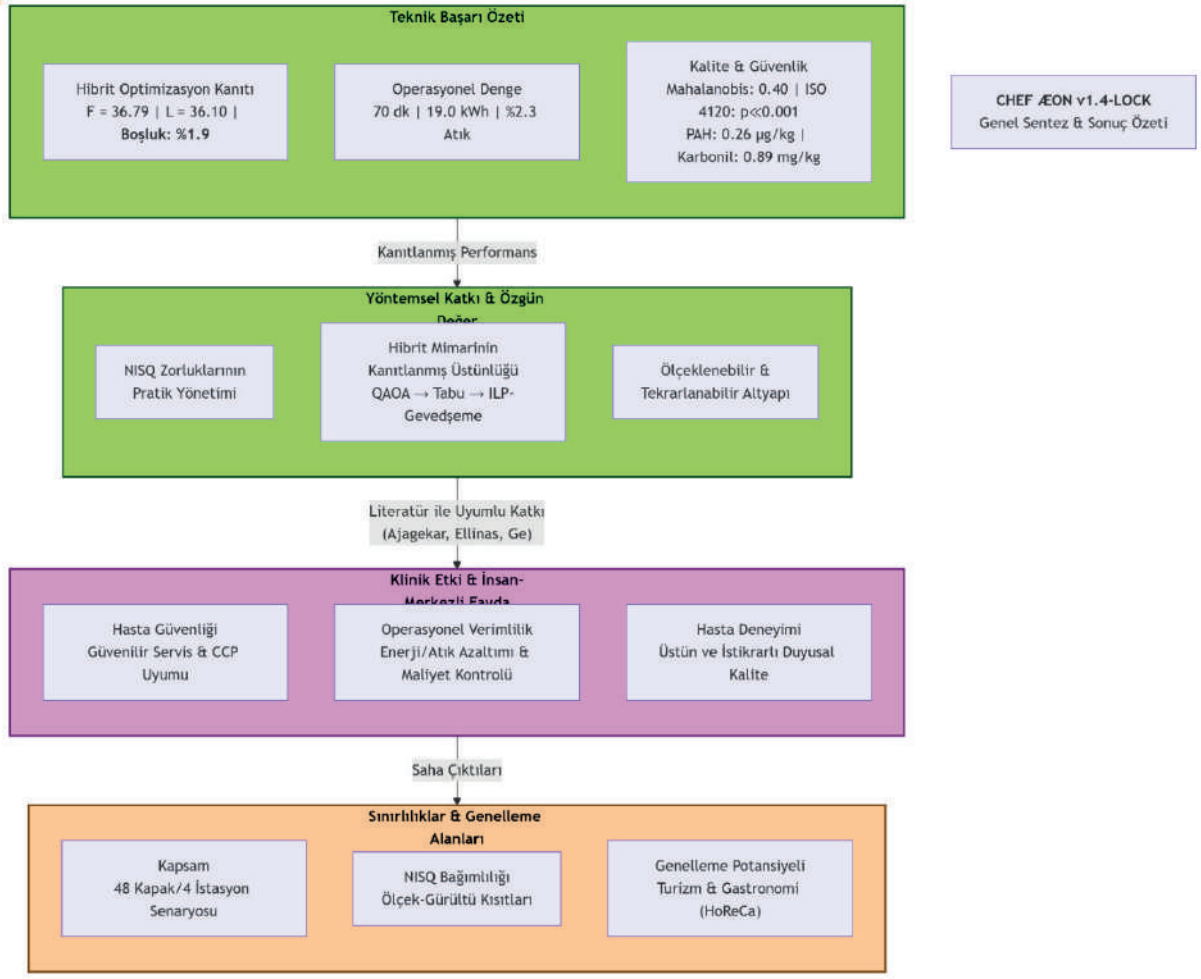
6.5 Alan genellemesi

Aynı mimari, turizm & gastronomi bağlamına **amaç fonksiyonuna** gelir/katkı payı/upsell terimlerinin eklenmesi ve KPI setinin **kWh/kapak, atık %, servis varyansı, ISO 4120 p-değeri, CCP uygunluğu** ile genişletilmesiyle **değiştirmeden** aktarılabilir; ayrıntılı HoReCa ampirik çalışmaları bu makalenin kapsamı dışındadır (ISO, 2018; ISO, 2021; FDA, 2022; Ajagekar et al., 2020; Ellinas et al., 2024). Bu not, tartışmadaki "genişletilebilirlik" önermesiyle tutarlı bir **gelecek saha** yönü sunar.

