



www.turkishstudies.net/economy

Turkish Studies - Economics, Finance, Politics

eISSN: 2667-5625

Research Article / Araştırma Makalesi



High-Frequency Realized Higher Moments and Portfolio Optimization in an Emerging Equity Market: Evidence from Borsa İstanbul

Gelişmekte Olan Bir Pay Piyasasında Yüksek Frekanslı Gerçekleşmiş Yüksek Momentler ve Portföy Optimizasyonu: Borsa İstanbul Örneği

Ökkeş Çelen* - Taner Taş** - Selim Baha Yıldız***

Abstract: This study examines the contribution of realized higher moments extracted from high-frequency data to portfolio optimization in an emerging equity market, with evidence from Borsa İstanbul. The analysis is based on 11 highly liquid BIST stocks over the January 2018–December 2025 period and compares five portfolio strategies: an equally weighted benchmark, daily-data-based mean–variance and mean–variance–skewness–kurtosis portfolios, and their counterparts constructed from 5-minute high-frequency returns. Portfolio weights are generated within a monthly rolling out-of-sample framework using polynomial goal programming, which allows return, variance, skewness, and kurtosis targets to be considered simultaneously. Risk-adjusted performance is evaluated with a time-varying risk-free rate derived from the Turkish two-year benchmark government bond yield, while transaction costs are incorporated through monthly turnover. The findings indicate that the daily-data-based MVSK portfolio produces the strongest overall performance in terms of annualized return, Sharpe ratio, modified Sharpe ratio, and Sortino ratio. The high-frequency MVSK portfolio improves performance relative to the high-frequency mean–variance portfolio and generates the lowest maximum drawdown. However, its out-of-sample skewness and kurtosis remain weaker than those of the daily MVSK portfolio. The results suggest that high-frequency realized higher-moment information offers a selective and frequency-sensitive contribution to portfolio optimization in emerging equity markets. By directly comparing daily and intraday higher-moment portfolio strategies within the same polynomial goal programming framework, the study extends the existing higher-moment portfolio optimization literature by

* Corresponding Author: Res. Asst. Dr., Manisa Celal Bayar University, Faculty of Business, Department of Economics and Finance

Sorumlu Yazar: Arş. Gör. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Ekonomi ve Finans Bölümü

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5623-176X>

okkes.celen@cbu.edu.tr

** Assoc. Prof. Dr., Manisa Celal Bayar University, Faculty of Business, Department of Economics and Finance

Doç. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Ekonomi ve Finans Bölümü

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2861-5467>

taner.tas@gmail.com

*** Assoc. Prof. Dr., Manisa Celal Bayar University, Faculty of Business, Department of Business Administration

Doç. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0750-0556>

baha.yildiz@cbu.edu.tr

Cite as/ Atıf: Çelen, Ö., Taş, T. & Yıldız S. B. (2026). High-frequency realized higher moments and portfolio optimization in an emerging equity market: evidence from Borsa İstanbul / Gelişmekte olan bir pay piyasasında yüksek frekanslı gerçekleşmiş yüksek momentler ve portföy optimizasyonu: Borsa İstanbul örneği. *Turkish Studies – Economics, Finance, Politics*, 21(Ö1), 757-804. [Special Issues Dedicated to Prof. Dr. Mahmut Özer], Ankara Bilim University Publications. <https://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.94889>

Received/Geliş: 12 June/Haziran 2026

Accepted/Kabul: 15 September/Eylül 2026

Published/Yayın: 20 September/Eylül 2026

Checked by plagiarism software



showing that the value of high-frequency realized moments is conditional on data frequency, performance criterion, and portfolio constraints.

Keywords: Finance, emerging markets, Borsa İstanbul, high-frequency data, realized higher moments, portfolio optimization, polynomial goal programming.

Öz: Bu çalışma, yüksek frekanslı verilerden elde edilen gerçekleşmiş yüksek momentlerin gelişmekte olan bir pay piyasasında portföy optimizasyonuna katkısını Borsa İstanbul örneği üzerinden incelemektedir. Analizde Ocak 2018–Aralık 2025 döneminde işlem gören 11 likit BIST pay senedi kullanılmış ve eşit ağırlıklı portföy, günlük veriye dayalı ortalama–varyans ve ortalama–varyans–çarpıklık–basıklık portföyleri ile 5 dakikalık yüksek frekanslı veriye dayalı karşılıkları karşılaştırılmıştır. Portföyler aylık rolling out-of-sample yapı içinde polynomial goal programming yöntemiyle oluşturulmuş, risk düzeltilmiş performans ölçütleri ise Türkiye iki yıllık gösterge tahvil faizinden türetilen zamanla değişen risksiz getiri serisi kullanılarak hesaplanmıştır. Bulgular, günlük veriye dayalı MVSK portföyünün yıllıklandırılmış getiri, Sharpe oranı, modifiye Sharpe oranı ve Sortino oranı bakımından en güçlü genel performansı ürettiğini göstermektedir. Yüksek frekanslı MVSK portföyü, yüksek frekanslı ortalama–varyans portföyüne kıyasla daha yüksek getiri, daha iyi risk düzeltilmiş performans ve daha düşük maksimum kayıp sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu portföyün out-of-sample çarpıklık ve basıklık değerleri günlük MVSK portföyüne göre daha zayıf kalmaktadır. Sonuçlar, yüksek frekanslı gerçekleşmiş yüksek moment bilgisinin gelişmekte olan piyasalarda portföy tahsisine seçici, frekansa duyarlı ve koşullu bir katkı sunduğunu göstermektedir. Çalışma, günlük ve gün içi yüksek momentli portföy stratejilerini aynı polynomial goal programming çerçevesinde doğrudan karşılaştırarak, yüksek frekanslı gerçekleşmiş momentlerin katkısının veri frekansına, performans ölçütüne ve portföy kısıtlarına bağlı olduğunu göstermekte ve bu yönüyle mevcut yüksek momentli portföy optimizasyonu literatürünü genişletmektedir.

Anahtar Kelimeler: Finans, gelişmekte olan piyasalar, Borsa İstanbul, yüksek frekanslı veri, gerçekleşmiş yüksek momentler, portföy optimizasyonu.

Structured Abstract

Portfolio optimization has traditionally been built on the mean–variance framework, which evaluates investment decisions through expected return and variance-based risk. Although this framework remains central to modern portfolio theory, it may be restrictive when asset returns display non-normal features such as asymmetry, fat tails, volatility clustering, and extreme price movements. These characteristics are particularly visible in emerging equity markets, where liquidity conditions, macro-financial uncertainty, and sensitivity to global capital flows may amplify distributional risks. In such markets, portfolio allocation decisions may require not only the first two moments of returns but also higher-order moments such as skewness and kurtosis. This study aims to examine whether realized higher moments obtained from high-frequency data contribute to portfolio optimization in Borsa Istanbul. More specifically, it evaluates whether high-frequency information and higher-moment information provide separate and joint benefits for out-of-sample portfolio performance.

The study is grounded in the higher-moment portfolio selection literature, which argues that investors generally prefer higher expected return and positive skewness while seeking to reduce variance and kurtosis. Earlier studies have shown that skewness and kurtosis can alter optimal portfolio compositions, especially when returns deviate from normality. Multi-objective optimization and polynomial goal programming are appropriate for this problem because they treat return, variance, skewness, and kurtosis as separate objectives rather than compressing them into a single utility function. In addition, the realized volatility literature suggests that intraday data contain richer information about return variation than daily closing prices. Extensions of this literature show that realized skewness and realized kurtosis may also capture economically relevant features of return distributions. However, empirical studies that directly use high-frequency realized higher moments as inputs in portfolio optimization remain limited, especially for emerging equity markets such as Borsa Istanbul.

The empirical analysis uses 11 liquid stocks traded on Borsa Istanbul: AKBNK, ASELS, BIMAS, EREGL, GARAN, ISCTR, KCHOL, SAHOL, TCELL, THYAO, and TUPRS. The out-of-sample investment period covers January 2018–December 2025, with December 2017 serving as the initial in-sample estimation window. Two data frequencies are employed: daily closing returns and 5-minute intraday returns. Five portfolio strategies are compared: the equally weighted portfolio, Daily-MV, Daily-MVSK, HF-MV-5min, and HF-MVSK-5min. At the beginning of each month, portfolio weights are estimated using the previous month's data and are then held constant throughout the following month. Polynomial goal programming is used to minimize normalized deviations from ideal moment targets. In the MV models, the objective includes return and variance, while in the MVSK models it also includes skewness and kurtosis. Short selling is not allowed, portfolio weights sum to one, and the main analysis applies a 30% maximum weight cap for each stock. Transaction costs are deducted from monthly rebalancing turnover. Out-of-sample performance is evaluated using net daily portfolio returns, annualized return, annualized volatility, Sharpe ratio, modified Sharpe ratio, Sortino ratio, maximum drawdown, skewness, kurtosis, concentration measures, turnover, and block bootstrap tests. Because the study relies on secondary financial market data and does not involve human participants, surveys, interviews, experiments, or personal data, ethics committee approval is not required.

The empirical results show that the Daily-MVSK portfolio delivers the strongest overall performance during the sample period. It achieves the highest annualized return and the highest values for the Sharpe, modified Sharpe, and Sortino ratios. The portfolio also produces the least negative skewness and the lowest kurtosis among the main strategies. These findings indicate that incorporating skewness and kurtosis into portfolio optimization can improve the risk–return profile in Borsa Istanbul, particularly when moments are estimated from daily data. For high-frequency portfolios, the HF-MVSK-5min strategy performs better than HF-MV-5min in terms of annualized return, risk-adjusted performance, and maximum drawdown. This suggests that realized higher moments derived from intraday data may contribute to downside-risk control and portfolio allocation beyond variance-based information. However, the high-frequency MVSK portfolio does not generate a superior out-of-sample distributional profile in terms of skewness and kurtosis. Its skewness remains more negative and its kurtosis higher than those of the Daily-MVSK portfolio. This result implies that high-frequency realized higher moments do not mechanically translate into more favorable daily out-of-sample distributional characteristics. The block bootstrap tests further show that return differences are not statistically significant at the 5% level, so the performance superiority observed for Daily-MVSK should be interpreted as an economically meaningful sample-period result rather than statistically conclusive dominance. Robustness

على أنه نتيجة ذات مغزى اقتصادي لفترة العينة وليس هيمنة Daily-MVSK لذا ينبغي تفسير التفوق في الأداء الذي لوحظ لمحفظة 5% قاطعة من الناحية الإحصائية. تُظهر تحليلات المئات المستندة إلى عوائد التداول عالي التردد كل 30 دقيقة وسقف وزن بديل بنسبة 20% أن النتائج حساسة لتردد أخذ العينات وقيود تركيز المحفظة.

تخلص الدراسة إلى أن تحسين المحفظة ذات اللحظات الأعلى له أهمية عملية بالنسبة لبورصة إسطنبول، وأن المعلومات المتحققة ذات اللحظات الأعلى في التداول عالي التردد تقدم مساهمة مشروطة في تخصيص محفظة الأسواق الناشئة. وقد تم الحصول على أقوى دليل عالية التردد تكون أكثر فائدة عند مقارنتها بمعيار MVSK القائمة على البيانات اليومية، في حين أن استراتيجية MVSK بالنسبة لمحفظة المتوسط-التباين عالي التردد. وتشير النتائج إلى أنه ينبغي على المستثمرين ومديري المحافظ تقييم البيانات عالية التردد ليس فقط من خلال تقديرات التباين والتغاير، بل أيضاً من خلال مقاييس مخاطر التوزيع، وتكاليف المعاملات، والانخفاض الأقصى، وتركيز المحفظة. قد توسع الأبحاث المستقبلية نطاق التحليل باستخدام مجموعات أوسع من الأسهم، وفترات أخذ عينات بديلة، ومقدرات اللحظات المحققة المقاومة للضوضاء، ومقاييس الانحراف المشترك والتقوس المشترك المباشرة، وطرق تحسين متعددة الأهداف مختلفة.

الكلمات المفتاحية: المالية، الأسواق الناشئة، بورصة إسطنبول، البيانات عالية التردد، اللحظات الأعلى المحققة، تحسين المحفظة، برمجة الأهداف متعددة الحدود.

Résumé Structuré

L'optimisation de portefeuille repose traditionnellement sur le cadre « moyenne-variance », qui évalue les décisions d'investissement à travers le rendement attendu et le risque basé sur la variance. Bien que ce cadre reste au cœur de la théorie moderne du portefeuille, il peut s'avérer restrictif lorsque les rendements des actifs présentent des caractéristiques non normales telles que l'asymétrie, les queues épaisses, le regroupement de la volatilité et les fluctuations extrêmes des cours. Ces caractéristiques sont particulièrement visibles sur les marchés boursiers émergents, où les conditions de liquidité, l'incertitude macrofinancière et la sensibilité aux flux de capitaux mondiaux peuvent amplifier les risques de distribution. Sur de tels marchés, les décisions d'allocation de portefeuille peuvent nécessiter non seulement les deux premiers moments des rendements, mais aussi des moments d'ordre supérieur tels que l'asymétrie et le kurtosis. Cette étude vise à examiner si les moments d'ordre supérieur réalisés, obtenus à partir de données haute fréquence, contribuent à l'optimisation des portefeuilles à la Borsa Istanbul. Plus précisément, elle évalue si les informations à haute fréquence et celles relatives aux moments d'ordre supérieur apportent des avantages distincts et conjoints à la performance hors échantillon des portefeuilles.

Cette étude s'appuie sur la littérature consacrée à la sélection de portefeuilles en fonction des moments d'ordre supérieur, qui soutient que les investisseurs préfèrent généralement un rendement attendu plus élevé et une asymétrie positive, tout en cherchant à réduire la variance et le kurtosis. Des études antérieures ont montré que l'asymétrie et le kurtosis peuvent modifier la composition optimale des portefeuilles, en particulier lorsque les rendements s'écartent de la distribution normale. L'optimisation multi-objectifs et la programmation par objectifs polynomiaux sont adaptées à ce problème, car elles traitent le rendement, la variance, l'asymétrie et le kurtosis comme des objectifs distincts plutôt que de les regrouper en une seule fonction d'utilité. De plus, la littérature sur la volatilité réalisée suggère que les données intrajournalières contiennent des informations plus riches sur la variation des rendements que les cours de clôture quotidiens. Des extensions de cette littérature montrent que l'asymétrie réalisée et le kurtosis réalisé peuvent également refléter des caractéristiques économiquement pertinentes des distributions de rendement. Cependant, les études empiriques qui utilisent directement les moments supérieurs réalisés à haute fréquence comme données d'entrée dans l'optimisation de portefeuille restent limitées, en particulier pour les marchés boursiers émergents tels que la Borsa Istanbul.

L'analyse empirique porte sur 11 actions liquides négociées à la Borsa Istanbul : AKBNK, ASELS, BIMAS, EREGL, GARAN, ISCTR, KCHOL, SAHOL, TCELL, THYAO et TUPRS. La période d'investissement hors échantillon couvre janvier 2018 à décembre 2025, décembre 2017 servant de fenêtre d'estimation initiale dans l'échantillon. Deux fréquences de données sont utilisées : les rendements de clôture quotidiens et les rendements intrajournaliers toutes les 5 minutes. Cinq stratégies de portefeuille sont comparées : le portefeuille à pondération égale, Daily-MV, Daily-MVSK, HF-MV-5min et HF-MVSK-5min. Au début de chaque mois, les pondérations du portefeuille sont estimées à partir des données du mois précédent, puis maintenues constantes tout au long du mois suivant. La programmation par objectifs polynomiale est utilisée pour minimiser les écarts normalisés par rapport aux cibles de moments idéaux. Dans les modèles MV, l'objectif inclut le rendement et la variance, tandis que dans les modèles MVSK, il inclut également l'asymétrie et le kurtosis. La vente à découvert n'est pas autorisée, la somme des pondérations du portefeuille est égale à un, et l'analyse principale applique un plafond de pondération maximal de 30 % pour chaque action. Les coûts

de transaction sont déduits du taux de rotation mensuel lié au rééquilibrage. La performance hors échantillon est évaluée à l'aide des rendements quotidiens nets du portefeuille, du rendement annualisé, de la volatilité annualisée, du ratio de Sharpe, du ratio de Sharpe modifié, du ratio de Sortino, de la baisse maximale, de l'asymétrie, de l'aplatissement, des mesures de concentration, du taux de rotation et des tests de bootstrap par blocs. Étant donné que l'étude s'appuie sur des données issues des marchés financiers secondaires et n'implique pas de participants humains, d'enquêtes, d'entretiens, d'expériences ou de données à caractère personnel, l'approbation d'un comité d'éthique n'est pas requise.

Les résultats empiriques montrent que le portefeuille Daily-MVSK affiche la meilleure performance globale sur la période d'échantillonnage. Il atteint le rendement annualisé le plus élevé ainsi que les valeurs les plus élevées pour les ratios de Sharpe, de Sharpe modifié et de Sortino. Ce portefeuille présente également l'asymétrie la moins négative et la kurtosis la plus faible parmi les principales stratégies. Ces résultats indiquent que l'intégration de l'asymétrie et de la kurtosis dans l'optimisation de portefeuille peut améliorer le profil risque-rendement à la Borsa Istanbul, en particulier lorsque les moments sont estimés à partir de données quotidiennes. Pour les portefeuilles à haute fréquence, la stratégie HF-MVSK-5min affiche de meilleures performances que la stratégie HF-MV-5min en termes de rendement annualisé, de performance ajustée au risque et de baisse maximale. Cela suggère que les moments supérieurs réalisés, dérivés des données intrajournalières, peuvent contribuer à la maîtrise du risque de baisse et à l'allocation du portefeuille au-delà des informations basées sur la variance. Cependant, le portefeuille MVSK à haute fréquence ne génère pas de profil de distribution hors échantillon supérieur en termes d'asymétrie et de kurtosis. Son asymétrie reste plus négative et son kurtosis plus élevé que ceux du portefeuille Daily-MVSK. Ce résultat implique que les moments supérieurs réalisés à haute fréquence ne se traduisent pas mécaniquement par des caractéristiques de distribution quotidiennes hors échantillon plus favorables. Les tests de bootstrap par blocs montrent en outre que les différences de rendement ne sont pas statistiquement significatives au niveau de 5 % ; la supériorité de performance observée pour le portefeuille Daily-MVSK doit donc être interprétée comme un résultat économiquement significatif sur la période d'échantillonnage plutôt que comme une dominance statistiquement concluante. Des analyses de robustesse basées sur des rendements haute fréquence à 30 minutes et un plafond de pondération alternatif de 20 % montrent que les résultats sont sensibles à la fréquence d'échantillonnage et aux contraintes de concentration du portefeuille.

L'étude conclut que l'optimisation de portefeuille à moments supérieurs présente un intérêt pratique pour la Borsa Istanbul et que les informations sur les moments supérieurs réalisés en haute fréquence apportent une contribution conditionnelle à l'allocation de portefeuille sur les marchés émergents. Les résultats les plus probants sont obtenus pour le portefeuille MVSK basé sur des données quotidiennes, tandis que la stratégie MVSK à haute fréquence s'avère la plus utile lorsqu'elle est comparée à l'indice de référence « moyenne-variance » à haute fréquence. Les résultats suggèrent que les investisseurs et les gestionnaires de portefeuille devraient évaluer les données à haute fréquence non seulement à travers des estimations de variance et de covariance, mais également à travers des mesures de risque distributionnel, les coûts de transaction, la baisse maximale et la concentration du portefeuille. De futures recherches pourraient étendre cette analyse en utilisant des univers d'actions plus larges, des intervalles d'échantillonnage alternatifs, des estimateurs de moments réalisés robustes au bruit, des mesures directes de co-asymétrie et de co-kurtosis, ainsi que différentes méthodes d'optimisation multi-objectifs.

Mots-clés: Finance, marchés émergents, Borsa Istanbul, données haute fréquence, moments supérieurs réalisés, optimisation de portefeuille, programmation par objectifs polynomiaux.

Resumen Estructurado

La optimización de carteras se ha basado tradicionalmente en el marco de media-varianza, que evalúa las decisiones de inversión a través de la rentabilidad esperada y el riesgo basado en la varianza. Aunque este marco sigue siendo fundamental para la teoría moderna de carteras, puede resultar restrictivo cuando las rentabilidades de los activos presentan características no normales, como asimetría, colas gruesas, agrupamiento de la volatilidad y movimientos extremos de los precios. Estas características son especialmente evidentes en los mercados de renta variable emergentes, donde las condiciones de liquidez, la incertidumbre macrofinanciera y la sensibilidad a los flujos de capital globales pueden amplificar los riesgos distributivos. En dichos mercados, las decisiones de asignación de carteras pueden requerir no solo los dos primeros

momentos de los rendimientos, sino también momentos de orden superior, como la asimetría y la curtosis. El presente estudio tiene como objetivo examinar si los momentos superiores realizados, obtenidos a partir de datos de alta frecuencia, contribuyen a la optimización de carteras en la Borsa de Estambul. Más concretamente, evalúa si la información de alta frecuencia y la información de momentos de orden superior aportan beneficios tanto por separado como de forma conjunta al rendimiento de la cartera fuera de la muestra.

El estudio se basa en la bibliografía sobre selección de carteras basada en momentos de orden superior, que sostiene que los inversores suelen preferir una rentabilidad esperada más elevada y una asimetría positiva, al tiempo que buscan reducir la varianza y la curtosis. Estudios anteriores han demostrado que la asimetría y la curtosis pueden alterar las composiciones óptimas de las carteras, especialmente cuando las rentabilidades se desvían de la normalidad. La optimización multiobjetivo y la programación polinómica de objetivos son adecuadas para este problema, ya que tratan la rentabilidad, la varianza, la asimetría y la curtosis como objetivos independientes, en lugar de comprimirlos en una única función de utilidad. Además, la bibliografía sobre volatilidad realizada sugiere que los datos intradía contienen información más rica sobre la variación de la rentabilidad que los precios de cierre diarios. Las ampliaciones de esta bibliografía muestran que la asimetría y la curtosis realizadas también pueden captar características económicamente relevantes de las distribuciones de los rendimientos. Sin embargo, los estudios empíricos que utilizan directamente los momentos superiores realizados de alta frecuencia como datos de entrada en la optimización de carteras siguen siendo limitados, especialmente para mercados de renta variable emergentes como Borsa Istanbul.

El análisis empírico utiliza 11 acciones líquidas que cotizan en Borsa Istanbul: AKBANK, ASELSAN, BIMAS, EREGLER, GARAN, ISCTR, KCHOL, SAHOL, TCELL, THYAO y TUPRS. El período de inversión fuera de la muestra abarca de enero de 2018 a diciembre de 2025, siendo diciembre de 2017 la ventana de estimación inicial dentro de la muestra. Se emplean dos frecuencias de datos: rentabilidades de cierre diarias y rentabilidades intradía de 5 minutos. Se comparan cinco estrategias de cartera: la cartera ponderada por igual, Daily-MV, Daily-MVSK, HF-MV-5min y HF-MVSK-5min. A principios de cada mes, las ponderaciones de la cartera se estiman utilizando los datos del mes anterior y, a continuación, se mantienen constantes durante todo el mes siguiente. Se utiliza la programación polinómica de objetivos para minimizar las desviaciones normalizadas respecto a los objetivos de momentos ideales. En los modelos MV, el objetivo incluye la rentabilidad y la varianza, mientras que en los modelos MVSK también incluye la asimetría y la curtosis. No se permiten las ventas en corto, la suma de las ponderaciones de la cartera es igual a uno y el análisis principal aplica un límite máximo de ponderación del 30 % para cada acción. Los costes de transacción se deducen de la rotación mensual del reequilibrio. El rendimiento fuera de la muestra se evalúa utilizando las rentabilidades netas diarias de la cartera, la rentabilidad anualizada, la volatilidad anualizada, el ratio de Sharpe, el ratio de Sharpe modificado, el ratio de Sortino, la caída máxima, la asimetría, la curtosis, las medidas de concentración, la rotación y las pruebas de bootstrap por bloques. Dado que el estudio se basa en datos secundarios de los mercados financieros y no implica participantes humanos, encuestas, entrevistas, experimentos ni datos personales, no se requiere la aprobación de un comité de ética.

Los resultados empíricos muestran que la cartera Daily-MVSK ofrece el mejor rendimiento global durante el período de la muestra. Alcanza la mayor rentabilidad anualizada y los valores más altos para los índices de Sharpe, de Sharpe modificado y de Sortino. La cartera también presenta la menor asimetría negativa y la menor curtosis entre las principales estrategias. Estos resultados indican que la incorporación de la asimetría y la curtosis en la optimización de la cartera puede mejorar el perfil de riesgo-rentabilidad en la Borsa de Estambul, especialmente cuando los momentos se estiman a partir de datos diarios. En el caso de las carteras de alta frecuencia, la estrategia HF-MVSK-5min obtiene mejores resultados que la HF-MV-5min en términos de rentabilidad anualizada, rendimiento ajustado al riesgo y caída máxima. Esto sugiere que los momentos superiores realizados derivados de datos intradía pueden contribuir al control del riesgo a la baja y a la asignación de la cartera más allá de la información basada en la varianza. Sin embargo, la cartera MVSK de alta frecuencia no genera un perfil de distribución fuera de la muestra superior en términos de asimetría y curtosis. Su asimetría sigue siendo más negativa y su curtosis más elevada que las de la cartera Daily-MVSK. Este resultado implica que los momentos superiores realizados de alta frecuencia no se traducen mecánicamente en características distributivas diarias fuera de la muestra más favorables. Las pruebas de bootstrap por bloques muestran además que las diferencias de rentabilidad no son estadísticamente significativas al nivel del 5 %, por lo que la superioridad en el rendimiento observada para la cartera Daily-MVSK debe interpretarse como un resultado económicamente significativo del período de la muestra, más que como un dominio estadísticamente concluyente. Los análisis de robustez basados en los rendimientos de alta

frecuencia a 30 minutos y en un límite de ponderación alternativo del 20 % muestran que los resultados son sensibles a la frecuencia de muestreo y a las restricciones de concentración de la cartera.

El estudio concluye que la optimización de carteras de momentos superiores tiene relevancia práctica para la Bolsa de Estambul y que la información sobre momentos superiores realizada en alta frecuencia aporta una contribución condicional a la asignación de carteras en mercados emergentes. La evidencia más sólida se obtiene para la cartera MVSK basada en datos diarios, mientras que la estrategia MVSK de alta frecuencia resulta más útil cuando se compara con el índice de referencia de media-varianza de alta frecuencia. Los resultados sugieren que los inversores y los gestores de carteras deberían evaluar los datos de alta frecuencia no solo a través de estimaciones de varianza y covarianza, sino también mediante medidas de riesgo distributivo, costes de transacción, caída máxima y concentración de la cartera. Las investigaciones futuras podrían ampliar el análisis utilizando universos de valores más amplios, intervalos de muestreo alternativos, estimadores de momentos realizados robustos al ruido, medidas directas de cosimetría y cocurtosis, y diferentes métodos de optimización multiobjetivo.

Palabras clave: Finanzas, mercados emergentes, Borsa Istanbul, datos de alta frecuencia, momentos superiores realizados, optimización de carteras, programación polinómica de objetivos.

结构化摘要

投资组合优化传统上基于均值-方差框架，该框架通过预期收益和基于方差的风险来评估投资决策。尽管该框架仍是现代投资组合理论的核心，但在资产收益呈现非正态特征（如非对称性、肥尾、波动率聚类 and 极端价格波动）时，该框架可能会受到限制。这些特征在新兴股市中尤为明显，该市场的流动性状况、宏观金融不确定性以及对全球资本流动的敏感性，都可能放大分布风险。在此类市场中，投资组合配置决策不仅需要考虑到收益率的前两个矩，还需考虑偏度和峰度等高阶矩。本研究旨在探讨从高频数据中获得的已实现高阶矩是否有助于伊斯坦布尔证券交易所（Borsa Istanbul）的投资组合优化。更具体地说，本研究评估了高频信息与高阶矩信息是否能为样本外投资组合表现带来独立和联合效益。

本研究基于高阶矩投资组合选择文献，该文献认为投资者通常偏好更高的预期收益和正偏度，同时寻求降低方差和峰度。先前的研究表明，偏度和峰度会改变最优投资组合的构成，尤其是在收益率偏离正态分布时。多目标优化和多项式目标规划适用于该问题，因为它们将收益率、方差、偏度和峰度视为独立目标，而非将其压缩为单一效用函数。此外，已实现波动率文献表明，日内数据比日收盘价包含更丰富的收益率波动信息。该文献的延伸研究表明，已实现偏度和已实现峰度同样能够捕捉收益率分布中具有经济意义的特征。然而，直接将高频已实现高阶矩作为输入变量用于投资组合优化的实证研究仍然有限，特别是在伊斯坦布尔证券交易所（Borsa Istanbul）等新兴股票市场中。

本实证分析选取了在伊斯坦布尔证券交易所交易的11只流动性较高的股票：AKBNK、ASELS、BIMAS、EREGL、GARAN、ISCTR、KCHOL、SAHOL、TCELL、THYAO和TUPRS。样本外投资期覆盖2018年1月至2025年12月，其中2017年12月作为样本内初始估计窗口。研究采用了两种数据频率：日收盘收益率和5分钟盘中收益率。比较了五种投资组合策略：等权重投资组合、Daily-MV、Daily-MVSK、HF-MV-5min和HF-MVSK-5min。每月月初，利用上月数据估算投资组合权重，并在随后整个月内保持权重不变。采用多项式目标规划法，以最小化与理想矩目标的标准化偏差。在MV模型中，目标函数包含收益率和方差；而在MVSK模型中，目标函数还包含偏度和峰度。不允许做空，投资组合权重之和为1，主要分析中对每只股票设定了30%的最大权重上限。交易成本从每月再平衡的周转率中扣除。样本外表现通过每日净投资组合收益率、年化收益率、年化波动率、夏普比率、修正夏普比率、索提诺比率、最大回撤、偏度、峰度、集中度指标、周转率以及块式自助法检验进行评估。由于本研究依赖于二级金融市场数据，且不涉及人类参与者、调查、访谈、实验或个人数据，因此无需伦理委员会批准。

实证结果表明, 在样本期间内, “Daily-MVSK”投资组合表现出了最强的整体业绩。该组合实现了最高的年化收益率, 以及最高的夏普比率、修正夏普比率和索提诺比率。在主要策略中, 该组合还呈现出最小的负偏度和最低的峰度。这些发现表明, 将偏度和峰度纳入投资组合优化, 可以改善伊斯坦布尔证券交易所的风险-收益特征, 特别是在基于日数据估计矩值时。就高频投资组合而言, 在年化收益率、风险调整后表现和最大回撤方面, HF-MVSK-5min策略的表现均优于HF-MV-5min策略。这表明, 基于盘中数据得出的更高阶矩已实现矩, 可能在方差信息之外, 有助于下行风险控制和投资组合配置。然而, 就偏度和峰度而言, 高频MVSK投资组合并未产生更优的样本外分布特征。其偏度仍比日度MVSK投资组合更负, 峰度也更高。这一结果表明, 高频已实现的高阶矩并不能机械地转化为更有利的日度样本外分布特征。分块引导法检验进一步表明, 收益差异在5%显著性水平上不具有统计学意义, 因此, 日度MVSK所表现出的业绩优势应被解读为具有经济意义的样本期结果, 而非具有统计学决定性的优势。基于30分钟高频收益率及另一种20%权重上限进行的稳健性分析表明, 研究结果对采样频率和投资组合集中度约束较为敏感。

该研究得出结论: 高阶矩投资组合优化对伊斯坦布尔证券交易所具有实际意义, 且高频已实现高阶矩信息为新兴市场投资组合配置提供了有条件的贡献。基于日数据的MVSK投资组合提供了最有力的证据, 而高频MVSK策略在与高频均值-方差基准进行比较时最为有效。研究结果表明, 投资者和投资组合经理在评估高频数据时, 不仅应通过方差和协方差估计值, 还应通过分布风险度量、交易成本、最大回撤以及投资组合集中度等指标进行综合考量。未来研究可通过采用更广泛的股票样本集、替代性采样间隔、抗噪声的已实现高阶矩估计量、直接共偏度和共峰度指标, 以及不同的多目标优化方法, 来扩展本研究分析。

关键词: 金融, 新兴市场, 伊斯坦布尔证券交易所, 高频数据, 已实现高阶矩, 投资组合优化, 多项式目标规划。

Структурированное Резюме

Оптимизация портфеля традиционно основывается на модели «среднее-дисперсия», в рамках которой инвестиционные решения оцениваются с учетом ожидаемой доходности и риска, определяемого дисперсией. Хотя эта модель по-прежнему занимает центральное место в современной теории портфеля, она может оказывать ограничивающее влияние в случаях, когда доходность активов демонстрирует ненормальные характеристики, такие как асимметрия, «толстые хвосты», кластеризация волатильности и экстремальные ценовые колебания. Эти характеристики особенно заметны на развивающихся фондовых рынках, где условия ликвидности, макрофинансовая неопределенность и чувствительность к глобальным потокам капитала могут усиливать риски, связанные с распределением доходности. На таких рынках решения о распределении портфеля могут требовать учета не только первых двух моментов доходности, но и моментов более высокого порядка, таких как асимметрия и эксцесс. Цель данного исследования — проверить, способствуют ли реализованные моменты более высокого порядка, полученные на основе высокочастотных данных, оптимизации портфеля на бирже «Борса Стамбул». В частности, в нём оценивается, обеспечивают ли высокочастотная информация и информация о моментах высшего порядка отдельные и совместные преимущества для результативности портфеля вне выборки.

Исследование основано на литературе по выбору портфелей с учётом моментов высшего порядка, в которой утверждается, что инвесторы, как правило, предпочитают более высокую ожидаемую доходность и положительный асимметричный момент, стремясь при этом снизить дисперсию и эксцесс. Ранее проведенные исследования показали, что асимметричный момент и эксцесс могут изменять оптимальный состав портфеля, особенно когда доходность отклоняется от нормального распределения. Для решения этой задачи подходят многоцелевая оптимизация и полиномиальное программирование целей, поскольку они рассматривают доходность, дисперсию, асимметрию и эксцесс как отдельные цели, а не сводят их в единую функцию полезности. Кроме того, литература по реализованной волатильности указывает на то, что внутридневные данные содержат более богатую информацию о колебаниях доходности, чем дневные цены закрытия. Расширения этих исследований показывают, что реализованная асимметрия и реализованная эксцессивность также могут отражать

экономически значимые особенности распределений доходности. Однако эмпирические исследования, в которых высокочастотные реализованные высшие моменты непосредственно используются в качестве входных данных при оптимизации портфеля, по-прежнему носят ограниченный характер, особенно в отношении развивающихся фондовых рынков, таких как Borsa Istanbul.

В эмпирическом анализе используются 11 ликвидных акций, торгуемых на бирже «Borsa Istanbul»: AKBNK, ASELS, BIMAS, EREGL, GARAN, ISCTR, KCHOL, SAHOL, TCELL, THYAO и TUPRS. Период инвестирования вне выборки охватывает период с января 2018 года по декабрь 2025 года, при этом декабрь 2017 года служит начальным окном оценки внутри выборки. Используются данные двух уровней детализации: дневные доходности по цене закрытия и 5-минутные внутридневные доходности. Сравниваются пять портфельных стратегий: равновесовой портфель, Daily-MV, Daily-MVSK, HF-MV-5min и HF-MVSK-5min. В начале каждого месяца веса портфеля оцениваются на основе данных предыдущего месяца и затем остаются неизменными в течение всего следующего месяца. Для минимизации нормализованных отклонений от целевых значений идеальных моментов используется полиномиальное целевое программирование. В моделях MV целевая функция включает доходность и дисперсию, тогда как в моделях MVSK она также включает асимметрию и эксцесс. Короткая продажа не допускается, сумма весов портфеля равна единице, а в основном анализе применяется ограничение максимального веса в 30 % для каждой акции. Транзакционные издержки вычитаются из оборота при ежемесячной ребалансировке. Результативность вне выборки оценивается с использованием чистой дневной доходности портфеля, годовой доходности, годовой волатильности, коэффициента Шарпа, модифицированного коэффициента Шарпа, коэффициента Сортино, максимального просадки, асимметрии, эксцесса, показателей концентрации, оборота и тестов блочного бутстрапа. Поскольку исследование основано на вторичных данных финансового рынка и не предполагает участия людей, опросов, интервью, экспериментов или использования персональных данных, одобрение комитета по этике не требуется.

Эмпирические результаты показывают, что портфель Daily-MVSK демонстрирует наилучшую общую доходность в течение периода выборки. Он достигает самой высокой годовой доходности и наибольших значений коэффициентов Шарпа, модифицированного Шарпа и Сортино. Кроме того, среди основных стратегий этот портфель характеризуется наименьшей отрицательной асимметрией и наименьшей эксцессивностью. Эти результаты указывают на то, что учет асимметрии и эксцессивности при оптимизации портфеля может улучшить профиль «риск–доходность» на бирже Borsa Istanbul, особенно когда моменты оцениваются на основе ежедневных данных. Что касается высокочастотных портфелей, стратегия HF-MVSK-5min демонстрирует лучшие результаты, чем HF-MV-5min, с точки зрения годовой доходности, доходности с поправкой на риск и максимального просадки. Это свидетельствует о том, что реализованные высшие моменты, полученные на основе внутридневных данных, могут способствовать контролю риска падения и распределению активов в портфеле в дополнение к информации, основанной на дисперсии. Однако высокочастотный портфель MVSK не демонстрирует превосходного профиля распределения вне выборки с точки зрения асимметрии и эксцесса. Его асимметрия остается более отрицательной, а эксцесс — выше, чем у портфеля Daily-MVSK. Этот результат указывает на то, что реализованные высшие моменты высокочастотных данных не приводят автоматически к более благоприятным характеристикам распределения по вневыборочной выборке на дневной основе. Тесты с использованием блочного бутстрапа дополнительно показывают, что различия в доходности не являются статистически значимыми на уровне 5 %, поэтому превосходство по результатам, наблюдаемое у портфеля Daily-MVSK, следует интерпретировать как экономически значимый результат за период выборки, а не как статистически убедительное превосходство. Анализ робастности, основанный на 30-минутных высокочастотных доходностях и альтернативном ограничении веса в 20 %, показывает, что полученные результаты чувствительны к частоте выборки и ограничениям по концентрации портфеля.

В исследовании делается вывод о том, что оптимизация портфеля с учетом высших моментов имеет практическое значение для Borsa Istanbul и что информация о реализованных высших моментах на основе высокочастотных данных вносит условный вклад в распределение портфеля на рынках развивающихся стран. Наиболее убедительные доказательства получены для портфеля MVSK, основанного на ежедневных данных, в то время как высокочастотная стратегия MVSK наиболее эффективна при сравнении с высокочастотным эталонным портфелем «среднее-дисперсия». Результаты указывают на то, что инвесторы и портфельные менеджеры должны оценивать

высокочастотные данные не только с помощью оценок дисперсии и ковариации, но и с помощью мер риска, связанных с распределением, транзакционных издержек, максимального просадки и концентрации портфеля. В будущих исследованиях анализ можно расширить за счет использования более широких совокупностей акций, альтернативных интервалов выборки, устойчивых к шуму оценок реализованных моментов, прямых мер ко-асимметрии и ко-экзотичности, а также различных методов многоцелевой оптимизации.

Ключевые слова: финансы, развивающиеся рынки, Borsa Istanbul, высокочастотные данные, реализованные высшие моменты, оптимизация портфеля, полиномиальное целевое программирование.

संरचित सारांश

पोर्टफोलियो अनुकूलन परंपरागत रूप से माध्य-वैरिएंस ढांचे पर आधारित रहा है, जो अपेक्षित प्रतिफल और वैरिएंस-आधारित जोखिम के माध्यम से निवेश निर्णयों का मूल्यांकन करता है। यद्यपि यह ढांचा आधुनिक पोर्टफोलियो सिद्धांत के लिए केंद्रीय बना हुआ है, लेकिन जब परिसंपत्ति प्रतिफल विषमता, फैट टेल्स, अस्थिरता क्लस्टरिंग और चरम मूल्य आंदोलनों जैसी गैर-सामान्य विशेषताएं प्रदर्शित करते हैं तो यह प्रतिबंधात्मक हो सकता है।

ये विशेषताएँ विशेष रूप से उभरते इक्विटी बाजारों में दिखाई देती हैं, जहाँ तरलता की स्थिति, मैक्रो-वित्तीय अनिश्चितता, और वैश्विक पूंजी प्रवाह के प्रति संवेदनशीलता वितरण संबंधी जोखिमों को बढ़ा सकती है। ऐसे बाजारों में, पोर्टफोलियो आवंटन के निर्णयों के लिए न केवल रिटर्न के पहले दो क्षणों की, बल्कि स्कीवनेस और कर्टोसिस जैसे उच्च-क्रम क्षणों की भी आवश्यकता हो सकती है। इस अध्ययन का उद्देश्य यह जांचना है कि क्या उच्च-आवृत्ति डेटा से प्राप्त वास्तविक उच्च क्षण बोर्सा इस्तांबुल में पोर्टफोलियो अनुकूलन में योगदान करते हैं।

अधिक विशेष रूप से, यह मूल्यांकन करता है कि क्या उच्च-आवृत्ति वाली जानकारी और उच्च-क्रम की जानकारी आउट-ऑफ-सैंपल पोर्टफोलियो प्रदर्शन के लिए अलग और संयुक्त लाभ प्रदान करती है।

यह अध्ययन उच्च-क्रम पोर्टफोलियो चयन साहित्य पर आधारित है, जो यह तर्क देता है कि निवेशक आम तौर पर उच्च अपेक्षित रिटर्न और सकारात्मक स्किउनेस को तरजीह देते हैं, जबकि वैरिएंस और कर्टोसिस को कम करने का प्रयास करते हैं। पिछले अध्ययनों से पता चला है कि स्किउनेस और कर्टोसिस इष्टतम पोर्टफोलियो संरचनाओं को बदल सकते हैं, विशेष रूप से जब रिटर्न सामान्यता से विचलित होते हैं।

बहु-उद्देश्यीय अनुकूलन और बहुपद लक्ष्य प्रोग्रामिंग इस समस्या के लिए उपयुक्त हैं क्योंकि वे रिटर्न, विचरण, अपवर्तन और कर्टोसिस को एकल यूटिलिटी फ़ंक्शन में संपीडित करने के बजाय अलग-अलग उद्देश्यों के रूप में मानते हैं। इसके अलावा, साकार अस्थिरता (realized volatility) पर लेखन से पता चलता है कि इंटाडे डेटा में दैनिक समापन कीमतों की तुलना में रिटर्न भिन्नता के बारे में अधिक समृद्ध जानकारी होती है। इस साहित्य के विस्तार से पता चलता है कि वास्तविक तिरछापन और वास्तविक कर्टोसिस रिटर्न वितरण की आर्थिक रूप से प्रासंगिक विशेषताओं को भी दर्शा सकते हैं। हालांकि, उच्च-आवृत्ति वाले वास्तविक उच्च क्षणों को पोर्टफोलियो अनुकूलन में इनपुट के रूप में सीधे उपयोग करने वाले अनुभवजन्य अध्ययन सीमित हैं, विशेष रूप से बोर्सा इस्तांबुल जैसे उभरते इक्विटी बाजारों के लिए।