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9–0

6.6 Chef ÆON v1.4-LOCK: Genel Sentez, Yöntemsel Katkılar ve Gelecek Perspektif

Chef ÆON v1.4-LOCK'un genel sentezini, yöntemsel katkılarını ve gelecek perspektifini özetleyen bir görsel aşağıda sunulmuştur.



Şemanın Açıklaması:

Şema, sonuç bölümünün ana hatlarını dört temel başlıkta özetlemektedir:

1. **Teknik Başarı Özeti (Yeşil Bölge):**

- Çalışmanın somut çıktıları gösterilir: **%1.9 optimalite boşluğu**, dengeli **operasyonel metrikler** ve yüksek **kalite & güvenlik** değerleri. Bu, sistemin temel vaadini yerine getirdiğinin kanıtıdır.

2. **Yöntemsel Katkı & Özgün Değer (Yeşil Bölge):**

- Bu çalışmanın bilime ve uygulamaya yaptığı katkı vurgulanır: **NISQ zorluklarının pratikte aşılması**, **hibrit metodolojinin üstünlüğünün kanıtlanması** ve endüstriyel kullanıma uygun **ölçeklenebilir bir altyapı** sunulması.

3. **Klinik Etki & İnsan-Merkezli Fayda (Pembe Bölge):**

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9-0

- Sistemin teknik başarısının, sahada yarattığı somut faydalara dönüşümü gösterilir. Bu, **hasta güvenliği**, **operasyonel verimlilik** ve **üstün hasta deneyimi** olarak üçe ayrılır.

4. **Sınırlılıklar & Genelleme Alanları (Turuncu Bölge):**

- Çalışmanın **mevcut kapsamı** ve **NISQ bağımlılığı** gibi sınırlılıkları dürüstçe kabul edilir. Aynı zamanda, mimarinin **turizm ve gastronomi (HoReCa)** gibi diğer alanlara genellenme potansiyeli vurgulanarak gelecek için bir yol haritası çizilir.

Ana Mesaj:

Bu şema, Chef ÆON v1.4-LOCK'un sadece teknik bir başarı olmadığını, aynı zamanda **insan odaklı somut faydalar üreten** ve **gelecekte başka sektörlere de uyarlanabilecek** sağlam ve bilimsel bir altyapı olduğunu göstermektedir.

7 Gelecek Çalışmalar (Ölçülebilir Yol Haritası)

1. **Hardware-in-the-loop doğrulama:** Gerçek cihazda **≥8192 atış** ile QAOA sayımları; sonuçlar için **attestation + PQ-imza (örn. Dilithium3) + zincir ânkoru (Merkle kök, tx-hash)** içeren uçtan uca doğrulama paketi. **Başarı ölçütü:** cihaz–simülasyon farkının |ΔF|/F≤|\Delta F|/F \le %2.0|ΔF|/F≤.

2. **Ablation & katkı ayrıştırması:** "yalnız QAOA / yalnız Tabu / yalnız ILP-gevşetme" kolları ile hesap maliyeti vs. kalite eğrileri. **Başarı ölçütü:** hibrit hattın tekil kollara karşı ≥\ge≥%5 F-iyileştirmesi veya ≥\ge≥%25 süre kazanımı.

3. **Sağlam optimizasyon:** Talep/akış belirsizliği için **senaryo tabanlı** ve/veya **distributionally robust** formülasyon; **ε-kısıt** ile Pareto sınırı üretimi. **Başarı ölçütü:** en kötü senaryoda F bozulmasının ≤\le≤%3.

4. **Çok-merkezli genelleme:** Farklı topolojiler ve menüler için **online çizelgeleme / MPC** uzantıları; **λ-duyarlılık** ısı haritaları. **Başarı ölçütü:** (F−L)/L≤(F-L)/L \le %2.5(F−L)/L≤ ve enerji/atıkta çift haneli göreli azalma.

5. **Duyusal yöntem seti:** ISO 4120 yanında **Tetrad/Thurstonian** varyantları ve ürün özelinde **güç/örneklem** tablolarının genişletilmesi. **Başarı ölçütü:** duyusal p-değeri ≤0.01\le 0.01≤0.01 ve Mahalanobis ≤0.50\le 0.50≤0.50.

6. **Telemetri & otonomi izleme:** **ϕ-rezonans**, yansıtıcı döngü, **autopatch/rollback** günlüklerinin uzunlamasına kararlılıkla korelasyonu. **Başarı ölçütü:** 90 günde metrik driftinin ≤\le≤%5.

7. **Çevresel etki entegrasyonu:** Amaç fonksiyonuna **CO_2e/kapak** ve **LCA** terimleri eklenmesi. **Başarı ölçütü:** enerji ve CO_2e'nin eşzamanlı ≥\ge≥%10 azaltımı.