अनुभवजन्य विश्लेषण में बोर्सा इस्तांबुल पर कारोबार करने वाले 11 तरल शेयरों का उपयोग किया गया है: AKBANK, ASELS, BIMAS, EREGL, GARAN, ISCTR, KCHOL, SAHOL, TCELL, THYAO, और TUPRS। आउट-ऑफ-सैंपल निवेश अवधि जनवरी 2018–दिसंबर 2025 तक है, जिसमें दिसंबर 2017 को प्रारंभिक इन-सैंपल अनुमान विंडो के रूप में उपयोग किया गया है। दो डेटा आवृत्तियों का उपयोग किया जाता है: दैनिक समापन रिटर्न और 5-मिनट का इंटाडे रिटर्न। पांच पोर्टफोलियो रणनीतियों की तुलना की जाती है: समान भारित पोर्टफोलियो, डेली-एमवी, डेली-एमवीएसके, एचएफ-एमवी-5मिन, और एचएफ-एमवीएसके-5मिन। प्रत्येक महीने की शुरुआत में, पिछले महीने के डेटा का उपयोग करके पोर्टफोलियो भारों का अनुमान लगाया जाता है और फिर उन्हें अगले पूरे महीने के लिए स्थिर रखा जाता है। आदर्श मोमेंट लक्ष्यों से मानकीकृत विचलन को कम करने के लिए बहुपद लक्ष्य प्रोग्रामिंग का उपयोग किया जाता है। एमवी (MV) मॉडलों में, उद्देश्य में रिटर्न और विचरण शामिल हैं, जबकि एमवीएसके (MVSK) मॉडलों में इसमें स्कीवनेस और कर्टोसिस भी शामिल हैं। शॉर्ट सेलिंग की अनुमति नहीं है, पोर्टफोलियो वेट्स का योग एक होता है, और मुख्य विश्लेषण प्रत्येक स्टॉक के लिए 30% की अधिकतम वेट कैप लागू करता है। लेनदेन लागतें मासिक पुनर्संतुलन टर्नओवर से घटाई जाती हैं। आउट-ऑफ-सैंपल प्रदर्शन का मूल्यांकन शुद्ध दैनिक पोर्टफोलियो रिटर्न, वार्षिकीकृत रिटर्न, वार्षिकीकृत अस्थिरता, शार्प अनुपात, संशोधित शार्प अनुपात, सोर्टिनो अनुपात, अधिकतम गिरावट, विचरण, कुर्तोसिस,

एकाग्रता माप, टर्नओवर, और ब्लॉक बूटस्ट्रेप परीक्षणों का उपयोग करके किया जाता है। चूँकि यह अध्ययन द्वितीयक वित्तीय बाजार डेटा पर निर्भर करता है और इसमें मानवीय प्रतिभागी, सर्वेक्षण, साक्षात्कार, प्रयोग, या व्यक्तिगत डेटा शामिल नहीं है, इसलिए नैतिकता समिति की मंजूरी की आवश्यकता नहीं है।

अनुभवजन्य परिणाम दिखाते हैं कि डेली-MVSK पोर्टफोलियो ने नमूना अवधि के दौरान सबसे मजबूत समग्र प्रदर्शन किया है। इसने सबसे अधिक वार्षिकीकृत प्रतिफल और शार्प, संशोधित शार्प, और सोर्टिनो अनुपातों के लिए सबसे उच्च मान प्राप्त किए हैं। यह पोर्टफोलियो मुख्य रणनीतियों में सबसे कम ऋणात्मक अपवर्तन और सबसे कम कर्टोसिस भी उत्पन्न करता है। ये निष्कर्ष दर्शाते हैं कि पोर्टफोलियो अनुकूलन में अपवर्तन और कर्टोसिस को शामिल करने से बोर्सा इस्तांबुल में जोखिम-प्रतिफल प्रोफाइल में सुधार हो सकता है, विशेष रूप से जब मोमेंट्स का अनुमान दैनिक डेटा से लगाया जाता है।

उच्च-आवृत्ति वाले पोर्टफोलियो के लिए, वार्षिकीकृत रिटर्न, जोखिम-समायोजित प्रदर्शन, और अधिकतम गिरावट के मामले में HF-MVSK-5min रणनीति HF-MV-5min से बेहतर प्रदर्शन करती है। यह दर्शाता है कि इंटाडे डेटा से प्राप्त वास्तविक उच्च क्षण (realized higher moments) विचरण-आधारित जानकारी से परे, गिरावट के जोखिम नियंत्रण और पोर्टफोलियो आवंटन में योगदान कर सकते हैं। हालाँकि, उच्च-आवृत्ति वाला MVSK पोर्टफोलियो तिरछापन (skewness) और कर्टोसिस (kurtosis) के मामले में एक बेहतर आउट-ऑफ-सैंपल वितरण प्रोफाइल उत्पन्न नहीं करता है। इसकी विचरणता (skewness) डेली-MVSK पोर्टफोलियो की तुलना में अधिक ऋणात्मक और इसकी कर्णोति (kurtosis) अधिक रहती है। इस परिणाम का अर्थ है कि उच्च-आवृत्ति वाले वास्तविक उच्च क्षण (realized higher moments) स्वचालित रूप से अधिक अनुकूल दैनिक आउट-ऑफ-सैंपल वितरण विशेषताओं में परिवर्तित नहीं होते हैं। ब्लॉक बूटस्ट्रेप परीक्षण आगे यह दर्शाते हैं कि रिटर्न के अंतर 5% स्तर पर सांख्यिकीय रूप से महत्वपूर्ण नहीं हैं, इसलिए डेली-MVSK के लिए देखी गई प्रदर्शन श्रेष्ठता को सांख्यिकीय रूप से निर्णायक प्रभुत्व के बजाय आर्थिक रूप से सार्थक नमूना-अवधि के परिणाम के रूप में व्याख्या किया जाना चाहिए।

30-मिनट के उच्च-आवृत्ति रिटर्न और एक वैकल्पिक 20% वेट कैप पर आधारित मजबूती विश्लेषण (robustness analyses) से पता चलता है कि निष्कर्ष सैंपलिंग आवृत्ति और पोर्टफोलियो एकाग्रता प्रतिबंधों के प्रति संवेदनशील हैं।

अध्ययन का निष्कर्ष है कि बोर्सा इस्तांबुल के लिए उच्च-क्रम पोर्टफोलियो अनुकूलन (higher-moment portfolio optimization) का व्यावहारिक महत्व है और उच्च-आवृत्ति वास्तविक उच्च-क्रम जानकारी (high-frequency realized higher-moment information) उभरते-बाजार पोर्टफोलियो आवंटन में एक सशर्त योगदान प्रदान करती है।

दैनिक-डेटा-आधारित MVSK पोर्टफोलियो के लिए सबसे मजबूत प्रमाण प्राप्त होता है, जबकि उच्च-आवृत्ति MVSK रणनीति उच्च-आवृत्ति माध्य-वैरिएंस बेंचमार्क की तुलना में सबसे अधिक उपयोगी है। परिणाम बताते हैं कि निवेशकों और पोर्टफोलियो प्रबंधकों को उच्च-आवृत्ति डेटा का मूल्यांकन न केवल वैरिएंस और सह-वैरिएंस अनुमानों के माध्यम से बल्कि वितरण जोखिम उपायों, लेनदेन लागतों, अधिकतम गिरावट, और पोर्टफोलियो एकाग्रता के माध्यम से भी करना चाहिए।

भविष्य के शोध में व्यापक स्टॉक यूनिवर्स, वैकल्पिक सैंपलिंग अंतराल, नॉइज़-रोबस्ट रियलाइज़्ड मोमेंट एस्टीमेटर्स, प्रत्यक्ष को-स्कीवनेस और को-कर्टोसिस माप, और विभिन्न बहु-उद्देश्यीय अनुकूलन विधियों का उपयोग करके विश्लेषण का विस्तार किया जा सकता है।

कीवर्ड: वित्त, उभरते बाजार, बोर्सा इस्तांबुल, उच्च-आवृत्ति डेटा, रियलाइज़्ड उच्च मोमेंट्स, पोर्टफोलियो अनुकूलन, बहुपद लक्ष्य प्रोग्रामिंग।

Yapılandırılmış Özet

Portföy optimizasyonu geleneksel olarak yatırım kararlarını beklenen getiri ve varyans temelli risk üzerinden değerlendiren ortalama-varyans çerçevesine dayanmaktadır. Bu çerçeve modern portföy teorisinin merkezinde yer almakla birlikte, finansal varlık getirilerinin asimetri, kalın kuyruk, volatilité kümelenmesi ve aşırı fiyat hareketleri gibi normal dağılımdan sapmalar gösterdiği durumlarda sınırlı kalabilmektedir. Söz konusu özellikler; likidite koşulları, makro-finance belirsizlik ve küresel sermaye akımlarına duyarlılığın dağılımsal riskleri artırabildiği gelişmekte olan pay piyasalarında daha belirgindir. Bu nedenle portföy tahsisinde getirilerin yalnızca ilk iki momentinin değil, çarpıklık ve basıklık gibi yüksek dereceli momentlerin de dikkate alınması gerekebilir. Çalışmanın amacı, yüksek frekanslı verilerden elde edilen gerçekleşmiş yüksek

momentlerin Borsa İstanbul'da portföy optimizasyonuna katkı sağlayıp sağlamadığını ve yüksek frekanslı bilgi ile yüksek moment bilgisinin örneklem dışı portföy performansı üzerindeki ayrı ve ortak etkilerini incelemektedir.

Çalışma, yatırımcıların daha yüksek beklenen getiri ile pozitif çarpıklığı tercih ettiklerini; varyans ve basıklığı ise azaltmayı amaçladıklarını ileri süren yüksek momentli portföy seçimi literatürüne dayanmaktadır. Önceki araştırmalar, özellikle getirilerin normal dağılımdan saptığı durumlarda çarpıklık ve basıklığın optimal portföy bileşimini değiştirebildiğini göstermektedir. Çok amaçlı optimizasyon ve polinomial hedef programlama, getiri, varyans, çarpıklık ve basıklığı tek bir fayda fonksiyonunda birleştirmek yerine ayrı hedefler olarak ele aldığı için bu problem açısından uygun bir yöntemsel çerçeve sunmaktadır. Ayrıca gerçekleşmiş volatilité literatürü, gün içi verilerin getiri değişkenliği hakkında günlük kapanış fiyatlarından daha zengin bilgi içerdiğini ortaya koymaktadır. Bu literatürün uzantıları, gerçekleşmiş çarpıklık ve gerçekleşmiş basıklığın da getiri dağılımlarının ekonomik açıdan anlamlı özelliklerini yakalayabileceğini göstermektedir. Buna karşın, yüksek frekanslı gerçekleşmiş yüksek momentleri doğrudan portföy optimizasyonu girdisi olarak kullanan ampirik çalışmalar, özellikle Borsa İstanbul gibi gelişmekte olan piyasalar bakımından sınırlıdır.

Ampirik analizde Borsa İstanbul'da işlem gören 11 likit pay senedi kullanılmaktadır: AKBNK, ASELS, BIMAS, EREGL, GARAN, ISCTR, KCHOL, SAHOL, TCELL, THYAO ve TUPRS. Örneklem dışı yatırım dönemi Ocak 2018–Aralık 2025 arasını kapsamakta; Aralık 2017 ilk örneklem içi tahmin penceresi olarak kullanılmaktadır. Günlük kapanış getirileri ve 5 dakikalık gün içi getiriler olmak üzere iki veri frekansı ele alınmıştır. Eşit ağırlıklı portföy, Daily-MV, Daily-MVSK, HF-MV-5min ve HF-MVSK-5min olmak üzere beş strateji karşılaştırılmıştır. Her ayın başında, bir önceki aya ait verilerle tahmin edilen portföy ağırlıkları takip eden ay boyunca sabit tutulmuştur. Polinomial hedef programlama yöntemiyle ideal moment hedeflerinden normalize edilmiş sapmalar en aza indirilmektedir. MV modellerinde getiri ve varyans; MVSK modellerinde ise bunlara ek olarak çarpıklık ve basıklık hedefleri kullanılmaktadır. Açığa satışa izin verilmemiş, portföy ağırlıkları toplamı bire eşitlenmiş ve ana analizde her bir pay senedi için azami yüzde 30 ağırlık sınırı uygulanmıştır. Aylık yeniden dengeleme devir oranı üzerinden işlem maliyetleri düşülmüştür. Örneklem dışı performans; net günlük portföy getirileri, yıllıklandırılmış getiri ve volatilité, Sharpe, değiştirilmiş Sharpe ve Sortino oranları, maksimum kayıp, çarpıklık, basıklık, yoğunlaşma ölçütleri, devir oranı ve blok bootstrap testleriyle değerlendirilmiştir. Çalışma ikincil finansal piyasa verilerine dayandığı ve insan katılımcı, anket, görüşme, deney ya da kişisel veri içermediği için etik kurul onayı gerektirmemektedir.

Ampirik sonuçlar, incelenen dönemde en güçlü genel performansın Daily-MVSK portföyü tarafından üretildiğini göstermektedir. Bu portföy en yüksek yıllıklandırılmış getiriye ve en yüksek Sharpe, değiştirilmiş Sharpe ve Sortino oranlarına ulaşmış; ayrıca ana stratejiler arasında en az negatif çarpıklık ve en düşük basıklık değerini üretmiştir. Bulgular, özellikle momentlerin günlük verilerden tahmin edildiği durumda çarpıklık ve basıklığın portföy optimizasyonuna dâhil edilmesinin Borsa İstanbul'daki risk–getiri profilini iyileştirebileceğine işaret etmektedir. Yüksek frekanslı portföylerde HF-MVSK-5min stratejisi, yıllıklandırılmış getiri, risk düzeltilmiş performans ve maksimum kayıp bakımından HF-MV-5min stratejisinden daha iyi sonuç vermiştir. Bu durum, gün içi verilerden elde edilen gerçekleşmiş yüksek momentlerin varyans temelli bilginin ötesinde aşağı yönlü risk kontrolüne ve portföy tahsisine katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte yüksek frekanslı MVSK portföyü, örneklem dışı çarpıklık ve basıklık bakımından daha üstün bir dağılımsal profil oluşturmamıştır. Çarpıklığı Daily-MVSK portföyünden daha negatif, basıklığı ise daha yüksektir. Dolayısıyla yüksek frekanslı gerçekleşmiş yüksek momentlerin günlük örneklem dışı dağılım özelliklerine otomatik olarak daha olumlu biçimde yansımadağı anlaşılmaktadır. Blok bootstrap testlerinde getiri farklarının yüzde 5 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olmaması, Daily-MVSK portföyünün üstünlüğünün kesin istatistiksel hâkimiyetten ziyade incelenen döneme özgü ekonomik açıdan anlamlı bir performans farkı olarak yorumlanmasını gerektirmektedir. 30 dakikalık yüksek frekanslı getiriler ve alternatif yüzde 20 ağırlık sınırıyla gerçekleştirilen sağlamlık analizleri, bulguların örnekleme frekansına ve portföy yoğunlaşma kısıtlarına duyarlı olduğunu göstermektedir.

Çalışma, yüksek momentli portföy optimizasyonunun Borsa İstanbul açısından uygulamaya dönük önem taşıdığı ve yüksek frekanslı gerçekleşmiş yüksek moment bilgisinin gelişmekte olan piyasalardaki portföy tahsisine koşullu bir katkı sunduğu sonucuna ulaşmaktadır. En güçlü kanıt günlük veriye dayalı MVSK portföyü için elde edilirken, yüksek frekanslı MVSK stratejisi özellikle yüksek frekanslı ortalama–varyans portföyüyle karşılaştırıldığında yararlı olmaktadır. Bulgular, yatırımcıların ve portföy yöneticilerinin yüksek

frekanslı verileri yalnızca varyans ve kovaryans tahminleri üzerinden değil; dağılımsal risk ölçütleri, işlem maliyetleri, maksimum kayıp ve portföy yoğunlaşmasıyla birlikte değerlendirmeleri gerektiğini göstermektedir. Gelecek çalışmalar daha geniş pay senedi evrenleri, alternatif örnekleme aralıkları, mikro yapı gürültüsüne dayanıklı gerçekleşmiş moment tahmincileri, doğrudan eş-çarpıklık ve eş-basıklık ölçüleri ile farklı çok amaçlı optimizasyon yöntemlerini kullanabilir.

Anahtar Kelimeler: Finans, gelişmekte olan piyasalar, Borsa İstanbul, yüksek frekanslı veri, gerçekleşmiş yüksek momentler, portföy optimizasyonu.

www.turkishstudies.net/economy**Turkish Studies - Economics, Finance, Politics**

eISSN: 2667-5625



High-Frequency Realized Higher Moments and Portfolio Optimization in an Emerging Equity Market: Evidence from Borsa Istanbul

Introduction and Literature Review

The mean–variance approach, which constitutes the foundation of modern portfolio theory, defines portfolio selection as a trade-off between expected return and variance-based risk (Markowitz, 1952). Although this approach still occupies a central position in the finance literature, it rests on stronger theoretical grounds when returns are normally distributed or when investor preferences can be adequately represented by the first two moments. However, financial asset returns often exhibit non-normal characteristics such as asymmetry, fat tails, volatility clustering, and excess kurtosis. Extreme price movements observed particularly during financial crises indicate that variance alone may be insufficient to capture all dimensions of risk. Accordingly, two portfolios with the same variance may have substantially different risk profiles in terms of skewness and tail risk. This suggests that risk measurement based solely on variance may be restrictive in portfolio optimization and that higher-order moments should also be taken into account.

This limitation has led to the development of portfolio selection models that incorporate higher moments such as skewness and kurtosis. Lai (1991) is among the early studies that treat the mean–variance–skewness framework as a multi-objective portfolio selection problem. Chunhachinda et al. (1997) show that investors in international equity markets prefer positive skewness and that skewness can significantly alter optimal portfolio compositions. Subsequently, Jondeau and Rockinger (2006), Harvey et al. (2010), and Martellini and Ziemann (2010) emphasize that skewness and kurtosis may affect optimal portfolio allocation, particularly under non-normal return distributions; however, they also stress that higher-moment and co-moment estimates must be obtained carefully for this effect to be identified reliably.

The literature on higher-moment portfolio optimization employs different methodological approaches. Utility-based models combine return, variance, skewness, and kurtosis within a single objective function based on Taylor expansions of investors' utility functions. In contrast, multi-objective optimization and goal programming approaches treat these moments as separate targets and define portfolio selection as a problem of balancing multiple conflicting objectives. This second approach is particularly suitable for the nature of higher-moment portfolio selection, because investors seek to increase return and positive skewness while reducing variance and kurtosis. In their comprehensive review of the higher-moment portfolio selection literature, Mandal and Thakur (2024) show that models in this field differ substantially in terms of the moment structure employed, the number of objectives, the types of constraints, solution techniques, and application markets.

Higher-moment portfolio optimization has also been applied in different markets. Chunhachinda et al. (1997) examine the role of skewness in portfolio selection in the United States, Japan, and developed international markets, while Davies et al. (2009) employ a multi-objective

higher-moment optimization approach for hedge fund portfolios. Mhiri and Prigent (2010) investigate the role of higher moments in international portfolio optimization, whereas Naqvi et al. (2017) apply the mean–variance–skewness–kurtosis approach to the Pakistan equity market and show that higher moments can alter the optimal portfolio composition. Khan et al. (2020) examine the use of higher moments within a sustainable portfolio optimization framework in emerging Asian markets. Among studies on European markets, Glawischnig and Seidl (2013) emphasize the importance of higher-moment portfolio optimization under serially correlated, skewed, and fat-tailed index returns. Proelss and Schweizer (2014), in turn, analyze the implicit higher-moment preferences of U.S. institutional investors in hedge fund selection within a polynomial goal programming framework. These studies indicate that investors consider not only volatility but also the asymmetric and tail-related characteristics of return distributions.

Studies on the Turkish market are more limited. Kemalbay et al. (2011) apply higher-moment portfolio optimization to the ISE-30 index using the polynomial goal programming approach and show that skewness and kurtosis can affect the optimal portfolio structure. Aracıoğlu et al. (2011) examine the mean–variance–skewness–kurtosis approach for the Istanbul Stock Exchange and investigate the effects of higher moments on portfolio distributional characteristics. Usta and Kantar (2011) develop a multi-objective portfolio selection model within a mean–variance–skewness–entropy framework, demonstrating that return, risk, asymmetry, and diversification characteristics can be jointly considered in portfolio optimization. However, these studies on Borsa Istanbul are largely based on daily data. Therefore, although a literature on higher-moment portfolio optimization exists for Borsa Istanbul, the contribution of realized higher moments extracted from high-frequency data to portfolio optimization remains insufficiently explored.

One of the main challenges in higher-moment portfolio optimization is the reliable estimation of quantities such as skewness, kurtosis, coskewness, and cokurtosis. Higher-moment estimates obtained from daily data may be unstable due to a limited number of observations, sampling error, and market regime shifts. At this point, high-frequency financial data provide a richer information set for realized moment estimation by capturing the intraday dynamics of return distributions in greater detail. The realized volatility literature developed by Andersen et al. (2001, 2003) and Barndorff-Nielsen and Shephard (2002) shows that intraday returns contain more information than daily closing returns in estimating variance and covariance. Later, realized skewness and realized kurtosis measures were developed; Neuberger (2012) and Amaya et al. (2015) show that realized skewness calculated from intraday data contains information about the asymmetric structure of return distributions and future return behavior.

Studies that directly link high-frequency realized higher moments to portfolio optimization are still quite limited. In this context, Buckle et al. (2016) is one of the pioneering studies that derive realized covariance, skewness, and kurtosis measures from tick-by-tick data and link them to higher-moment portfolio selection. The study shows that realized higher moments can better characterize downside risk and tail risk, particularly during crisis periods. Therefore, high-frequency data may have potential informational value not only for variance and covariance estimation but also for tail-aware portfolio allocation that is sensitive to skewness and kurtosis.

Emerging equity markets are characterized not only by high return potential but also by more pronounced volatility, liquidity differences, abrupt price movements, institutional transformations, and sensitivity to global capital flows. In these markets, return distributions often deviate more strongly from normality, making asymmetry, fat tails, and downside risk more visible for portfolio allocation. Therefore, in emerging markets, portfolio optimization should be evaluated not only through mean and variance but also through higher moments such as skewness and kurtosis. Borsa Istanbul provides a suitable emerging-market setting for testing the contribution of high-frequency

realized higher moments to portfolio optimization, given the presence of liquid large-cap stocks as well as periods of high volatility and macro-financial uncertainty.

Recent studies on emerging markets show that volatility transmission, risk connectedness, and data frequency can have important implications for portfolio management. Molina-Muñoz et al. (2025) demonstrate that volatility transmission between emerging-market energy and financial indices may vary depending on the data frequency used and crisis periods, while Asl et al. (2024) show that volatility connectedness can produce time-varying and quantile-dependent implications for portfolio management. Similarly, Sahoo (2024), who examines volatility spillovers between emerging and developed market sectors, shows that cross-sector spillover effects should be considered in portfolio diversification and hedging decisions. These studies support the view that risk measurement and portfolio allocation decisions in emerging markets should be evaluated by considering market conditions, frequency choice, and distributional characteristics.

The main objective of this study is to examine whether high-frequency data and realized higher-moment information contribute separately and jointly to portfolio optimization in Borsa Istanbul. To this end, using the equally weighted portfolio as a benchmark, the study compares daily-data-based mean–variance and mean–variance–skewness–kurtosis portfolios with their counterparts constructed from 5-minute high-frequency data. The portfolios are constructed within a polynomial goal programming framework, which is consistent with the multi-objective nature of higher-moment portfolio selection. Thus, the study directly tests not only whether high-frequency data contribute to variance-based risk estimation, but also whether skewness and kurtosis information extracted from intraday data provides additional information for portfolio allocation. The original contribution of the study lies in its use of high-frequency realized skewness and realized kurtosis measures in the Borsa Istanbul context not merely as descriptive risk indicators, but directly as inputs in a multi-objective portfolio optimization framework. This contribution is important because previous studies on Borsa Istanbul have mainly relied on daily data and have not directly examined whether intraday realized higher moments improve out-of-sample portfolio allocation. The study therefore bridges the higher-moment portfolio optimization literature and the realized high-frequency moment literature in an emerging-market setting. In this respect, the study contributes to the literature on the extent to which high-frequency moment information provides a generalizable and practically applicable information set for portfolio management in emerging equity markets. It also offers practical implications for portfolio managers, institutional investors, and market regulators under liquidity constraints, market microstructure effects, and non-normal return distributions.

Data and Methodology

This study uses 11 highly liquid stocks traded on Borsa Istanbul: AKBNK, ASELS, BIMAS, EREGL, GARAN, ISCTR, KCHOL, SAHOL, TCELL, THYAO, and TUPRS. The stock universe is restricted to liquid equities because trading continuity and the frequency of price updates are critical for realized moment estimates computed using high-frequency data. Sparse trading and irregular price formation observed in less liquid stocks may weaken the reliability of variance, skewness, and kurtosis estimates derived from intraday return distributions.

The out-of-sample performance period of the study covers January 2018–December 2025, thereby providing an eight-year investment evaluation window. December 2017 data are used as the initial in-sample estimation period to construct the first portfolio weights. Two different data frequencies are employed in the study: daily closing returns and 5-minute intraday returns. Daily returns are used to construct portfolio models based on the conventional data frequency, whereas 5-minute returns are used to construct portfolio models based on high-frequency realized moment information. In the high-frequency analysis, the 5-minute sampling interval is used as the main intraday frequency because it is commonly employed in the high-frequency finance literature as a practical compromise between preserving intraday information and limiting market microstructure

noise. However, this choice is not assumed to be universally optimal. For this reason, the robustness analysis also reconstructs the high-frequency portfolios using 30-minute intraday returns to examine whether the findings are sensitive to the sampling frequency.

All returns are calculated as logarithmic returns:

$$r_{i,t} = \ln(P_{i,t}) - \ln(P_{i,t-1}),$$

where $P_{i,t}$ denotes the price of stock i at time t , and $r_{i,t}$ denotes the corresponding logarithmic return. In the daily models, t refers to trading days, whereas in the high-frequency models it refers to 5-minute intraday intervals. Daily closing prices are derived from the closing price observed in the final 5-minute interval of each trading day. During the data preprocessing stage, missing observations, non-trading intervals, abnormal data errors, half trading days, and market interruptions that may compromise data integrity are checked. In the high-frequency dataset, a balanced intraday panel is constructed based on common trading intervals across all stocks.

The empirical design of the study is based on a monthly rolling out-of-sample framework. At the beginning of each month, portfolio weights for the relevant model are estimated using the daily or 5-minute returns from the previous month, and these weights are held constant throughout the following month. Thus, for each month, the preceding month serves as the in-sample estimation period, while the following month is used as the out-of-sample investment period. This structure makes it possible to test whether high-frequency data capture short-term distributional information more effectively than daily data.

Table 1 classifies the five main portfolio strategies constructed in the study according to data frequency and optimization approach. In this framework, the equally weighted portfolio (EW) is used as a model-free benchmark. The portfolios based on daily returns consist of the Daily-MV portfolio, constructed using mean–variance optimization, and the Daily-MVSK portfolio, constructed using mean–variance–skewness–kurtosis optimization. The high-frequency portfolios are defined as the mean–variance portfolio constructed using 5-minute intraday returns (HF-MV-5min) and the mean–variance–skewness–kurtosis portfolio (HF-MVSK-5min). This classification allows the contribution of higher moments within the daily-data framework, the effect of high-frequency data within the mean–variance model, and the additional contribution of high-frequency realized higher-moment information to MVSK optimization to be evaluated separately.

Table 1. Classification of Portfolio Strategies by Data Frequency and Optimization Approach

Portfolio	Data	Optimization approach
EW	Daily return	Monthly rebalanced equally weighted portfolio
Daily-MV	Daily return	PGP-based mean–variance optimization
Daily-MVSK	Daily return	PGP-based mean–variance–skewness–kurtosis optimization
HF-MV-5min	5-minute return	PGP-based mean–variance optimization
HF-MVSK-5min	5-minute return	PGP-based mean–variance–skewness–kurtosis optimization

For each candidate weight vector, the portfolio return is calculated as follows:

$$r_{p,t} = \sum_{i=1}^N w_i r_{i,t},$$

where w_i denotes the portfolio weight of stock i , and N denotes the number of stocks included in the portfolio. In this study, $N = 11$. Portfolio moments are calculated at the portfolio level. Accordingly, for each candidate weight vector, the portfolio return series is constructed at the relevant data frequency, and the mean return, variance, skewness, and kurtosis are then obtained from this series. This approach reduces the dimensionality and estimation-error problems associated with

the direct estimation of coskewness and cokurtosis tensors, while also allowing the contribution of daily and high-frequency moment information at the portfolio level to be tested within a simple and practically applicable framework. The main trade-off of this approach is that it does not explicitly model cross-asset higher-order co-moment structures. However, given the short rolling estimation windows and the high-dimensional nature of coskewness and cokurtosis tensors, the portfolio-level formulation provides a more stable and practically implementable alternative.

In the high-frequency models, realized moments are calculated from 5-minute portfolio returns within each in-sample month, in line with the realized higher-moment definitions used by Neuberger (2012) and Amaya et al. (2015). Let $r_{p,m,j}$, $j = 1, \dots, M_m$, denote the 5-minute portfolio returns in month m . The portfolio-level realized variance, realized skewness, and realized kurtosis measures are defined as follows:

$$RV_{p,m} = \sum_{j=1}^{M_m} r_{p,m,j}^2,$$

$$RSK_{p,m} = \frac{\sqrt{M_m} \sum_{j=1}^{M_m} r_{p,m,j}^3}{(RV_{p,m})^{3/2}},$$

$$RKU_{p,m} = \frac{M_m \sum_{j=1}^{M_m} r_{p,m,j}^4}{(RV_{p,m})^2}.$$

Here, M_m denotes the number of 5-minute portfolio return observations in the relevant in-sample month. In these definitions, realized variance is calculated as the sum of squared intraday returns, while realized skewness and realized kurtosis are defined as the realized-variance-scaled forms of the sums of third- and fourth-order intraday returns, respectively. For portfolios constructed using daily data, the same moment-calculation procedure is applied to daily portfolio returns over the relevant in-sample period. This structure allows the Daily-MVSK and HF-MVSK portfolios to be compared within the same PGP optimization framework, but using moment inputs obtained at different data frequencies.

In this study, portfolio optimization is carried out using the polynomial goal programming approach. PGP is well suited to the multi-objective structure of higher-moment portfolio selection because expected return and skewness are intended to be increased, whereas variance and kurtosis are intended to be reduced. Therefore, portfolio selection is modeled not on the basis of preference coefficients in a single utility function, but as the minimization of normalized deviations from ideal values defined for each moment.

For each in-sample period, ideal target values are first calculated for the relevant moments. For the MVSK model, the ideal values are defined as follows:

$$\mu^* = \max_w \mu_p,$$

$$(\sigma^2)^* = \min_w \sigma_p^2,$$

$$S^* = \max_w S_p,$$

$$K^* = \min_w K_p,$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^N w_i = 1, \quad 0 \leq w_i \leq 0.30.$$

Here, μ^* denotes the maximum attainable mean portfolio return, $(\sigma^2)^*$ denotes the minimum attainable portfolio variance, S^* denotes the maximum attainable portfolio skewness, and K^* denotes the minimum attainable portfolio kurtosis. The ideal values are calculated separately under the same portfolio constraints.

The MVSK portfolio is obtained by minimizing the normalized deviations from these ideal values:

$$\begin{aligned} \min_w \quad & \left(\frac{\mu^* - \mu_p}{|\mu^*| + \varepsilon} \right)^\alpha + \left(\frac{\sigma_p^2 - (\sigma^2)^*}{|(\sigma^2)^*| + \varepsilon} \right)^\beta + \left(\frac{S^* - S_p}{|S^*| + \varepsilon} \right)^\gamma + \left(\frac{K_p - K^*}{|K^*| + \varepsilon} \right)^\delta \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^N w_i = 1, \\ & 0 \leq w_i \leq 0.30, \quad i = 1, \dots, N. \end{aligned}$$

Here, ε is a small positive constant used to prevent the denominator from approaching zero. The parameters α , β , γ , and δ represent the relative importance assigned to deviations from the return, variance, skewness, and kurtosis targets, respectively. In the main analysis, all target deviations are treated as having equal priority, and $\alpha = \beta = \gamma = \delta = 1$. Equal priority weights are used to avoid imposing an ex ante preference hierarchy among the four moment targets. This neutral benchmark specification assigns equal importance to each target in terms of relative deviation and allows the comparison between daily and high-frequency strategies to focus on the role of data frequency and moment information rather than on subjective preference parameters.

Mean–variance portfolios are constructed as a two-objective special case of the same PGP framework. In these models, only the expected return and variance targets are taken into account. First, μ^* and $(\sigma^2)^*$ are calculated under the same constraints, and the portfolio is then obtained by solving the following problem:

$$\begin{aligned} \min_w \quad & \left(\frac{\mu^* - \mu_p}{|\mu^*| + \varepsilon} \right)^\alpha + \left(\frac{\sigma_p^2 - (\sigma^2)^*}{|(\sigma^2)^*| + \varepsilon} \right)^\beta \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^N w_i = 1, \\ & 0 \leq w_i \leq 0.30, \quad i = 1, \dots, N. \end{aligned}$$

In the main analysis, $\alpha = \beta = 1$ is also used for the mean–variance portfolios. Accordingly, the Daily-MV, Daily-MVSK, HF-MV-5min, and HF-MVSK-5min portfolios are compared within the same multi-objective optimization framework. This approach ensures that the model comparison is based solely on the moment set used and the data frequency.

Short selling is not allowed in any of the optimization models. The portfolio weights are constrained to sum to one, and the weight of any individual stock is capped at 30%. The 30% weight cap prevents excessive concentration in a single stock while allowing the optimization models sufficient flexibility to generate meaningful differences in portfolio weights according to data frequency and moment information. In the equally weighted portfolio, each stock is assigned a

weight of $1/N$, and this portfolio is also rebalanced monthly in the same manner as the other strategies.

Transaction costs are also taken into account to evaluate the practical implementability of the portfolios. During monthly rebalancing, portfolio turnover is calculated as follows:

$$TO_m = \sum_{i=1}^N |w_i^{(m)} - \tilde{w}_i^{(m-1)}|,$$

where TO_m denotes monthly portfolio turnover, $w_i^{(m)}$ denotes the new target portfolio weight at the beginning of month m , and $\tilde{w}_i^{(m-1)}$ denotes the portfolio weight formed at the end of the previous month as a result of price movements. The net portfolio return is calculated after deducting transaction costs as follows:

$$R_{p,m}^{net} = R_{p,m}^{gross} - c \times TO_m,$$

where c denotes the transaction cost rate. In the empirical application, the transaction cost rate is set to $c = 0.001$. This rate represents a 0.10% transaction cost applied to the portfolio turnover realized during monthly rebalancing. This structure allows us to evaluate whether the potential performance advantages of optimization-based portfolios persist after higher portfolio turnover and transaction costs are taken into account.

Out-of-sample portfolio performance is evaluated using daily portfolio returns for all strategies. The Turkish two-year benchmark government bond yield is used as the risk-free rate in the calculation of risk-adjusted performance measures. Since interest rates changed substantially over the January 2018–December 2025 period, the study uses a time-varying risk-free return series rather than a fixed period average. For this purpose, the annual two-year benchmark government bond yield for the relevant month is converted into its daily equivalent and subtracted from portfolio returns when calculating the Sharpe, Sortino, and modified Sharpe ratios. Thus, the risk-adjusted performance measures are calculated in a way that more accurately reflects the prevailing market conditions during the portfolio evaluation period.

Findings

This section compares the out-of-sample performance of the portfolio strategies constructed over the January 2018–December 2025 period. The portfolios are formed within a monthly rolling framework using data from the previous month and are held constant throughout the following month. The performance evaluation considers net annualized return, annualized volatility, risk-adjusted performance measures, maximum drawdown, and the higher-moment characteristics of the portfolio return distribution. The Sharpe, modified Sharpe, and Sortino ratios are calculated using the time-varying daily risk-free return series derived from the Turkish two-year benchmark government bond yield.

Table 2. Out-of-Sample Portfolio Performance Results for January 2018–December 2025

Strategy	EW	Daily-MV	Daily-MVSK	HF-MV-5min	HF-MVSK-5min
Annualized Return	32.34%	32.35%	34.97%	28.28%	33.16%
Annualized Volatility	29.14%	28.84%	29.16%	29.48%	29.58%
Sharpe Ratio	0.4535	0.4555	0.5226	0.3429	0.4728
Modified Sharpe R.	0.2842	0.2859	0.3309	0.2134	0.2950
Sortino Ratio	0.6390	0.6418	0.7432	0.4799	0.6666
Max Drawdown	-33.53%	-31.49%	-31.01%	-31.90%	-28.63%
Skewness	-0.4220	-0.4373	-0.3267	-0.5055	-0.5062
Kurtosis	7.6847	8.0111	7.0366	8.6213	8.4395

Note: Annualized return, Sharpe, modified Sharpe, Sortino, and maximum drawdown values are calculated based on net portfolio returns after transaction costs.

Table 2 reports the out-of-sample performance results of the portfolio strategies compared over the January 2018–December 2025 period. In terms of returns, the highest annualized return is obtained from the Daily-MVSK portfolio, at 34.97%. This is followed by HF-MVSK-5min at 33.16%, Daily-MV at 32.35%, and the EW portfolio at 32.34%. The HF-MV-5min portfolio generates the lowest annualized return, at 28.28%. This finding indicates that, over the sample period, incorporating skewness and kurtosis into the optimization is associated with higher returns than the corresponding mean–variance portfolios in both the daily and high-frequency data frameworks.

In terms of risk, annualized volatility values are quite similar across strategies. The lowest volatility is observed for the Daily-MV portfolio, at 28.84%, followed by EW at 29.14% and Daily-MVSK at 29.16%. Volatility is slightly higher for the high-frequency portfolios, reaching 29.48% for HF-MV-5min and 29.58% for HF-MVSK-5min. Therefore, the higher return generated by Daily-MVSK is not achieved by taking on substantially higher volatility; its volatility level remains very close to those of the Daily-MV and EW portfolios.

Risk-adjusted performance measures also show that the Daily-MVSK portfolio stands out in terms of its out-of-sample risk–return profile. Daily-MVSK produces the highest values among all strategies, with a Sharpe ratio of 0.5226, a modified Sharpe ratio of 0.3309, and a Sortino ratio of 0.7432. The HF-MVSK-5min portfolio achieves the highest risk-adjusted performance among the high-frequency strategies, with a Sharpe ratio of 0.4728, a modified Sharpe ratio of 0.2950, and a Sortino ratio of 0.6666. In particular, the increase in the Sharpe ratio from 0.3429 to 0.4728 and in the Sortino ratio from 0.4799 to 0.6666 relative to HF-MV-5min indicates that adding higher moments to portfolios constructed using 5-minute data is positively associated with risk-adjusted performance.

In terms of maximum drawdown, the best result is obtained from the HF-MVSK-5min portfolio, at -28.63%. The maximum drawdown of the Daily-MVSK portfolio is -31.01%, indicating a more limited loss profile than those of Daily-MV (-31.49%) and EW (-33.53%). The reduction in maximum drawdown from -31.90% for HF-MV-5min to -28.63% for HF-MVSK-5min suggests that the high-frequency MVSK approach may contribute particularly to limiting downside risk.

The distributional characteristics show that all portfolios exhibit negative skewness and high kurtosis. However, Daily-MVSK has the least negative skewness value, at -0.3267, and the lowest kurtosis value, at 7.0366. This result indicates that the daily-data-based MVSK portfolio provides a more balanced structure not only in terms of return and risk-adjusted performance, but also in terms of the asymmetry and tail characteristics of the portfolio return distribution. By contrast, the HF-MVSK-5min portfolio has a skewness value of -0.5062 and a kurtosis value of 8.4395, which are weaker than those of both the Daily-MVSK and EW portfolios. Thus, although the HF-MVSK-5min portfolio provides clear improvements over HF-MV-5min in terms of return and maximum

drawdown, it does not produce the expected improvement in the out-of-sample skewness and kurtosis profile. This suggests that higher-moment estimates derived from 5-minute intraday returns may not always provide a stable signal for the asymmetry and tail characteristics of daily out-of-sample portfolio returns.

Overall, Table 2 shows that incorporating higher moments into portfolio optimization can provide certain performance gains in both daily and high-frequency data frameworks. However, the nature of this contribution differs by data frequency. During the period examined, the strongest overall performance comes from the Daily-MVSK portfolio, whereas the contribution of HF-MVSK-5min is more evident in terms of return, risk-adjusted performance, and maximum drawdown relative to the high-frequency mean–variance portfolio. By contrast, the skewness and kurtosis results for HF-MVSK-5min indicate that high-frequency realized higher-moment information may not translate directly and consistently into daily out-of-sample distributional characteristics.

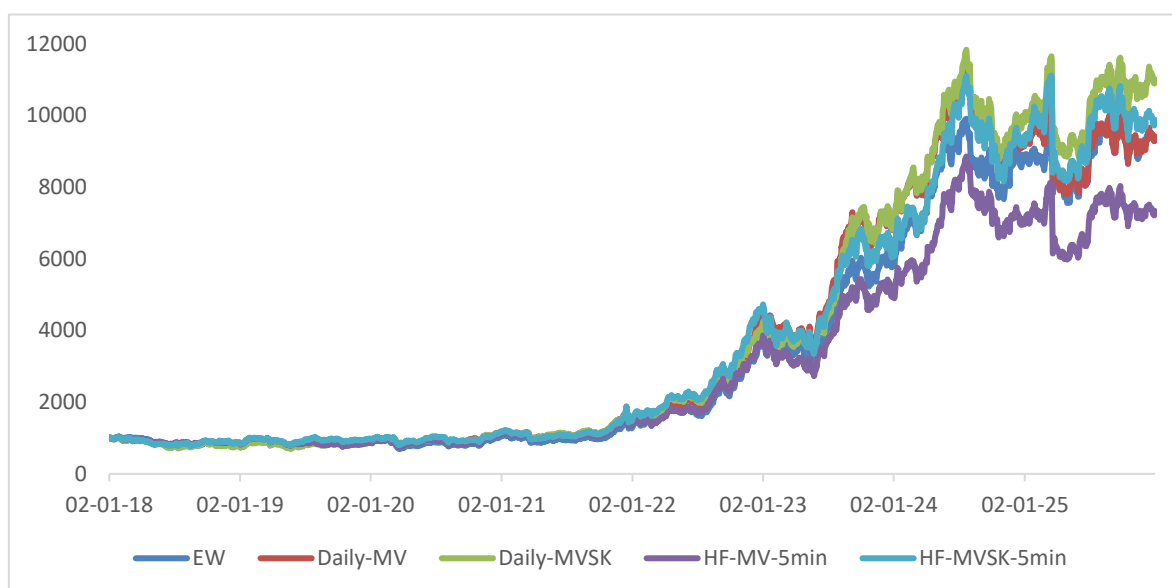


Figure 1. Cumulative Portfolio Value of an Initial TRY 1,000 Investment over January 2018–December 2025

Figure 1 shows the cumulative value development of a TRY 1,000 investment allocated to each portfolio strategy at the beginning of January 2018 through the end of December 2025. Although all strategies exhibit a substantial increase in value, particularly after 2022, the Daily-MVSK strategy reaches the highest terminal portfolio value at the end of the period; under this strategy, the initial TRY 1,000 investment rises to TRY 11,010.06. The HF-MVSK-5min portfolio produces the best result among the high-frequency strategies, ending at TRY 9,886.26 and closing above both the EW and Daily-MV portfolios. By contrast, the HF-MV-5min strategy has the lowest terminal value, at TRY 7,334.79. This finding indicates that high-frequency data alone do not provide superior performance within the mean–variance framework; however, high-frequency portfolio performance improves substantially when skewness and kurtosis are incorporated into the optimization. Nevertheless, in terms of overall cumulative value, the strongest strategy is the daily-data-based MVSK portfolio.