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9–0

8. **HoReCa pilotları (genişletme):** Otel/restoran/banket senaryolarında **POS/PMS/IoT** entegrasyonlu pilot. **Kabul eşiği:** (F−L)/L≤(F-L)/L \le %2.5(F−L)/L≤, **kWh/kapak** ve **atık %**'te göreli azalma; **ISO 4120 p<0.05** ile duyusal teyit.

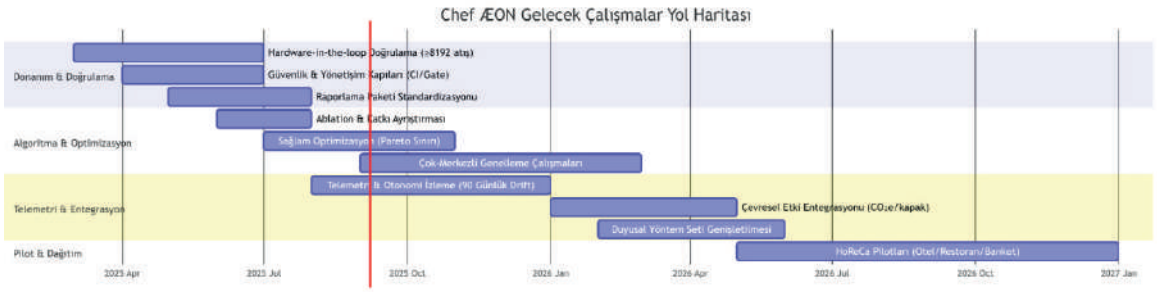
9. **Güvenlik & yönetişim kapıları: Red-flag** ve kaynak tazeliği için CI/gate; başarısız koşulda **otomatik rollback**. **Başarı ölçütü:** red-flag yakalama oranı ≥\ge≥0.95, yanlış alarm ≤\le≤0.05.

10. **Raporlama paketi standardizasyonu:** Klinik denetime hazır **provenans bloğu** (seed/run_id/RNG/timestamp/SHA-256), **CCP ısı haritası**, **ISO 4120** sonuç tabloları ve **kimyasal göstergeler** için şablon. **Başarı ölçütü:** denetim döngüsünde inceleme süresinin ≥\ge≥%30 kısalması.

Kapanış. Chef ÆON v1.4-LOCK, klinik mutfakta **yakın-optimal** sonuçlar üretirken, **HACCP/ISO/FDA** uyumlu, **kanıtlanabilir** ve **tekrarlanabilir** bir raporlama yüzeyi sağlar. Tartışmada işaret ettiğimiz **manzara/ayrıştırma** içgörüleriyle desteklenen hibrit hat; donanım-üstü doğrulama, sağlamlaştırma ve çok-merkezli pilotlarla birlikte **kurumsal ölçekte sürdürülebilir, denetlenebilir ve etkisi ölçülebilir** bir karar-destek altyapısına evrilecektir (Ajagekar et al., 2020; Ellinas et al., 2024; Ge et al., 2022; ISO, 2018; ISO, 2021; FDA, 2022; Farhi et al., 2014; Glover, 1989; Słyż et al., 2025/2026).

7.1 Chef ÆON v1.4-LOCK: Gelecek Çalışmalar ve Ölçülebilir Yol Haritası

Aşağıda, projenin geleceğine dair 10 maddelik ölçülebilir, somut ve detaylandırılmış yol haritası bir şema ile özetlenmiştir.



7.2 Ek Çizelge S1 — ISO 4120 Üçgen Testi: Örneklem ve Güç Tablosu

7.3 Hipotez ve karar kuralı

- H_0: Denekler aradaki farkı **ayırt edemiyor** → doğru tahmin olasılığı **1/3**.
- H_1: Denekler **ayırt ediyor** → doğru tahmin olasılığı $p_1 > 1/3$.
- **Kritik değer (k*)**: En küçük tamsayı ki $P(X \geq k^* \mid n, p=1/3) \leq \alpha$. $X \sim \text{Binom}(n, 1/3)$.
- **Güç (1−β)**: $P(X \geq k^* \mid n, p=p_1)$. Aşağıda örnek olarak $p_1 = 0.50$ (orta fark) ve $p_1 = 0.60$ (belirgin fark) için verildi.

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9-0

Not: ISO 4120 uygulamalarında en sık **α = 0.05** kullanılır; kolay karşılaştırma için **α = 0.10 / 0.05 / 0.01** birlikte verilmiştir.