Table 3. Portfolio Concentration: HHI and Effective Number of Stocks

Strategy	Average HHI	Min HHI	Max HHI	Average Effective N	Min Effective N	Max Effective N
EW	0.0909	0.0909	0.0909	11.0000	11.0000	11.0000
Daily-MV	0.1894	0.1298	0.2206	5.3411	4.5329	7.7015
Daily-MVSK	0.1870	0.1290	0.2249	5.4263	4.4473	7.7517
HF-MV-5min	0.1861	0.1378	0.2206	5.4340	4.5329	7.2561
HF-MVSK-5min	0.1946	0.1390	0.2265	5.1698	4.4146	7.1942

Note: The Herfindahl–Hirschman Index (HHI) is a concentration measure calculated as the sum of squared portfolio weights; higher values indicate that the portfolio is less diversified and more concentrated.

Table 3 reports the degree of concentration in the weight distributions of the portfolio strategies using the HHI and the effective number of stocks. As expected, the equally weighted portfolio represents a fully diversified benchmark portfolio structure, with an HHI value of 0.0909 and an effective number of 11 stocks. For the optimization-based portfolios, average HHI values range from 0.1861 to 0.1946, while the average effective number of stocks is approximately between 5.17 and 5.43. This result indicates that PGP-based portfolios generate more concentrated weight structures than the equally weighted portfolio, although the 30% maximum weight cap prevents excessive single-stock concentration. The HF-MVSK-5min portfolio has the highest average HHI and the lowest average effective number of stocks, suggesting that the high-frequency MVSK approach produces a somewhat more concentrated portfolio structure compared with the other optimized portfolios.

Table 4. Portfolio Turnover and Transaction Cost Effects

Strategy	Average Monthly Turnover	Median Monthly Turnover	Annualized Turnover	Cost Impact
EW	5.72%	5.33%	68.61%	0.11 p.p.
Daily-MV	89.31%	95.60%	1071.68%	1.42 p.p.
Daily-MVSK	101.67%	102.04%	1219.99%	1.65 p.p.
HF-MV-5min	96.76%	97.51%	1161.17%	1.49 p.p.
HF-MVSK-5min	94.00%	101.88%	1128.02%	1.50 p.p.

Note: Average monthly turnover and median monthly turnover are calculated over monthly rebalancing periods, excluding the initial portfolio formation month. Annualized turnover denotes the annualized value of the average monthly rebalancing turnover. Cost impact is expressed in percentage points and represents the difference between gross annualized return and net annualized return after transaction costs.

Table 4 presents the rebalancing intensity of the portfolio strategies and the effect of transaction costs on annualized returns. Although the equally weighted portfolio is rebalanced monthly, it has the lowest average turnover; the average monthly turnover of the EW portfolio is 5.72%, and the transaction cost impact is only 0.11 percentage points. By contrast, turnover is substantially higher for optimization-based portfolios. The average monthly turnover of the Daily-MV, Daily-MVSK, HF-MV-5min, and HF-MVSK-5min portfolios ranges approximately between 89% and 102%. This indicates that the monthly rolling optimization structure leads to substantial changes in portfolio weights. However, the high annualized turnover of optimization-based portfolios also suggests that actual implementation costs may exceed the fixed 0.1% transaction cost assumption if dynamic slippage, bid–ask spreads, and market impact costs are taken into account.

Although the transaction cost impact is higher for the optimized portfolios, its effect on annualized returns remains limited. Despite having the highest transaction cost impact, the Daily-MVSK portfolio has a cost impact of 1.65 percentage points and continues to stand out in terms of its risk–return profile after the performance results reported in Table 2. Therefore, the turnover analysis shows that optimization-based portfolios require greater trading intensity; however, the main performance comparisons account for this effect by relying on net returns after transaction costs.

Table 5. Pairwise Block Bootstrap p-Values for Return and Volatility Differences

Return	EW	Daily-MV	Daily-MVSK	HF-MV-5min	HF-MVSK-5min
EW	—	0.9952	0.5752	0.3576	0.8708
Daily-MV	0.9952	—	0.4896	0.2656	0.8684
Daily-MVSK	0.5752	0.4896	—	0.1308	0.6792
HF-MV-5min	0.3576	0.2656	0.1308	—	0.2068
HF-MVSK-5min	0.8708	0.8684	0.6792	0.2068	—
Volatility	EW	Daily-MV	Daily-MVSK	HF-MV-5min	HF-MVSK-5min
EW	—	0.4084	0.9356	0.3616	0.2808
Daily-MV	0.4084	—	0.3180	0.0168*	0.0512
Daily-MVSK	0.9356	0.3180	—	0.5008	0.4500
HF-MV-5min	0.3616	0.0168	0.5008	—	0.7188
HF-MVSK-5min	0.2808	0.0512	0.4500	0.7188	—

Note: The values in the table report two-sided p-values calculated using a block bootstrap procedure with 5,000 replications and a block length of 20 trading days for pairwise differences between portfolio strategies. “*” indicates a statistically significant difference at the 5% level.

Table 5 presents the results of the pairwise block bootstrap tests conducted to evaluate the statistical significance of return and volatility differences between portfolio strategies. In the return panel, all p-values are above the 5% significance level. This finding indicates that, although the Daily-MVSK portfolio generates the highest annualized return in Table 2, the return differences between the strategies do not differ at a statistically significant level. Therefore, the findings regarding return performance should be interpreted as out-of-sample performance differences observed during the sample period. Nevertheless, the economic magnitude of the performance differences remains relevant from an investment perspective. The Daily-MVSK portfolio generates the highest annualized return and risk-adjusted performance measures after transaction costs, while maintaining volatility close to the benchmark and daily mean–variance portfolios. Therefore, although the bootstrap results do not establish statistically conclusive dominance, the observed economic performance supports the practical relevance of the MVSK strategy during the sample period.

In the volatility panel, only the difference between Daily-MV and HF-MV-5min is statistically significant at the 5% level. This result indicates that the high-frequency mean–variance portfolio produces a volatility profile that differs from that of the daily mean–variance portfolio. By contrast, no statistically significant difference is observed in the other volatility comparisons. Overall, the results in Table 5 show that although some strategies stand out in terms of their risk–return profiles in Table 2, most of these differences are not strongly supported statistically. Therefore, the portfolio performance findings should be interpreted cautiously, taking into account both economic magnitudes and statistical significance results.

Robustness and Sensitivity Analyses

Two additional analyses are conducted to assess whether the main findings are sensitive to specific modeling choices. First, the high-frequency portfolios are reconstructed using 30-minute intraday returns, and the results are compared with those obtained from the 5-minute high-frequency portfolios. Second, to evaluate the effect of the portfolio concentration constraint on the findings, alternative portfolios are calculated by setting the maximum individual stock weight to 20%.

Table 6. Comparison of 5-Minute and 30-Minute Frequencies in High-Frequency Portfolios

Strategy	Annualized Return	Annualized Volatility	Sharpe Ratio	Sortino Ratio	Max Drawdown	Skewness	Kurtosis
HF-MV-5min	28.28%	29.48%	0.3429	0.4799	-31.90%	-0.5055	8.6213
HF-MV-30min	25.92%	29.19%	0.2779	0.3849	-31.59%	-0.6387	9.8206
HF-MVSK-5min	33.16%	29.58%	0.4728	0.6666	-28.63%	-0.5062	8.4395
HF-MVSK-30min	34.42%	29.23%	0.5082	0.7130	-29.93%	-0.5671	9.1650

Table 6 compares the performance results of high-frequency portfolios constructed using 5-minute and 30-minute intraday returns. For the mean–variance portfolios, the HF-MV-5min portfolio produces stronger results than the HF-MV-30min portfolio, with an annualized return of 28.28% and a Sharpe ratio of 0.3429. The HF-MV-30min portfolio has an annualized return of 25.92% and a Sharpe ratio of 0.2779. Although the volatility values of the two models are quite close, the skewness and kurtosis values of the HF-MV-30min portfolio are weaker. While the HF-MV-5min portfolio has a skewness of -0.5055 and a kurtosis of 8.6213, these values are -0.6387 and 9.8206, respectively, for the HF-MV-30min portfolio. This result indicates that, within the mean–variance framework, the 30-minute sampling frequency neither improves return and risk-adjusted performance nor produces a more favorable out-of-sample distributional profile.

For the MVSK portfolios, the results are more mixed. The HF-MVSK-30min portfolio provides a somewhat stronger risk–return profile than the HF-MVSK-5min portfolio, with an annualized return of 34.42%, a Sharpe ratio of 0.5082, and a Sortino ratio of 0.7130. For the HF-MVSK-5min portfolio, these values are 33.16%, 0.4728, and 0.6666, respectively. By contrast, the HF-MVSK-5min portfolio is more favorable in terms of maximum drawdown; its maximum drawdown is -28.63%, compared with -29.93% for the HF-MVSK-30min portfolio. The 30-minute frequency also does not provide the expected improvement in distributional moments. While the skewness and kurtosis values of the HF-MVSK-5min portfolio are -0.5062 and 8.4395, respectively, these values deteriorate to -0.5671 and 9.1650 for the HF-MVSK-30min portfolio. Therefore, although the 30-minute sampling frequency improves return and risk-adjusted performance in the MVSK portfolio, it does not produce a better out-of-sample distributional profile in terms of skewness and kurtosis.

Overall, Table 6 shows that the high-frequency MVSK finding is not specific only to the choice of 5-minute data, since MVSK portfolios generate higher annualized returns and better risk-adjusted performance than their corresponding mean–variance counterparts at both the 5-minute and 30-minute frequencies. However, the fact that the 30-minute frequency does not improve skewness and kurtosis values is an important finding. This result indicates that the contribution of high-frequency realized higher-moment information to portfolio optimization may be observed in measures such as return, risk-adjusted performance, and maximum drawdown, but may not be reflected directly and consistently in out-of-sample skewness and kurtosis characteristics. Thus, the frequency sensitivity analysis shows that the usefulness of high-frequency moment information depends on the sampling frequency and the performance dimension being evaluated.

Table 7. Sensitivity to the Maximum Weight Constraint: Comparison of 30% and 20% Caps

Strategy	Annualized Return (%30 cap)	Sharpe (%30 cap)	Max Drawdown (%30 cap)	Annualized Return (%20 cap)	Sharpe (%20 cap)	Max Drawdown (%20 cap)
EW	32.34%	0.4535	-33.53%	32.34%	0.4535	-33.53%
Daily-MV	32.35%	0.4555	-31.49%	34.54%	0.5278	-30.65%
Daily-MVSK	34.97%	0.5226	-31.01%	34.45%	0.5200	-28.42%
HF-MV-5min	28.28%	0.3429	-31.90%	32.70%	0.4507	-37.02%
HF-MVSK-5min	33.16%	0.4728	-28.63%	31.96%	0.4317	-32.73%

Note: The 30% weight cap refers to the portfolio concentration constraint used in the main analysis, whereas the 20% weight cap represents a stricter diversification constraint. Since the EW portfolio is equally weighted, it is not affected by changes in the weight cap.

Table 7 shows the sensitivity of the portfolio results to the maximum individual stock weight constraint. For the portfolios constructed using daily data, under the 20% cap, the annualized return of Daily-MV increases from 32.35% to 34.54%, while its Sharpe ratio rises from 0.4555 to 0.5278.

The Daily-MVSK portfolio exhibits a relatively stable performance under both weight constraints. Under the 30% cap, it generates an annualized return of 34.97% and a Sharpe ratio of 0.5226, while under the 20% cap, these values are 34.45% and 0.5200, respectively. In addition, the maximum drawdown of Daily-MVSK improves from -31.01% to -28.42% under the 20% cap, indicating a more limited loss profile.

For the high-frequency portfolios, the sensitivity to the weight cap is more pronounced. Under the 20% cap, the HF-MV-5min portfolio increases its annualized return from 28.28% to 32.70% and its Sharpe ratio from 0.3429 to 0.4507; however, its maximum drawdown deteriorates from -31.90% to -37.02%. This result indicates that a stricter weight cap does not necessarily reduce downside risk in all cases. While the 20% cap prevents the model from concentrating in specific stocks, it may also force the portfolio to allocate more weight to a larger number of stocks that decline together during crisis or stress periods. Therefore, even if greater diversification improves the average risk–return profile, it may not always produce better results for time-specific tail-risk measures such as maximum drawdown. A similar sensitivity is observed for the HF-MVSK-5min portfolio: under the 30% cap, it generates an annualized return of 33.16%, a Sharpe ratio of 0.4728, and a maximum drawdown of -28.63%, whereas under the 20% cap, these values deteriorate to 31.96%, 0.4317, and -32.73%, respectively. Overall, the findings indicate that the 30% cap prevents excessive concentration while providing sufficient flexibility to the optimization models, whereas the 20% cap may reduce model flexibility, particularly in high-frequency portfolios, and adversely affect performance and maximum drawdown.

Conclusions

This study examines the contribution of realized higher-moment information extracted from high-frequency data to portfolio optimization in Borsa Istanbul. To this end, using a portfolio universe consisting of 11 liquid BIST stocks over the January 2018–December 2025 period, the study compares an equally weighted portfolio, daily-data-based mean–variance and MVSK portfolios, and their 5-minute high-frequency-data-based mean–variance and MVSK counterparts. The portfolios are constructed within a monthly rolling out-of-sample framework using polynomial goal programming, while risk-adjusted performance measures are calculated using a time-varying risk-free return series derived from the Turkish two-year benchmark government bond yield.

The empirical findings show that the daily-data-based MVSK portfolio delivers the strongest overall performance during the sample period. The Daily-MVSK portfolio achieves the highest annualized return, Sharpe ratio, modified Sharpe ratio, and Sortino ratio. It also produces less negative skewness and lower kurtosis than the other strategies based on daily data. This result suggests that incorporating skewness and kurtosis into portfolio optimization in Borsa Istanbul may be associated with a more favorable risk–return profile compared with the traditional mean–variance approach, particularly within the daily-data framework.

For the high-frequency portfolios, the HF-MVSK-5min portfolio generates higher returns, better risk-adjusted performance, and a lower maximum drawdown than the HF-MV-5min portfolio. This finding indicates that higher-moment information derived from high-frequency data may provide certain contributions relative to a high-frequency mean–variance portfolio based only on second-moment information. In particular, the fact that the HF-MVSK-5min portfolio has the lowest maximum drawdown suggests that realized higher-moment information may be useful in limiting downside risk.

However, the high-frequency MVSK results are not equally strong across all distributional measures. The out-of-sample skewness and kurtosis values of the HF-MVSK-5min portfolio remain weaker than those of the Daily-MVSK and equally weighted portfolios. This result indicates that higher moments calculated from 5-minute intraday returns may not be reflected directly and consistently in the asymmetry and tail characteristics of daily out-of-sample portfolio returns.

Although 5-minute data provide a richer set of observations, market microstructure noise, short-term price jumps, and differences in frequency scale may create additional uncertainty, particularly in the estimation of third and fourth moments.

The statistical significance results also suggest that the findings should be interpreted cautiously. The block bootstrap tests show that return differences between the strategies are not statistically significant at the 5% level. Therefore, the superior risk–return profile of the Daily-MVSK portfolio reported in Table 2 should be interpreted as an economic and empirical performance difference observed during the sample period rather than as statistically conclusive superiority. Regarding volatility differences, only the difference between Daily-MV and HF-MV-5min is statistically significant.

Additional sensitivity analyses show that the main findings are sensitive to certain modeling choices. For high-frequency portfolios constructed using 30-minute intraday returns, the MVSK approach generates better risk-adjusted performance than its mean–variance counterparts. This finding supports the view that the high-frequency MVSK result is not specific only to the choice of 5-minute data. On the other hand, the maximum weight cap analyses show that high-frequency portfolios are particularly sensitive to the portfolio concentration constraint. While the 20% cap improves the risk–return profile of some portfolios, it increases the maximum drawdown of some high-frequency strategies. This result indicates that stricter diversification constraints do not necessarily reduce downside risk in all cases and that the choice of weight cap is an important modeling decision in portfolio optimization.

The findings of this study show that higher-moment portfolio optimization offers a meaningful application area in Borsa Istanbul, particularly within the daily-data framework, whereas high-frequency realized higher-moment information provides a more selective and conditional contribution. Overall, the results indicate that high-frequency data should be evaluated in portfolio optimization not only in terms of variance–covariance estimation, but also in terms of distributional characteristics such as skewness and kurtosis. However, the strength of this contribution depends on methodological choices such as sampling frequency, the stability of moment estimates, portfolio weight constraints, and transaction cost assumptions. These findings are consistent with the higher-moment portfolio selection literature, which emphasizes that skewness and kurtosis can affect optimal portfolio allocation when return distributions deviate from normality. In line with studies such as Lai (1991), Chunchinda et al. (1997), Jondeau and Rockinger (2006), and Harvey et al. (2010), the results show that incorporating higher moments can improve the economic risk–return profile of portfolio strategies. At the same time, the findings extend the Borsa Istanbul evidence reported by Kemalbay et al. (2011), Aracıoğlu et al. (2011), and Usta and Kantar (2011) by showing that the role of higher moments depends not only on the optimization objective but also on the data frequency used to estimate moment information. The results also complement the high-frequency realized moment literature by showing that intraday realized skewness and kurtosis may contribute to downside-risk control, although they do not necessarily dominate daily moment estimates in all performance dimensions.

These findings offer two important implications for portfolio optimization in emerging equity markets. First, in markets where non-normal return distributions and time-varying downside risk are more pronounced, incorporating higher moments into portfolio allocation may provide a more balanced risk–return profile than the traditional mean–variance approach. Second, the informational advantage of high-frequency data does not mechanically translate into every performance dimension. The contribution of realized higher-moment information may vary depending on emerging-market characteristics such as sampling frequency, market microstructure, liquidity conditions, and portfolio constraints. Therefore, when evaluating portfolio models that use

high-frequency data in emerging markets, not only mean returns and volatility but also transaction costs, maximum drawdown, and distributional moments should be considered jointly.

This study has several limitations. First, the analysis is restricted to 11 liquid BIST stocks; different portfolio universes and sectoral structures may alter the results. Expanding the universe to include less liquid stocks could also introduce stronger market microstructure noise and sparse-trading effects, potentially reducing the reliability of 5-minute realized moment estimates. Second, high-frequency moments are calculated at the portfolio level, while coskewness and cokurtosis tensors are not directly estimated. Although this choice provides an advantage in reducing estimation error over short rolling windows and keeping the method practically implementable, it does not fully model higher-order co-moment relationships across assets. Third, realized skewness and realized kurtosis measures may be sensitive to market microstructure noise and jumps. Future research may examine the generalizability of the findings by using different high-frequency sampling intervals, noise-robust realized moment estimators, alternative multi-objective optimization methods, and broader portfolio universes.



www.turkishstudies.net/economy

Turkish Studies - Economics, Finance, Politics

eISSN: 2667-5625



ANKARA SCIENCE
UNIVERSITY

Gelişmekte Olan Bir Pay Piyasasında Yüksek Frekanslı Gerçekleşmiş Yüksek Momentler ve Portföy Optimizasyonu: Borsa İstanbul Örneği

Giriş ve Literatür Taraması

Modern portföy teorisinin temelini oluşturan ortalama–varyans yaklaşımı, portföy seçimini beklenen getiri ile varyans temelli risk arasındaki bir ödünleşim olarak tanımlamaktadır (Markowitz, 1952). Bu yaklaşım finans literatüründeki merkezi konumunu korumakla birlikte, getirilerin normal dağıldığı veya yatırımcı tercihlerinin ilk iki momentle yeterli biçimde temsil edilebildiği durumlarda daha güçlü teorik temellere dayanmaktadır. Ancak finansal varlık getirileri çoğu zaman asimetri, kalın kuyruklar, volatilité kümelenmesi ve aşırı basıklık gibi normal dağılımdan sapma gösteren özellikler sergilemektedir. Özellikle finansal kriz dönemlerinde gözlenen aşırı fiyat hareketleri, riskin tüm boyutlarının yalnızca varyansla yakalanamayabileceğine işaret etmektedir. Nitekim aynı varyansa sahip iki portföy, çarpıklık ve kuyruk riski bakımından önemli ölçüde farklı risk profillerine sahip olabilir. Bu durum, yalnızca varyansa dayalı risk ölçümünün portföy optimizasyonunda sınırlayıcı olabileceğini ve yüksek dereceli momentlerin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Bu sınırlılık, çarpıklık ve basıklık gibi yüksek momentleri içeren portföy seçim modellerinin geliştirilmesine yol açmıştır. Lai (1991), ortalama–varyans–çarpıklık çerçevesini çok amaçlı bir portföy seçimi problemi olarak ele alan öncü çalışmalardan biridir. Chunhachinda vd. (1997), uluslararası pay piyasalarındaki yatırımcıların pozitif çarpıklığı tercih ettiklerini ve çarpıklığın optimal portföy bileşimlerini önemli ölçüde değiştirebildiğini göstermektedir. Daha sonra Jondeau ve Rockinger (2006), Harvey vd. (2010) ile Martellini ve Ziemann (2010), özellikle normal olmayan getiri dağılımları altında çarpıklık ve basıklığın optimal portföy tahsisini etkileyebileceğini vurgulamakta; ancak bu etkinin güvenilir biçimde belirlenebilmesi için yüksek moment ve eş-moment tahminlerinin dikkatli biçimde elde edilmesi gerektiğine de işaret etmektedir.

Yüksek momentli portföy optimizasyonu literatüründe farklı yöntemsel yaklaşımlar kullanılmaktadır. Fayda temelli modeller, yatırımcıların fayda fonksiyonlarının Taylor açılımlarına dayanarak getiri, varyans, çarpıklık ve basıklığı tek bir amaç fonksiyonu içinde birleştirmektedir. Buna karşılık çok amaçlı optimizasyon ve hedef programlama yaklaşımları, bu momentleri ayrı hedefler olarak ele almakta ve portföy seçimini birbiriyle çatışan çok sayıda amacın dengelenmesi problemi olarak tanımlamaktadır. Yatırımcıların getiri ve pozitif çarpıklığı artırmayı, varyans ve basıklığı ise azaltmayı amaçlamaları nedeniyle ikinci yaklaşım yüksek momentli portföy seçiminin doğasına özellikle uygundur. Mandal ve Thakur (2024), yüksek momentli portföy seçimi literatürüne ilişkin kapsamlı incelemelerinde, bu alandaki modellerin kullanılan moment yapısı, amaç sayısı, kısıt türleri, çözüm teknikleri ve uygulama piyasaları bakımından önemli ölçüde farklılaştığını göstermektedir.

Yüksek momentli portföy optimizasyonu farklı piyasalarda da uygulanmıştır. Chunhachinda vd. (1997), Amerika Birleşik Devletleri, Japonya ve gelişmiş uluslararası piyasalarda portföy seçiminde çarpıklığın rolünü incelerken, Davies vd. (2009) hedge fon portföyleri için çok amaçlı yüksek momentli bir optimizasyon yaklaşımı kullanmaktadır. Mhiri ve Prigent (2010) uluslararası portföy optimizasyonunda yüksek momentlerin rolünü araştırırken, Naqvi vd. (2017) ortalama–varyans–çarpıklık–basıklık yaklaşımını Pakistan pay piyasasına uygulayarak yüksek momentlerin optimal portföy bileşimini değiştirebildiğini göstermektedir. Khan vd. (2020), gelişmekte olan Asya piyasalarında sürdürülebilir portföy optimizasyonu çerçevesinde yüksek momentlerin kullanımını incelemektedir. Avrupa piyasalarına ilişkin çalışmalar arasında Glawischmig ve Seidl (2013), seri korelasyonlu, çarpık ve kalın kuyruklu endeks getirileri altında yüksek momentli portföy optimizasyonunun önemini vurgulamaktadır. Proelss ve Schweizer (2014) ise polinomial hedef programlama çerçevesinde ABD’li kurumsal yatırımcıların hedge fon seçimindeki örtük yüksek moment tercihlerini analiz etmektedir. Bu çalışmalar, yatırımcıların yalnızca volatilitayı değil, getiri dağılımlarının asimetrik ve kuyrukla ilişkili özelliklerini de dikkate aldığını göstermektedir.

Türkiye piyasasına ilişkin çalışmalar daha sınırlıdır. Kemalbay vd. (2011), polinomial hedef programlama yaklaşımını kullanarak İMKB-30 endeksine yüksek momentli portföy optimizasyonu uygulamakta ve çarpıklık ile basıklığın optimal portföy yapısını etkileyebildiğini göstermektedir. Aracıoğlu vd. (2011), İstanbul Menkul Kıymetler Borsası için ortalama–varyans–çarpıklık–basıklık yaklaşımını incelemekte ve yüksek momentlerin portföyün dağılımsal özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. Usta ve Kantar (2011) ise ortalama–varyans–çarpıklık–entropi çerçevesinde çok amaçlı bir portföy seçim modeli geliştirerek getiri, risk, asimetri ve çeşitlendirme özelliklerinin portföy optimizasyonunda birlikte ele alınabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, Borsa İstanbul üzerine yapılan bu çalışmalar büyük ölçüde günlük verilere dayanmaktadır. Dolayısıyla Borsa İstanbul için yüksek momentli portföy optimizasyonuna ilişkin bir literatür mevcut olsa da yüksek frekanslı verilerden elde edilen gerçekleşmiş yüksek momentlerin portföy optimizasyonuna katkısı yeterince incelenmemiştir.

Yüksek momentli portföy optimizasyonundaki temel güçlüklerden biri çarpıklık, basıklık, eş-çarpıklık ve eş-basıklık gibi büyüklüklerin güvenilir biçimde tahmin edilmesidir. Günlük verilerden elde edilen yüksek moment tahminleri, sınırlı gözlem sayısı, örnekleme hatası ve piyasa rejimi değişimleri nedeniyle istikrarsız olabilmektedir. Bu noktada yüksek frekanslı finansal veriler, getiri dağılımlarının gün içi dinamiklerini daha ayrıntılı biçimde yakalayarak gerçekleşmiş moment tahmini için daha zengin bir bilgi seti sunmaktadır. Andersen vd. (2001, 2003) ile Barndorff-Nielsen ve Shephard (2002) tarafından geliştirilen gerçekleşmiş volatilitate literatürü, varyans ve kovaryans tahmininde gün içi getirilerin günlük kapanış getirilerinden daha fazla bilgi içerdiğini göstermektedir. Daha sonraki çalışmalarda gerçekleşmiş çarpıklık ve gerçekleşmiş basıklık ölçüleri geliştirilmiş; Neuberger (2012) ile Amaya vd. (2015), gün içi verilerden hesaplanan gerçekleşmiş çarpıklığın getiri dağılımlarının asimetrik yapısı ve gelecekteki getiri davranışı hakkında bilgi içerdiğini ortaya koymuştur.

Yüksek frekanslı gerçekleşmiş yüksek momentleri doğrudan portföy optimizasyonu ile ilişkilendiren çalışmalar hâlen oldukça sınırlıdır. Bu bağlamda Buckle vd. (2016), işlem bazlı verilerden gerçekleşmiş kovaryans, çarpıklık ve basıklık ölçüleri türeten ve bunları yüksek momentli portföy seçimiyle ilişkilendiren öncü çalışmalardan biridir. Çalışma, gerçekleşmiş yüksek momentlerin özellikle kriz dönemlerinde aşağı yönlü riski ve kuyruk riskini daha iyi karakterize edebildiğini göstermektedir. Dolayısıyla yüksek frekanslı veriler yalnızca varyans ve kovaryans tahmini açısından değil, çarpıklık ve basıklığa duyarlı, kuyruk riskini gözeten portföy tahsisi açısından da potansiyel bir bilgi değeri taşıyabilir.

Gelişmekte olan pay piyasaları yalnızca yüksek getiri potansiyeliyle değil, aynı zamanda daha belirgin volatilitate, likidite farklılıkları, ani fiyat hareketleri, kurumsal dönüşümler ve küresel

sermaye akımlarına duyarlılıkla karakterize edilmektedir. Bu piyasalarda getiri dağılımları çoğu zaman normal dağılımdan daha güçlü biçimde sapmakta; bu da portföy tahsisi açısından asimetriyi, kalın kuyrukları ve aşağı yönlü riski daha görünür hâle getirmektedir. Bu nedenle gelişmekte olan piyasalarda portföy optimizasyonu yalnızca ortalama ve varyans üzerinden değil, çarpıklık ve basıklık gibi yüksek momentler de dikkate alınarak değerlendirilmelidir. Likit ve yüksek piyasa değerine sahip pay senetlerinin yanı sıra yüksek volatilité ve makro-finance belirsizlik dönemlerine sahip olması, Borsa İstanbul'u yüksek frekanslı gerçekleşmiş yüksek momentlerin portföy optimizasyonuna katkısını sınamak için uygun bir gelişmekte olan piyasa ortamı hâline getirmektedir.

Gelişmekte olan piyasalara ilişkin yakın tarihli çalışmalar, volatilité aktarımı, risk bağılantılılığı ve veri frekansının portföy yönetimi açısından önemli sonuçlar doğurabileceğini göstermektedir. Molina-Muñoz vd. (2025), gelişmekte olan piyasalardaki enerji ve finans endeksleri arasındaki volatilité aktarımının kullanılan veri frekansına ve kriz dönemlerine bağlı olarak değişebildiğini ortaya koyarken, Asl vd. (2024) volatilité bağılantılılığının portföy yönetimi açısından zamanla değişen ve kantele bağlı sonuçlar üretebildiğini göstermektedir. Benzer biçimde, gelişmekte olan ve gelişmiş piyasa sektörleri arasındaki volatilité yayılımlarını inceleyen Sahoo (2024), sektörler arası yayılma etkilerinin portföy çeşitlendirmesi ve korunma kararlarında dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmalar, gelişmekte olan piyasalarda risk ölçümü ve portföy tahsisi kararlarının piyasa koşulları, frekans tercihi ve dağılımsal özellikler birlikte dikkate alınarak değerlendirilmesi gerektiği görüşünü desteklemektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, yüksek frekanslı veriler ile gerçekleşmiş yüksek moment bilgisinin Borsa İstanbul'da portföy optimizasyonuna ayrı ayrı ve birlikte katkı sağlayıp sağlamadığını incelemektir. Bu amaçla, eşit ağırlıklı portföy bir karşılaştırma ölçütü olarak kullanılarak günlük verilere dayalı ortalama-varyans ve ortalama-varyans-çarpıklık-basıklık portföyleri ile 5 dakikalık yüksek frekanslı verilerden oluşturulan karşılıkları karşılaştırılmaktadır. Portföyler, yüksek momentli portföy seçiminin çok amaçlı yapısıyla uyumlu olan polinomial hedef programlama çerçevesinde oluşturulmaktadır. Böylece çalışma, yalnızca yüksek frekanslı verilerin varyans temelli risk tahminine katkı sağlayıp sağlamadığını değil, aynı zamanda gün içi verilerden elde edilen çarpıklık ve basıklık bilgisinin portföy tahsisi için ilave bilgi sağlayıp sağlamadığını da doğrudan sınamaktadır. Çalışmanın özgün katkısı, Borsa İstanbul bağlamında yüksek frekanslı gerçekleşmiş çarpıklık ve gerçekleşmiş basıklık ölçülerini yalnızca betimleyici risk göstergeleri olarak değil, doğrudan çok amaçlı bir portföy optimizasyonu çerçevesinin girdileri olarak kullanmasıdır. Bu katkı önemlidir; çünkü Borsa İstanbul üzerine önceki çalışmalar ağırlıklı olarak günlük verilere dayanmış ve gün içi gerçekleşmiş yüksek momentlerin örneklem dışı portföy tahsisini iyileştirip iyileştirmediğini doğrudan incelememiştir. Bu yönüyle çalışma, gelişmekte olan bir piyasa ortamında yüksek momentli portföy optimizasyonu literatürü ile yüksek frekanslı gerçekleşmiş moment literatürü arasında bir köprü kurmaktadır. Ayrıca yüksek frekanslı moment bilgisinin gelişmekte olan pay piyasalarında portföy yönetimi için ne ölçüde genellenebilir ve uygulamada kullanılabilir bir bilgi seti sunduğuna ilişkin literatüre katkı sağlamaktadır. Çalışma aynı zamanda likidite kısıtları, piyasa mikro yapısı etkileri ve normal olmayan getiri dağılımları altında portföy yöneticileri, kurumsal yatırımcılar ve piyasa düzenleyicileri açısından uygulamaya dönük çıkarımlar sunmaktadır.

Veri ve Yöntem

Bu çalışmada Borsa İstanbul'da işlem gören 11 yüksek likiditeli pay senedi kullanılmaktadır: AKBNK, ASELS, BIMAS, EREGL, GARAN, ISCTR, KCHOL, SAHOL, TCELL, THYAO ve TUPRS. Pay senedi evreni likit varlıklarla sınırlandırılmıştır; çünkü işlem sürekliliği ve fiyat güncelleme sıklığı, yüksek frekanslı veriler kullanılarak hesaplanan gerçekleşmiş moment tahminleri açısından kritik öneme sahiptir. Daha az likit pay senetlerinde gözlenen seyrek işlem ve düzensiz

fiyat oluşumu, gün içi getiri dağılımlarından türetilen varyans, çarpıklık ve basıklık tahminlerinin güvenilirliğini zayıflatabilir.

Çalışmanın örneklem dışı performans dönemi Ocak 2018–Aralık 2025 arasını kapsamakta ve sekiz yıllık bir yatırım değerlendirme penceresi sunmaktadır. İlk portföy ağırlıklarının oluşturulmasında Aralık 2017 verileri başlangıç örneklem içi tahmin dönemi olarak kullanılmaktadır. Çalışmada iki farklı veri frekansından yararlanılmıştır: günlük kapanış getirileri ve 5 dakikalık gün içi getiriler. Günlük getiriler geleneksel veri frekansına dayalı portföy modellerinin, 5 dakikalık getiriler ise yüksek frekanslı gerçekleşmiş moment bilgisine dayalı portföy modellerinin oluşturulmasında kullanılmaktadır. Yüksek frekanslı analizde 5 dakikalık örnekleme aralığı temel gün içi frekans olarak tercih edilmiştir; çünkü bu aralık, gün içi bilgiyi koruma ile piyasa mikro yapısı gürültüsünü sınırlama arasında uygulamada yaygın kullanılan bir denge sunmaktadır. Bununla birlikte, bu tercihin her durumda optimal olduğu varsayılmamaktadır. Bu nedenle sağlamlık analizinde bulguların örnekleme frekansına duyarlı olup olmadığını incelemek amacıyla yüksek frekanslı portföyler 30 dakikalık gün içi getiriler kullanılarak da yeniden oluşturulmuştur.

Tüm getiriler logaritmik getiri olarak hesaplanmaktadır:

$$r_{i,t} = \ln(P_{i,t}) - \ln(P_{i,t-1}),$$

Burada $P_{i,t}$ i pay senedinin t zamanındaki fiyatını; $r_{i,t}$ ise karşılık gelen logaritmik getiriyi göstermektedir. Günlük modellerde t işlem günlerini, yüksek frekanslı modellerde ise 5 dakikalık gün içi aralıkları ifade etmektedir. Günlük kapanış fiyatları, her işlem gününün son 5 dakikalık aralığında gözlenen kapanış fiyatından türetilmektedir. Veri ön işleme aşamasında veri bütünlüğünü bozabilecek eksik gözlemler, işlem yapılmayan aralıklar, olağandışı veri hataları, yarım işlem günleri ve piyasa kesintileri kontrol edilmiştir. Yüksek frekanslı veri setinde, tüm pay senetleri için ortak işlem aralıkları esas alınarak dengeli bir gün içi panel oluşturulmuştur.

Çalışmanın ampirik tasarımı aylık kayan örneklem dışı bir çerçeveye dayanmaktadır. Her ayın başında ilgili modele ait portföy ağırlıkları bir önceki ayın günlük veya 5 dakikalık getirileri kullanılarak tahmin edilmekte ve bu ağırlıklar takip eden ay boyunca sabit tutulmaktadır. Böylece her ay için önceki ay örneklem içi tahmin dönemi, sonraki ay ise örneklem dışı yatırım dönemi olarak kullanılmaktadır. Bu yapı, yüksek frekanslı verilerin kısa dönemli dağılımsal bilgiyi günlük verilere kıyasla daha etkili biçimde yakalayıp yakalamadığının sınanmasına olanak sağlamaktadır.

Tablo 1, çalışmada oluşturulan beş temel portföy stratejisini veri frekansı ve optimizasyon yaklaşımına göre sınıflandırmaktadır. Bu çerçevede eşit ağırlıklı portföy (EW), modele dayalı olmayan bir karşılaştırma ölçütü olarak kullanılmaktadır. Günlük getirilere dayalı portföyler, ortalama–varyans optimizasyonu ile oluşturulan Daily-MV portföyü ile ortalama–varyans–çarpıklık–basıklık optimizasyonu ile oluşturulan Daily-MVSK portföyünden oluşmaktadır. Yüksek frekanslı portföyler ise 5 dakikalık gün içi getiriler kullanılarak oluşturulan ortalama–varyans portföyü (HF-MV-5min) ve ortalama–varyans–çarpıklık–basıklık portföyü (HF-MVSK-5min) olarak tanımlanmaktadır. Bu sınıflandırma, günlük veri çerçevesinde yüksek momentlerin katkısının, ortalama–varyans modeli içinde yüksek frekanslı verilerin etkisinin ve yüksek frekanslı gerçekleşmiş yüksek moment bilgisinin MVSK optimizasyonuna ilave katkısının ayrı ayrı değerlendirilmesini sağlamaktadır.

Tablo 1. Portföy Stratejilerinin Veri Frekansı ve Optimizasyon Yaklaşımına Göre Sınıflandırılması

Portföy	Veri	Optimizasyon yaklaşımı
EW	Günlük getiri	Aylık yeniden dengelenen eşit ağırlıklı portföy
Daily-MV	Günlük getiri	PGP tabanlı ortalama–varyans optimizasyonu
Daily-MVSK	Günlük getiri	PGP tabanlı ortalama–varyans–çarpıklık–basıklık optimizasyonu
HF-MV-5min	5 dakikalık getiri	PGP tabanlı ortalama–varyans optimizasyonu
HF-MVSK-5min	5 dakikalık getiri	PGP tabanlı ortalama–varyans–çarpıklık–basıklık optimizasyonu

Her bir aday ağırlık vektörü için portföy getirisi aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$r_{p,t} = \sum_{i=1}^N w_i r_{i,t},$$

Burada w_i i pay senedinin portföy ağırlığını; N ise portföyde yer alan pay senedi sayısını göstermektedir. Bu çalışmada $N=11$ 'dir. Portföy momentleri portföy düzeyinde hesaplanmaktadır. Buna göre her bir aday ağırlık vektörü için ilgili veri frekansında portföy getiri serisi oluşturulmakta; ardından bu seriden ortalama getiri, varyans, çarpıklık ve basıklık değerleri elde edilmektedir. Bu yaklaşım, eş-çarpıklık ve eş-basıklık tensörlerinin doğrudan tahmin edilmesiyle ilişkili boyutluluk ve tahmin hatası sorunlarını azaltırken, günlük ve yüksek frekanslı moment bilgisinin portföy düzeyindeki katkısının basit ve uygulamada kullanılabilir bir çerçevede sınanmasına da olanak sağlamaktadır. Yaklaşımın temel ödünleşimi, varlıklar arası yüksek dereceli eş-moment yapılarını açık biçimde modellememesidir. Bununla birlikte, kısa kayan tahmin pencereleri ile eş-çarpıklık ve eş-basıklık tensörlerinin yüksek boyutlu yapısı dikkate alındığında, portföy düzeyindeki formülasyon daha istikrarlı ve uygulamada gerçekleştirilebilir bir alternatif sunmaktadır.

Yüksek frekanslı modellerde gerçekleşmiş momentler, Neuberger (2012) ile Amaya vd. (2015) tarafından kullanılan gerçekleşmiş yüksek moment tanımlarıyla uyumlu olarak her bir örneklem içi ay içindeki 5 dakikalık portföy getirilerinden hesaplanmaktadır. m ayındaki 5 dakikalık portföy getirileri $r_{p,m,j}$, $j = 1, \dots, M_m$ ile gösterilsin. Portföy düzeyindeki gerçekleşmiş varyans, gerçekleşmiş çarpıklık ve gerçekleşmiş basıklık ölçüleri aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$RV_{p,m} = \sum_{j=1}^{M_m} r_{p,m,j}^2,$$

$$RSK_{p,m} = \frac{\sqrt{M_m} \sum_{j=1}^{M_m} r_{p,m,j}^3}{(RV_{p,m})^{3/2}},$$

$$RKU_{p,m} = \frac{M_m \sum_{j=1}^{M_m} r_{p,m,j}^4}{(RV_{p,m})^2}.$$

Burada M_m ilgili örneklem içi aydaki 5 dakikalık portföy getiri gözlemlerinin sayısını göstermektedir. Bu tanımlarda gerçekleşmiş varyans gün içi getirilerin kareleri toplamı olarak hesaplanırken, gerçekleşmiş çarpıklık ve gerçekleşmiş basıklık sırasıyla üçüncü ve dördüncü dereceden gün içi getirilerin toplamalarının gerçekleşmiş varyansla ölçeklendirilmiş biçimleri olarak tanımlanmaktadır. Günlük veriler kullanılarak oluşturulan portföylerde aynı moment hesaplama yöntemi ilgili örneklem içi dönemdeki günlük portföy getirilerine uygulanmaktadır. Bu yapı, Daily-

MVSK ve HF-MVSK portföylerinin aynı PGP optimizasyon çerçevesinde, ancak farklı veri frekanslarından elde edilen moment girdileri kullanılarak karşılaştırılmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada portföy optimizasyonu polinomiyal hedef programlama yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. PGP, beklenen getiri ve çarpıklığın artırılması; varyans ve basıklığın ise azaltılması hedeflendiğinden, yüksek momentli portföy seçiminin çok amaçlı yapısına uygundur. Bu nedenle portföy seçimi, tek bir fayda fonksiyonundaki tercih katsayıları temelinde değil, her bir moment için tanımlanan ideal değerlerden normalize edilmiş sapmaların en aza indirilmesi şeklinde modellenmektedir.