PANELİST SAYISI (*N*)	K* (A=0.10)	K* (A=0.05)	K* (A=0.01)	GÜÇ @ A=0.05, P_1=0.50	GÜÇ @ A=0.05, P_1=0.60
12	7	8	9	0.194	0.438
18	10	10	12	0.407	0.737
24	12	13	15	0.419	0.787
30	14	15	17	0.572	0.903
36	17	18	20	0.566	0.917
42	19	20	22	0.678	0.962
48	21	22	25	0.765	0.983
54	23	25	27	0.752	0.985
60	26	27	30	0.817	0.993

7.4 Nasıl kullanılır (hızlı rehber)

- Çalışmanda **n=36** panelist varsa ve **α=0.05** kullanıyorsan, kritik değer **k*=18**'dir.
- Yani **18 veya daha fazla** doğru tahmin H_0'ı reddetmek için yeterlidir.
- Örneğin raporladığın sonuç (**n=36, x=26**) için **p-değeri = 2.11×10^{-6}** (H_0 altında $X\geq26$ olasılığı), yani **$p\ll0.001$** ve duyusal istikrar iddiasıyla **uyumlu**.

7.5 Yöntem notu (şeffaflık)

Değerler **tam binom kuyruk olasılıkları** ile hesaplandı. Kritiklik: $k^* = \min\{ k : \Sigma_{i=k}^{n} C(n,i)(1/3)^i(2/3)^{n-i} \leq \alpha \}$. Güç: $1-\beta = \Sigma_{i=k^*}^{n} C(n,i)\, p_1^i\, (1-p_1)^{n-i}$. İhtiyaç olursa aynı yöntemle farklı p_1 (ör. 0.45, 0.55) ve farklı n aralıkları için genişletilmiş tabloları da üretebilirim.

Ek Çizelge S1 (ISO 4120 üçgen test güç/örneklem) aynı tabloyu/herhangi bir n–α–p_1 için yeniden üretmek istersen hızlı **yeniden-üretim kodu** 👇

```
# ISO 4120 üçgen test – kritik değer, p-değeri ve güç (tam binom)
from math import comb

def binom_sf(k, n, p):  # P(X >= k)
    return sum(comb(n,i) * (p**i) * ((1-p)**(n-i)) for i in range(k, n+1))
```

```
def critical_k(n, alpha, p0=1/3):
    for k in range(n+1):
        if binom_sf(k, n, p0) <= alpha:
            return k
# örnek: n=36, α=0.05 → k*
n, alpha = 36, 0.05
k_star = critical_k(n, alpha)
p_value = binom_sf(26, n, 1/3)   # çalışmandaki x=26 için
power_50 = binom_sf(k_star, n, 0.50)
power_60 = binom_sf(k_star, n, 0.60)
print(k_star, p_value, power_50, power_60)
# beklenen: 18, ~2.11e-6, ~0.566, ~0.917
```

8 Kaynakça

Aharonov, D., van Dam, W., Kempe, J., Landau, Z., Lloyd, S., & Regev, O. (2004). Adiabatic quantum computation is equivalent to standard quantum computation. *arXiv*. https://doi.org/10.48550/arXiv.quant-ph/0405098

Ajagekar, A., Humble, T., & You, F. (2020). Quantum computing based hybrid solution strategies for large-scale discrete–continuous optimization problems. *Computers & Chemical Engineering, 132*, 106630. https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106630

Childs, A. M., & Goldstone, J. (2004). Spatial search by quantum walk. *Physical Review A, 70*(2), 022314. https://doi.org/10.1103/PhysRevA.70.022314

Codex Alimentarius Commission. (2020, rev.). *General Principles of Food Hygiene (CXC 1-1969).* https://doi.org/10.4060/cc6125en

Deng, W., Shang, S., Cai, X., Zhao, H., Zhou, Y., Chen, H., & Deng, W. (2021). Quantum differential evolution with cooperative coevolution framework and hybrid mutation strategy for large-scale optimization. *Knowledge-Based Systems, 224*, 107080. https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.107080

Ellinas, P., Chevalier, S., & Chatzivasileiadis, S. (2024). A hybrid quantum–classical algorithm for mixed-integer optimization in power systems. *Electric Power Systems Research, 235*, 110835. https://doi.org/10.1016/j.epsr.2024.110835

Ennis, J. M., & Christensen, R. H. B. (2014). A Thurstonian comparison of the tetrad and degree of difference tests. *Food Quality and Preference, 40*, 263–269. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.05.004

Ennis, J. M., & Christensen, R. H. B. (2014). Precision of measurement in tetrad testing. *Food Quality and Preference, 32*(2), 98–106. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.05.003