Her bir örneklem içi dönem için öncelikle ilgili momentlere ait ideal hedef değerleri hesaplanmaktadır. MVSK modeli için ideal değerler aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$\begin{aligned}\mu^* &= \max_w \mu_p, \\ (\sigma^2)^* &= \min_w \sigma_p^2, \\ S^* &= \max_w S_p, \\ K^* &= \min_w K_p, \\ \text{s.t. } \sum_{i=1}^N w_i &= 1, \quad 0 \leq w_i \leq 0.30.\end{aligned}$$

Burada μ^* ulaşılabilir maksimum ortalama portföy getirisini, $(\sigma^2)^*$ ulaşılabilir minimum portföy varyansını, S^* ulaşılabilir maksimum portföy çarpıklığını ve K^* ulaşılabilir minimum portföy basıklığını göstermektedir. İdeal değerler aynı portföy kısıtları altında ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

MVSK portföyü, bu ideal değerlerden normalize edilmiş sapmaların en aza indirilmesiyle elde edilmektedir:

$$\begin{aligned}\min_w \quad & \left(\frac{\mu^* - \mu_p}{|\mu^*| + \varepsilon} \right)^\alpha + \left(\frac{\sigma_p^2 - (\sigma^2)^*}{|(\sigma^2)^*| + \varepsilon} \right)^\beta + \left(\frac{S^* - S_p}{|S^*| + \varepsilon} \right)^\gamma + \left(\frac{K_p - K^*}{|K^*| + \varepsilon} \right)^\delta \\ \text{s.t. } \quad & \sum_{i=1}^N w_i = 1, \\ & 0 \leq w_i \leq 0.30, \quad i = 1, \dots, N.\end{aligned}$$

Burada ε , paydanın sıfıra yaklaşmasını önlemek amacıyla kullanılan küçük pozitif bir sabittir. α , β , γ , ve δ parametreleri sırasıyla getiri, varyans, çarpıklık ve basıklık hedeflerinden sapmalara atfedilen göreceli önemi göstermektedir. Ana analizde tüm hedef sapmaları eşit öncelikli olarak ele alınmış ve $\alpha = \beta = \gamma = \delta = 1$ olarak belirlenmiştir. Eşit öncelik ağırlıkları, dört moment hedefi arasında önsel bir tercih hiyerarşisi dayatmamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu tarafsız karşılaştırma ölçütü, her bir hedefe göreceli sapma bakımından eşit önem vermekte ve günlük ile yüksek frekanslı stratejiler arasındaki karşılaştırmanın öznel tercih parametrelerinden ziyade veri frekansı ve moment bilgisinin rolüne odaklanmasını sağlamaktadır.

Ortalama–varyans portföyleri, aynı PGP çerçevesinin iki amaçlı özel bir durumu olarak oluşturulmaktadır. Bu modellerde yalnızca beklenen getiri ve varyans hedefleri dikkate alınmaktadır. Öncelikle aynı kısıtlar altında μ^* ve $(\sigma^2)^*$ hesaplanmakta, ardından portföy aşağıdaki problemin çözülmesiyle elde edilmektedir:

$$\begin{aligned} \min_w \quad & \left(\frac{\mu^* - \mu_p}{|\mu^*| + \varepsilon} \right)^\alpha + \left(\frac{\sigma_p^2 - (\sigma^2)^*}{|(\sigma^2)^*| + \varepsilon} \right)^\beta \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^N w_i = 1, \\ & 0 \leq w_i \leq 0.30, \quad i = 1, \dots, N. \end{aligned}$$

Ana analizde ortalama–varyans portföyleri için de $\alpha = \beta = 1$ kullanılmaktadır. Buna göre Daily-MV, Daily-MVSK, HF-MV-5min ve HF-MVSK-5min portföyleri aynı çok amaçlı optimizasyon çerçevesi içinde karşılaştırılmaktadır. Bu yaklaşım, model karşılaştırmasının yalnızca kullanılan moment seti ve veri frekansına dayanmasını sağlamaktadır.

Optimizasyon modellerinin hiçbirinde açığa satışa izin verilmemektedir. Portföy ağırlıklarının toplamı bire eşit olacak şekilde kısıtlanmış ve herhangi bir pay senedinin ağırlığı en fazla %30 ile sınırlandırılmıştır. %30'luk ağırlık sınırı, tek bir pay senedinde aşırı yoğunlaşmayı önlerken optimizasyon modellerine veri frekansı ve moment bilgisine bağlı olarak portföy ağırlıklarında anlamlı farklılıklar oluşturabilecek yeterli esnekliği sağlamaktadır. Eşit ağırlıklı portföyde her bir pay senedine $1/N$ ağırlığı verilmekte ve bu portföy de diğer stratejilerle aynı şekilde aylık olarak yeniden dengelenmektedir.

Portföylerin uygulamadaki gerçekleştirilebilirliğini değerlendirmek amacıyla işlem maliyetleri de dikkate alınmaktadır. Aylık yeniden dengeleme sırasında portföy devir oranı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$TO_m = \sum_{i=1}^N |w_i^{(m)} - \tilde{w}_i^{(m-1)}|,$$

Burada TO_m aylık portföy devir oranını, $w_i^{(m)}$ m ayının başındaki yeni hedef portföy ağırlığını, $\tilde{w}_i^{(m-1)}$ ise fiyat hareketleri sonucunda bir önceki ayın sonunda oluşan portföy ağırlığını göstermektedir. İşlem maliyetleri düşüldükten sonraki net portföy getirisi aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$R_{p,m}^{net} = R_{p,m}^{gross} - c \times TO_m,$$

Burada c işlem maliyeti oranını göstermektedir. Ampirik uygulamada $c=0,001$ olarak belirlenmiştir. Bu oran, aylık yeniden dengeleme sırasında gerçekleşen portföy devir oranına uygulanan %0,10'luk işlem maliyetini temsil etmektedir. Bu yapı, optimizasyona dayalı portföylerin olası performans avantajlarının daha yüksek portföy devir oranı ve işlem maliyetleri dikkate alındıktan sonra da devam edip etmediğinin değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Örneklem dışı portföy performansı tüm stratejiler için günlük portföy getirileri kullanılarak değerlendirilmektedir. Risk düzeltilmiş performans ölçülerinin hesaplanmasında Türkiye'nin iki yıllık gösterge devlet tahvili faizi risksiz faiz oranı olarak kullanılmaktadır. Ocak 2018–Aralık 2025 döneminde faiz oranları önemli ölçüde değiştiği için çalışmada sabit bir dönem ortalaması yerine zamanla değişen bir risksiz getiri serisi kullanılmıştır. Bu amaçla ilgili aya ait yıllık iki yıllık gösterge devlet tahvili faizi günlük eşdeğerine dönüştürülmekte ve Sharpe, Sortino ve değiştirilmiş Sharpe oranları hesaplanırken portföy getirilerinden çıkarılmaktadır. Böylece risk düzeltilmiş performans ölçüleri, portföy değerlendirme dönemi boyunca geçerli piyasa koşullarını daha doğru biçimde yansıtacak şekilde hesaplanmaktadır.

Bulgular

Bu bölümde Ocak 2018–Aralık 2025 dönemi için oluşturulan portföy stratejilerinin örneklem dışı performansları karşılaştırılmaktadır. Portföyler, bir önceki aya ait veriler kullanılarak aylık kayan çerçevede oluşturulmakta ve takip eden ay boyunca sabit tutulmaktadır. Performans değerlendirmesinde işlem maliyetleri sonrası net yıllıklandırılmış getiri, yıllıklandırılmış volatilité, risk düzeltilmiş performans ölçüleri, maksimum kayıp ve portföy getiri dağılımının yüksek moment özellikleri dikkate alınmaktadır. Sharpe, değiştirilmiş Sharpe ve Sortino oranları, Türkiye'nin iki yıllık gösterge devlet tahvili faizinden türetilen zamanla değişen günlük risksiz getiri serisi kullanılarak hesaplanmaktadır.

Tablo 2. Ocak 2018–Aralık 2025 Dönemi Örneklem Dışı Portföy Performans Sonuçları

Strateji	EW	Daily-MV	Daily-MVSK	HF-MV-5min	HF-MVSK-5min
Yıllıklandırılmış Getiri	32.34%	32.35%	34.97%	28.28%	33.16%
Yıllıklandırılmış Volatilité	29.14%	28.84%	29.16%	29.48%	29.58%
Sharpe Oranı	0.4535	0.4555	0.5226	0.3429	0.4728
Değiştirilmiş Sharpe O.	0.2842	0.2859	0.3309	0.2134	0.2950
Sortino Oranı	0.6390	0.6418	0.7432	0.4799	0.6666
Maksimum Kayıp	-33.53%	-31.49%	-31.01%	-31.90%	-28.63%
Çarpıklık	-0.4220	-0.4373	-0.3267	-0.5055	-0.5062
Basıklık	7.6847	8.0111	7.0366	8.6213	8.4395

Not: Yıllıklandırılmış getiri, Sharpe, değiştirilmiş Sharpe, Sortino ve maksimum kayıp değerleri, işlem maliyetleri düşüldükten sonraki net portföy getirileri esas alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 2, Ocak 2018–Aralık 2025 döneminde karşılaştırılan portföy stratejilerinin örneklem dışı performans sonuçlarını sunmaktadır. Getiri açısından en yüksek yıllıklandırılmış getiri %34,97 ile Daily-MVSK portföyünden elde edilmiştir. Bunu %33,16 ile HF-MVSK-5min, %32,35 ile Daily-MV ve %32,34 ile EW portföyü izlemektedir. En düşük yıllıklandırılmış getiri ise %28,28 ile HF-MV-5min portföyünde gerçekleşmiştir. Bu bulgu, incelenen dönemde çarpıklık ve basıklığın optimizasyona dâhil edilmesinin hem günlük hem de yüksek frekanslı veri çerçevelerinde karşılık gelen ortalama-varyans portföylerine kıyasla daha yüksek getirilerle ilişkili olduğunu göstermektedir.

Risk açısından yıllıklandırılmış volatilité değerleri stratejiler arasında oldukça benzerdir. En düşük volatilité %28,84 ile Daily-MV portföyünde gözlenirken, bunu %29,14 ile EW ve %29,16 ile Daily-MVSK izlemektedir. Yüksek frekanslı portföylerde volatilité bir miktar daha yüksek olup HF-MV-5min için %29,48, HF-MVSK-5min için %29,58 düzeyindedir. Dolayısıyla Daily-MVSK tarafından üretilen daha yüksek getiri, önemli ölçüde daha yüksek volatilité üstlenilerek elde edilmemiştir; bu portföyün volatilité düzeyi Daily-MV ve EW portföylerine oldukça yakındır.

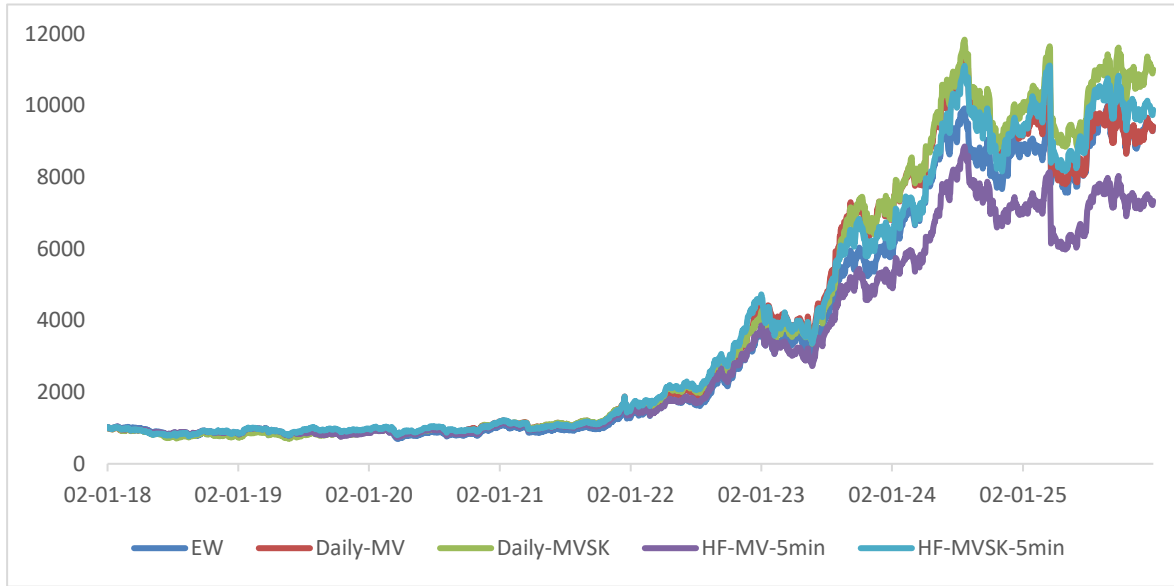
Risk düzeltilmiş performans ölçüleri de Daily-MVSK portföyünün örneklem dışı risk–getiri profili bakımından öne çıktığını göstermektedir. Daily-MVSK, 0,5226 Sharpe oranı, 0,3309 değiştirilmiş Sharpe oranı ve 0,7432 Sortino oranıyla tüm stratejiler arasındaki en yüksek değerlere ulaşmaktadır. HF-MVSK-5min portföyü ise 0,4728 Sharpe, 0,2950 değiştirilmiş Sharpe ve 0,6666 Sortino oranıyla yüksek frekanslı stratejiler içinde en güçlü risk düzeltilmiş performansı göstermektedir. Özellikle HF-MV-5min ile karşılaştırıldığında Sharpe oranının 0,3429'dan 0,4728'e, Sortino oranının ise 0,4799'dan 0,6666'ya yükselmesi, 5 dakikalık verilerle oluşturulan portföylere yüksek momentlerin eklenmesinin risk düzeltilmiş performansla pozitif ilişkili olduğunu göstermektedir.

Maksimum kayıp açısından en iyi sonuç -%28,63 ile HF-MVSK-5min portföyünden elde edilmiştir. Daily-MVSK portföyünün maksimum kaybı -%31,01 olup bu değer Daily-MV (-%31,49)

ve EW (-%33,53) portföylerine kıyasla daha sınırlı bir kayıp profiline işaret etmektedir. HF-MV-5min portföyünde -%31,90 olan maksimum kaybın HF-MVSK-5min portföyünde -%28,63'e gerilemesi, yüksek frekanslı MVSK yaklaşımının özellikle aşağı yönlü riski sınırlamaya katkı sağlayabileceğini düşündürmektedir.

Dağılımsal özellikler, tüm portföylerin negatif çarpıklık ve yüksek basıklık sergilediğini göstermektedir. Bununla birlikte Daily-MVSK, -0,3267 ile en az negatif çarpıklık ve 7,0366 ile en düşük basıklık değerine sahiptir. Bu sonuç, günlük veriye dayalı MVSK portföyünün yalnızca getiri ve risk düzeltilmiş performans açısından değil, portföy getiri dağılımının asimetri ve kuyruk özellikleri bakımından da daha dengeli bir yapı sunduğunu göstermektedir. Buna karşılık HF-MVSK-5min portföyünün çarpıklık değeri -0,5062, basıklık değeri ise 8,4395'tir ve bu değerler hem Daily-MVSK hem de EW portföylerine göre daha zayıftır. Dolayısıyla HF-MVSK-5min portföyü getiri ve maksimum kayıp bakımından HF-MV-5min'e göre belirgin iyileşmeler sağlasa da örneklem dışı çarpıklık ve basıklık profilinde beklenen iyileşmeyi üretmemektedir. Bu durum, 5 dakikalık gün içi getirilerden türetilen yüksek moment tahminlerinin günlük örneklem dışı portföy getirilerinin asimetri ve kuyruk özellikleri için her zaman istikrarlı bir sinyal sunmayabileceğini düşündürmektedir.

Genel olarak Tablo 2, yüksek momentlerin portföy optimizasyonuna dâhil edilmesinin hem günlük hem de yüksek frekanslı veri çerçevelerinde belirli performans kazanımları sağlayabildiğini göstermektedir. Ancak bu katkının niteliği veri frekansına göre farklılaşmaktadır. İncelenen dönemde en güçlü genel performans Daily-MVSK portföyünden gelirken, HF-MVSK-5min'in katkısı yüksek frekanslı ortalama–varyans portföyüne kıyasla getiri, risk düzeltilmiş performans ve maksimum kayıp bakımından daha belirgindir. Buna karşılık HF-MVSK-5min'in çarpıklık ve basıklık sonuçları, yüksek frekanslı gerçekleşmiş yüksek moment bilgisinin günlük örneklem dışı dağılımsal özelliklere doğrudan ve tutarlı biçimde yansımayabileceğini göstermektedir.



Şekil 1. Ocak 2018–Aralık 2025 Döneminde Başlangıçtaki 1.000 TL'lik Yatırımın Kümülatif Portföy Değeri

Şekil 1, Ocak 2018 başında her bir portföy stratejisine tahsis edilen 1.000 TL'lik yatırımın Aralık 2025 sonuna kadar kümülatif değer gelişimini göstermektedir. Tüm stratejilerde, özellikle 2022 sonrasında, değerde önemli bir artış görülmekle birlikte dönem sonunda en yüksek nihai portföy değerine Daily-MVSK stratejisi ulaşmaktadır; bu stratejide başlangıçtaki 1.000 TL'lik yatırım 11.010,06 TL'ye yükselmektedir. HF-MVSK-5min portföyü yüksek frekanslı stratejiler

içinde en iyi sonucu üreterek dönemi 9.886,26 TL ile tamamlamakta ve hem EW hem de Daily-MV portföylerinin üzerinde kapanmaktadır. Buna karşılık HF-MV-5min stratejisi 7.334,79 TL ile en düşük nihai değere sahiptir. Bu bulgu, yüksek frekanslı verilerin tek başına ortalama-varyans çerçevesinde üstün performans sağlamadığını; ancak çarpıklık ve basıklık optimizasyona dâhil edildiğinde yüksek frekanslı portföy performansının önemli ölçüde iyileştiğini göstermektedir. Bununla birlikte toplam kümülatif değer bakımından en güçlü strateji günlük veriye dayalı MVSK portföyüdür.

Tablo 3. Portföy Yoğunlaşması: HHI ve Etkin Pay Senedi Sayısı

Strateji	Ortalama HHI	Min. HHI	Maks. HHI	Ortalama Etkin N	Min. Etkin N	Maks. Etkin N
EW	0.0909	0.0909	0.0909	11.0000	11.0000	11.0000
Daily-MV	0.1894	0.1298	0.2206	5.3411	4.5329	7.7015
Daily-MVSK	0.1870	0.1290	0.2249	5.4263	4.4473	7.7517
HF-MV-5min	0.1861	0.1378	0.2206	5.4340	4.5329	7.2561
HF-MVSK-5min	0.1946	0.1390	0.2265	5.1698	4.4146	7.1942

Not: Herfindahl-Hirschman Endeksi (HHI), portföy ağırlıklarının kareleri toplamı olarak hesaplanan bir yoğunlaşma ölçüsüdür; daha yüksek değerler portföyün daha az çeşitlendirilmiş ve daha yoğunlaşmış olduğunu göstermektedir.

Tablo 3, portföy stratejilerinin ağırlık dağılımlarındaki yoğunlaşma düzeyini HHI ve etkin pay senedi sayısı üzerinden göstermektedir. Beklendiği üzere eşit ağırlıklı portföy, 0,0909 HHI değeri ve 11 etkin pay senedi sayısı ile tam çeşitlendirilmiş bir karşılaştırma portföyü yapısını temsil etmektedir. Optimizasyona dayalı portföylerde ortalama HHI değerleri 0,1861 ile 0,1946 arasında, ortalama etkin pay senedi sayısı ise yaklaşık 5,17 ile 5,43 arasında değişmektedir. Bu sonuç, %30'luk azami ağırlık sınırı tek bir pay senedinde aşırı yoğunlaşmayı engellese de PGP tabanlı portföylerin eşit ağırlıklı portföye kıyasla daha yoğunlaşmış ağırlık yapıları ürettiğini göstermektedir. HF-MVSK-5min portföyü en yüksek ortalama HHI ve en düşük ortalama etkin pay senedi sayısına sahip olup yüksek frekanslı MVSK yaklaşımının diğer optimize edilmiş portföylere kıyasla bir miktar daha yoğunlaşmış bir portföy yapısı ürettiğine işaret etmektedir.

Tablo 4. Portföy Devir Oranı ve İşlem Maliyeti Etkileri

Strateji	Ortalama Aylık Devir Oranı	Medyan Aylık Devir Oranı	Yıllıklandırılmış Devir Oranı	Maliyet Etkisi
EW	5.72%	5.33%	68.61%	0.11 p.p.
Daily-MV	89.31%	95.60%	1071.68%	1.42 p.p.
Daily-MVSK	101.67%	102.04%	1219.99%	1.65 p.p.
HF-MV-5min	96.76%	97.51%	1161.17%	1.49 p.p.
HF-MVSK-5min	94.00%	101.88%	1128.02%	1.50 p.p.

Not: Ortalama aylık devir oranı ve medyan aylık devir oranı, ilk portföy oluşturma ayı hariç olmak üzere aylık yeniden dengeleme dönemleri üzerinden hesaplanmıştır. Yıllıklandırılmış devir oranı, ortalama aylık yeniden dengeleme devir oranının yıllıklandırılmış değerini ifade etmektedir. Maliyet etkisi yüzde puan cinsinden gösterilmekte ve işlem maliyetleri öncesi brüt yıllıklandırılmış getiri ile işlem maliyetleri sonrası net yıllıklandırılmış getiri arasındaki farkı temsil etmektedir.

Tablo 4, portföy stratejilerinin yeniden dengeleme yoğunluğunu ve işlem maliyetlerinin yıllıklandırılmış getiriler üzerindeki etkisini sunmaktadır. Eşit ağırlıklı portföy aylık olarak yeniden dengelenmesine rağmen en düşük ortalama devir oranına sahiptir; EW portföyünün ortalama aylık devir oranı %5,72, işlem maliyeti etkisi ise yalnızca 0,11 yüzde puandır. Buna karşılık optimizasyona dayalı portföylerde devir oranı belirgin biçimde daha yüksektir. Daily-MV, Daily-MVSK, HF-MV-5min ve HF-MVSK-5min portföylerinin ortalama aylık devir oranı yaklaşık %89 ile %102 arasında değişmektedir. Bu durum, aylık kayan optimizasyon yapısının portföy ağırlıklarında önemli değişimlere yol açtığını göstermektedir. Bununla birlikte, optimizasyona dayalı portföylerin yüksek yıllıklandırılmış devir oranları, dinamik kayma, alıŖ-satıŖ farkları ve piyasa etkisi maliyetleri dikkate

alındığında gerçek uygulama maliyetlerinin sabit %0,1 işlem maliyeti varsayımını aşabileceğine de işaret etmektedir.