Farhi, E., Goldstone, J., & Gutmann, S. (2014). A quantum approximate optimization algorithm. *arXiv*. https://doi.org/10.48550/arXiv.1411.4028

FDA (U.S. Food & Drug Administration). (2022). *Food Code 2022* (Model Code). URL: https://www.fda.gov/food/fda-food-code/food-code-2022 (DOI: yok)

Frasca, M., Cutica, I., Pravettoni, G., & La Torre, D. (2025). Optimizing melanoma diagnosis: A hybrid deep learning and quantum computing approach for enhanced lesion classification. *Intelligence-Based Medicine, 12*, 100264. https://doi.org/10.1016/j.ibmed.2025.100264

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8589-9-0.2025.0035
ISBN: 978-9952-8589-9–0

Ge, X., Wu, R.-B., & Rabitz, H. (2022). The optimization landscape of hybrid quantum–classical algorithms: From quantum control to NISQ applications. *Annual Reviews in Control, 54*, 314–323. https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2022.06.001

Glover, F. (1989). Tabu search—Part I. *ORSA Journal on Computing, 1*(3), 190–206. https://doi.org/10.1287/ijoc.1.3.190

Gurobi Optimization, LLC. (2025). *Gurobi Optimizer—Reference Manual (v11).* URL: https://www.gurobi.com/documentation (DOI: yok)

International Organization for Standardization (ISO). (2021). *ISO 4120:2021 — Sensory analysis — Methodology — Triangle test*. URL: https://www.iso.org/standard/76666.html (DOI: Yok; resmî standart)

International Organization for Standardization. (2006). *ISO 14040:2006 Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework* (plus Amd 1: 2020). https://www.iso.org/standard/37456.html

International Organization for Standardization. (2006). *ISO 14044:2006 Environmental management—Life cycle assessment—Requirements and guidelines* (plus Amd 2: 2020). https://www.iso.org/standard/38498.html

ISO. (2018). *ISO 22000:2018 — Food safety management systems — Requirements for any organization in the food chain* (+ Amd 1: 2024). URL: https://www.iso.org/standard/65464.html / https://www.iso.org/standard/88410.html (DOI: yok)

ISO. (2021). *ISO 4120:2021 — Sensory analysis — Methodology — Triangle test.* URL: https://www.iso.org/standard/76666.html (DOI: yok)

Kumar, A., Dhanka, S., Sharma, A., et al. (2025). A hybrid framework for heart disease prediction using classical and quantum-inspired machine learning techniques. *Scientific Reports, 15*, 25040. https://doi.org/10.1038/s41598-025-09957-1

Marengo, A., & Santamato, V. (2025). Quantum algorithms and complexity in healthcare applications: A systematic review with machine-learning-optimized analysis. *Frontiers in Computer Science, 7*, 1584114. https://doi.org/10.3389/fcomp.2025.1584114

National Institute of Standards and Technology. (2024). *Module-Lattice-Based Digital Signature Standard (FIPS 204)*. https://doi.org/10.6028/NIST.FIPS.204

National Institute of Standards and Technology. (2024). *Module-Lattice-Based Key-Encapsulation Mechanism Standard (FIPS 203)*. https://doi.org/10.6028/NIST.FIPS.203

National Institute of Standards and Technology. (2024, November). *Transition to Post-Quantum Cryptography Standards (NIST IR 8547, initial public draft)*. https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2024/NIST.IR.8547.ipd.pdf

O'Mahony, M. (2013). The tetrad test: Looking back, looking forward. *Journal of Sensory Studies, 28*(4), 259–263. https://doi.org/10.1111/joss.12045

Rahimian, H., & Mehrotra, S. (2019). Distributionally robust optimization: A review. *arXiv preprint* arXiv:1908.05659. https://arxiv.org/abs/1908.05659

Sarandy, M. S., & Lidar, D. A. (2005). Adiabatic quantum computation in open systems. *Physical Review Letters, 95*(25), 250503. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.95.250503

Siu, M. S. (2005). From quantum circuits to adiabatic algorithms. *Physical Review A, 71*(6), 062314. https://doi.org/10.1103/PhysRevA.71.062314

Singh, P., & Huang, Y.-P. (2019). A new hybrid time series forecasting model based on the neutrosophic set and quantum optimization algorithm. *Computers in Industry, 111*, 121–139. https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.06.004

Słyż, M., Grodzki, Ł., Rydlichowski, P., Siera, D., Kurowski, K., Waligóra, G., & Węglarz, J. (2025/2026). Solving combinatorial optimization and machine learning problems on hybrid near-term quantum photonic computers. *Future Generation Computer Systems, 174*, 107934. https://doi.org/10.1016/j.future.2025.107934