İşlem maliyeti etkisi optimize edilmiş portföylerde daha yüksek olmakla birlikte, yıllıklandırılmış getiriler üzerindeki etkisi sınırlı kalmaktadır. En yüksek işlem maliyeti etkisine sahip olmasına rağmen Daily-MVSK portföyünün maliyet etkisi 1,65 yüzde puandır ve Tablo 2’de sunulan performans sonuçları sonrasında da risk–getiri profili bakımından öne çıkmaya devam etmektedir. Dolayısıyla devir oranı analizi, optimizasyona dayalı portföylerin daha yüksek işlem yoğunluğu gerektirdiğini göstermekte; ancak temel performans karşılaştırmaları işlem maliyetleri sonrası net getirileri esas alarak bu etkiyi dikkate almaktadır.

Tablo 5. Getiri ve Volatilite Farkları için İkili Blok Bootstrap p-Değerleri

Getiri	EW	Daily-MV	Daily-MVSK	HF-MV-5min	HF-MVSK-5min
EW	—	0.9952	0.5752	0.3576	0.8708
Daily-MV	0.9952	—	0.4896	0.2656	0.8684
Daily-MVSK	0.5752	0.4896	—	0.1308	0.6792
HF-MV-5min	0.3576	0.2656	0.1308	—	0.2068
HF-MVSK-5min	0.8708	0.8684	0.6792	0.2068	—
Volatilite	EW	Daily-MV	Daily-MVSK	HF-MV-5min	HF-MVSK-5min
EW	—	0.4084	0.9356	0.3616	0.2808
Daily-MV	0.4084	—	0.3180	0.0168*	0.0512
Daily-MVSK	0.9356	0.3180	—	0.5008	0.4500
HF-MV-5min	0.3616	0.0168	0.5008	—	0.7188
HF-MVSK-5min	0.2808	0.0512	0.4500	0.7188	—

Not: Tablodaki değerler, portföy stratejileri arasındaki ikili farklar için 5.000 tekrar ve 20 işlem günlük blok uzunluğu kullanılarak gerçekleştirilen blok bootstrap yöntemiyle hesaplanan çift yönlü p-değerlerini göstermektedir. “*” işareti %5 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir farka işaret etmektedir.

Tablo 5, portföy stratejileri arasındaki getiri ve volatilite farklarının istatistiksel anlamlılığını değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilen ikili blok bootstrap testlerinin sonuçlarını sunmaktadır. Getiri panelinde tüm p-değerleri %5 anlamlılık düzeyinin üzerindedir. Bu bulgu, Daily-MVSK portföyü Tablo 2’de en yüksek yıllıklandırılmış getiriyi üretse de stratejiler arasındaki getiri farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermektedir. Bu nedenle getiri performansına ilişkin bulgular, incelenen örneklem döneminde gözlenen örneklem dışı performans farklılıkları olarak yorumlanmalıdır. Bununla birlikte performans farklarının ekonomik büyüklüğü yatırım açısından önemini korumaktadır. Daily-MVSK portföyü işlem maliyetleri sonrasında en yüksek yıllıklandırılmış getiri ve risk düzeltilmiş performans ölçülerini üretirken, volatilitelerini karşılaştırma portföyü ve günlük ortalama–varyans portföylerine yakın düzeyde tutmaktadır. Dolayısıyla bootstrap sonuçları istatistiksel olarak kesin bir üstünlük ortaya koymasa da gözlenen ekonomik performans, incelenen dönemde MVSK stratejisinin uygulamadaki önemini desteklemektedir.

Volatilite panelinde yalnızca Daily-MV ile HF-MV-5min arasındaki fark %5 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu sonuç, yüksek frekanslı ortalama–varyans portföyünün günlük ortalama–varyans portföyünden farklı bir volatilite profili ürettiğini göstermektedir. Buna karşılık diğer volatilite karşılaştırmalarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemektedir. Genel olarak Tablo 5’teki sonuçlar, bazı stratejiler Tablo 2’de risk–getiri profilleri bakımından öne çıksa da bu farklılıkların çoğunun istatistiksel açıdan güçlü biçimde desteklenmediğini göstermektedir. Bu nedenle portföy performansına ilişkin bulgular hem ekonomik büyüklükler hem de istatistiksel anlamlılık sonuçları birlikte dikkate alınarak ihtiyatlı biçimde yorumlanmalıdır.

Sağlamlık ve Duyarlılık Analizleri

Temel bulguların belirli modelleme tercihlerine duyarlı olup olmadığını değerlendirmek amacıyla iki ek analiz gerçekleştirilmiştir. İlk olarak yüksek frekanslı portföyler 30 dakikalık gün içi getiriler kullanılarak yeniden oluşturulmuş ve sonuçlar 5 dakikalık yüksek frekanslı portföylerden

elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. İkinci olarak portföy yoğunlaşma kısıtının bulgular üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla her bir pay senedinin azami ağırlığı %20 ile sınırlandırılarak alternatif portföyler hesaplanmıştır.

Tablo 6. Yüksek Frekanslı Portföylerde 5 Dakikalık ve 30 Dakikalık Frekansların Karşılaştırılması

Strateji	Yıllıklandırılmış Getiri	Yıllıklandırılmış Volatilité	Sharpe Oranı	Sortino Oranı	Maksimum Kayıp	Çarpıklık	Basıklık
HF-MV-5min	28.28%	29.48%	0.3429	0.4799	-31.90%	-0.5055	8.6213
HF-MV-30min	25.92%	29.19%	0.2779	0.3849	-31.59%	-0.6387	9.8206
HF-MVSK-5min	33.16%	29.58%	0.4728	0.6666	-28.63%	-0.5062	8.4395
HF-MVSK-30min	34.42%	29.23%	0.5082	0.7130	-29.93%	-0.5671	9.1650

Tablo 6, 5 dakikalık ve 30 dakikalık gün içi getiriler kullanılarak oluşturulan yüksek frekanslı portföylerin performans sonuçlarını karşılaştırmaktadır. Ortalama–varyans portföylerinde HF-MV-5min, %28,28 yıllıklandırılmış getiri ve 0,3429 Sharpe oranıyla HF-MV-30min portföyünden daha güçlü sonuçlar üretmektedir. HF-MV-30min portföyünün yıllıklandırılmış getirisi %25,92, Sharpe oranı ise 0,2779’dur. İki modelin volatilité değerleri birbirine oldukça yakın olmakla birlikte HF-MV-30min portföyünün çarpıklık ve basıklık değerleri daha zayıftır. HF-MV-5min portföyünde çarpıklık -0,5055 ve basıklık 8,6213 iken, HF-MV-30min portföyünde bu değerler sırasıyla -0,6387 ve 9,8206’dır. Bu sonuç, ortalama–varyans çerçevesinde 30 dakikalık örnekleme frekansının ne getiri ve risk düzeltilmiş performansı iyileştirdiğini ne de daha olumlu bir örnekleme dışı dağılımsal profil ürettiğini göstermektedir.

MVSK portföylerinde sonuçlar daha karmaşıktır. HF-MVSK-30min portföyü, %34,42 yıllıklandırılmış getiri, 0,5082 Sharpe oranı ve 0,7130 Sortino oranıyla HF-MVSK-5min portföyüne göre bir miktar daha güçlü bir risk–getiri profili sunmaktadır. HF-MVSK-5min portföyünde bu değerler sırasıyla %33,16, 0,4728 ve 0,6666’dır. Buna karşılık maksimum kayıp bakımından HF-MVSK-5min portföyü daha avantajlıdır; bu portföyün maksimum kaybı -%28,63 iken HF-MVSK-30min portföyünde -%29,93’tür. Ayrıca 30 dakikalık frekans dağılımsal momentlerde beklenen iyileşmeyi sağlamamaktadır. HF-MVSK-5min portföyünde çarpıklık ve basıklık sırasıyla -0,5062 ve 8,4395 iken, HF-MVSK-30min portföyünde bu değerler -0,5671 ve 9,1650’ye kötüleşmektedir. Dolayısıyla 30 dakikalık örnekleme frekansı MVSK portföyünde getiri ve risk düzeltilmiş performansı iyileştirse de çarpıklık ve basıklık bakımından daha iyi bir örnekleme dışı dağılımsal profil üretmemektedir.

Genel olarak Tablo 6, MVSK portföylerinin hem 5 dakikalık hem de 30 dakikalık frekanslarda karşılık gelen ortalama–varyans portföylerinden daha yüksek yıllıklandırılmış getiri ve daha iyi risk düzeltilmiş performans üretmesi nedeniyle, yüksek frekanslı MVSK bulgusunun yalnızca 5 dakikalık veri tercihinin özgü olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte 30 dakikalık frekansın çarpıklık ve basıklık değerlerini iyileştirmemesi önemli bir bulgudur. Bu sonuç, yüksek frekanslı gerçekleşmiş yüksek moment bilgisinin portföy optimizasyonuna katkısının getiri, risk düzeltilmiş performans ve maksimum kayıp gibi ölçülerde gözlenebileceğini, ancak örnekleme dışı çarpıklık ve basıklık özelliklerine doğrudan ve tutarlı biçimde yansımayaabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla frekans duyarlılığı analizi, yüksek frekanslı moment bilgisinin yararlılığının örnekleme frekansına ve değerlendirilen performans boyutuna bağlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 7. Azami Ağırlık Kısıtına Duyarlılık: %30 ve %20 Sınırlarının Karşılaştırılması

Strateji	Yıllıklandırılmış Getiri (%30 sınır)	Sharpe (%30 sınır)	Maksimum Kayıp (%30 sınır)	Yıllıklandırılmış Getiri (%20 sınır)	Sharpe (%20 sınır)	Maksimum Kayıp (%20 sınır)
EW	32.34%	0.4535	-33.53%	32.34%	0.4535	-33.53%
Daily-MV	32.35%	0.4555	-31.49%	34.54%	0.5278	-30.65%
Daily-MVSK	34.97%	0.5226	-31.01%	34.45%	0.5200	-28.42%
HF-MV-5min	28.28%	0.3429	-31.90%	32.70%	0.4507	-37.02%
HF-MVSK-5min	33.16%	0.4728	-28.63%	31.96%	0.4317	-32.73%

Not: %30'luk ağırlık sınırı ana analizde kullanılan portföy yoğunlaşma kısıtını, %20'lik ağırlık sınırı ise daha sıkı bir çeşitlendirme kısıtını ifade etmektedir. EW portföyü eşit ağırlıklı olduğundan ağırlık sınırındaki değişikliklerden etkilenmemektedir.

Tablo 7, portföy sonuçlarının her bir pay senedi için uygulanan azami ağırlık kısıtına duyarlılığını göstermektedir. Günlük verilerle oluşturulan portföylerde %20 sınırı altında Daily-MV'nin yıllıklandırılmış getirisi %32,35'ten %34,54'e, Sharpe oranı ise 0,4555'ten 0,5278'e yükselmektedir. Daily-MVSK portföyü her iki ağırlık kısıtı altında görece istikrarlı bir performans sergilemektedir. %30 sınırı altında %34,97 yıllıklandırılmış getiri ve 0,5226 Sharpe oranı üretirken, %20 sınırı altında bu değerler sırasıyla %34,45 ve 0,5200'dır. Ayrıca Daily-MVSK'nin maksimum kaybı %20 sınırı altında -%31,01'den -%28,42'ye iyileşmekte ve daha sınırlı bir kayıp profiline işaret etmektedir.

Yüksek frekanslı portföylerde ağırlık sınırına duyarlılık daha belirgindir. %20 sınırı altında HF-MV-5min portföyünün yıllıklandırılmış getirisi %28,28'den %32,70'e, Sharpe oranı 0,3429'dan 0,4507'ye yükselmekte; buna karşılık maksimum kaybı -%31,90'dan -%37,02'ye kötüleşmektedir. Bu sonuç, daha sıkı bir ağırlık sınırının her durumda aşağı yönlü riski azaltmadığını göstermektedir. %20 sınırı modelin belirli pay senetlerinde yoğunlaşmasını engellerken, kriz veya stres dönemlerinde birlikte değer kaybeden daha fazla sayıda pay senedine daha yüksek ağırlık verilmesini de zorunlu kılabilir. Dolayısıyla daha yüksek çeşitlendirme ortalama risk-getiri profilini iyileştirse bile maksimum kayıp gibi zamana özgü kuyruk riski ölçülerinde her zaman daha iyi sonuçlar üretmeyebilir. HF-MVSK-5min portföyünde de benzer bir duyarlılık gözlenmektedir: %30 sınırı altında %33,16 yıllıklandırılmış getiri, 0,4728 Sharpe oranı ve -%28,63 maksimum kayıp üretirken, %20 sınırı altında bu değerler sırasıyla %31,96, 0,4317 ve -%32,73'e kötüleşmektedir. Genel olarak bulgular, %30 sınırının aşırı yoğunlaşmayı önlerken optimizasyon modellerine yeterli esnekliği sağladığını; %20 sınırının ise özellikle yüksek frekanslı portföylerde model esnekliğini azaltarak performans ve maksimum kayıp üzerinde olumsuz etki yaratabileceğini göstermektedir.

Sonuçlar

Bu çalışma, yüksek frekanslı verilerden elde edilen gerçekleşmiş yüksek moment bilgisinin Borsa İstanbul'da portföy optimizasyonuna katkısını incelemektedir. Bu amaçla Ocak 2018–Aralık 2025 döneminde 11 likit BIST pay senedinden oluşan bir portföy evreni kullanılarak eşit ağırlıklı portföy, günlük veriye dayalı ortalama–varyans ve MVSK portföyleri ile bunların 5 dakikalık yüksek frekanslı veriye dayalı ortalama–varyans ve MVSK karşılıkları karşılaştırılmaktadır. Portföyler polinomial hedef programlama kullanılarak aylık kayan örneklem dışı çerçevede oluşturulurken, risk düzeltilmiş performans ölçüleri Türkiye'nin iki yıllık gösterge devlet tahvili faizinden türetilen zamanla değişen risksiz getiri serisi kullanılarak hesaplanmaktadır.

Ampirik bulgular, incelenen dönemde günlük veriye dayalı MVSK portföyünün en güçlü genel performansı sunduğunu göstermektedir. Daily-MVSK portföyü en yüksek yıllıklandırılmış getiri, Sharpe oranı, değiştirilmiş Sharpe oranı ve Sortino oranına ulaşmaktadır. Ayrıca günlük

verilere dayalı diğer stratejilere göre daha az negatif çarpıklık ve daha düşük basıklık üretmektedir. Bu sonuç, özellikle günlük veri çerçevesinde çarpıklık ve basıklığın portföy optimizasyonuna dâhil edilmesinin Borsa İstanbul'da geleneksel ortalama–varyans yaklaşımına kıyasla daha olumlu bir risk–getiri profiliyle ilişkili olabileceğini düşündürmektedir.

Yüksek frekanslı portföylerde HF-MVSK-5min portföyü, HF-MV-5min portföyüne göre daha yüksek getiri, daha iyi risk düzeltilmiş performans ve daha düşük maksimum kayıp üretmektedir. Bu bulgu, yüksek frekanslı verilerden türetilen yüksek moment bilgisinin yalnızca ikinci moment bilgisine dayalı yüksek frekanslı ortalama–varyans portföyüne kıyasla belirli katkılar sağlayabileceğini göstermektedir. Özellikle HF-MVSK-5min portföyünün en düşük maksimum kayba sahip olması, gerçekleşmiş yüksek moment bilgisinin aşağı yönlü riski sınırlamada yararlı olabileceğine işaret etmektedir.

Bununla birlikte yüksek frekanslı MVSK sonuçları tüm dağılımsal ölçüler bakımından aynı ölçüde güçlü değildir. HF-MVSK-5min portföyünün örneklem dışı çarpıklık ve basıklık değerleri Daily-MVSK ve eşit ağırlıklı portföylerin değerlerinden daha zayıf kalmaktadır. Bu sonuç, 5 dakikalık gün içi getirilerden hesaplanan yüksek momentlerin günlük örneklem dışı portföy getirilerinin asimetri ve kuyruk özelliklerine doğrudan ve tutarlı biçimde yansımayaabileceğini göstermektedir. 5 dakikalık veriler daha zengin bir gözlem seti sağlasa da piyasa mikro yapısı gürültüsü, kısa dönemli fiyat sıçramaları ve frekans ölçeğindeki farklılıklar özellikle üçüncü ve dördüncü momentlerin tahmininde ek belirsizlik yaratabilir.

İstatistiksel anlamlılık sonuçları da bulguların ihtiyatlı yorumlanması gerektiğine işaret etmektedir. Blok bootstrap testleri, stratejiler arasındaki getiri farklarının %5 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermektedir. Bu nedenle Tablo 2'de Daily-MVSK portföyü için raporlanan daha üstün risk–getiri profili, istatistiksel olarak kesin bir üstünlükten ziyade incelenen örneklem döneminde gözlenen ekonomik ve ampirik bir performans farkı olarak yorumlanmalıdır. Volatilité farkları bakımından yalnızca Daily-MV ile HF-MV-5min arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

Ek duyarlılık analizleri, temel bulguların belirli modelleme tercihlerine duyarlı olduğunu göstermektedir. 30 dakikalık gün içi getiriler kullanılarak oluşturulan yüksek frekanslı portföylerde MVSK yaklaşımı, karşılık gelen ortalama–varyans portföylerine göre daha iyi risk düzeltilmiş performans üretmektedir. Bu bulgu, yüksek frekanslı MVSK sonucunun yalnızca 5 dakikalık veri tercihinin özgü olmadığı görüşünü desteklemektedir. Öte yandan azami ağırlık sınırı analizleri, yüksek frekanslı portföylerin portföy yoğunlaşma kısıtına özellikle duyarlı olduğunu göstermektedir. %20 sınırı bazı portföylerin risk–getiri profilini iyileştirirken bazı yüksek frekanslı stratejilerin maksimum kaybını artırmaktadır. Bu sonuç, daha sıkı çeşitlendirme kısıtlarının her durumda aşağı yönlü riski azaltmadığını ve ağırlık sınırı tercihinin portföy optimizasyonunda önemli bir modelleme kararı olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın bulguları, yüksek momentli portföy optimizasyonunun özellikle günlük veri çerçevesinde Borsa İstanbul için anlamlı bir uygulama alanı sunduğunu; yüksek frekanslı gerçekleşmiş yüksek moment bilgisinin ise daha seçici ve koşullu bir katkı sağladığını göstermektedir. Genel olarak sonuçlar, yüksek frekanslı verilerin portföy optimizasyonunda yalnızca varyans–kovaryans tahmini açısından değil, çarpıklık ve basıklık gibi dağılımsal özellikler bakımından da değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Bununla birlikte bu katkının gücü örnekleme frekansı, moment tahminlerinin istikrarı, portföy ağırlık kısıtları ve işlem maliyeti varsayımları gibi yöntemsel tercihlere bağlıdır. Bu bulgular, getiri dağılımlarının normal dağılımdan saptığı durumlarda çarpıklık ve basıklığın optimal portföy tahsisini etkileyebileceğini vurgulayan yüksek momentli portföy seçimi literatürüyle uyumludur. Lai (1991), Chunhachinda vd. (1997), Jondeau ve Rockinger (2006) ile Harvey vd. (2010) gibi çalışmalarla paralel biçimde sonuçlar, yüksek momentlerin dâhil edilmesinin portföy stratejilerinin ekonomik risk–getiri profilini

iyileştirebileceğini göstermektedir. Aynı zamanda bulgular, Kemalbay vd. (2011), Aracıoğlu vd. (2011) ve Usta ve Kantar (2011) tarafından Borsa İstanbul için sunulan kanıtları genişleterek yüksek momentlerin rolünün yalnızca optimizasyon amacına değil, moment bilgisinin tahmininde kullanılan veri frekansına da bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuçlar ayrıca gün içi gerçekleşmiş çarpıklık ve basıklığın aşağı yönlü risk kontrolüne katkı sağlayabileceğini, ancak tüm performans boyutlarında günlük moment tahminlerine zorunlu olarak üstün gelmediğini göstererek yüksek frekanslı gerçekleşmiş moment literatürünü tamamlamaktadır.

Bu bulgular gelişmekte olan pay piyasalarında portföy optimizasyonu açısından iki önemli çıkarım sunmaktadır. İlk olarak, normal olmayan getiri dağılımlarının ve zamanla değişen aşağı yönlü riskin daha belirgin olduğu piyasalarda yüksek momentlerin portföy tahsisine dâhil edilmesi, geleneksel ortalama–varyans yaklaşımına kıyasla daha dengeli bir risk–getiri profili sağlayabilir. İkinci olarak, yüksek frekanslı verilerin bilgi avantajı her performans boyutuna kendiliğinden yansımamaktadır. Gerçekleşmiş yüksek moment bilgisinin katkısı; örnekleme frekansı, piyasa mikro yapısı, likidite koşulları ve portföy kısıtları gibi gelişmekte olan piyasa özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle gelişmekte olan piyasalarda yüksek frekanslı veri kullanan portföy modelleri değerlendirilirken yalnızca ortalama getiriler ve volatilité değil, işlem maliyetleri, maksimum kayıp ve dağılımsal momentler de birlikte dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmanın çeşitli sınırlılıkları bulunmaktadır. İlk olarak analiz 11 likit BIST pay senediyle sınırlıdır; farklı portföy evrenleri ve sektörel yapılar sonuçları değiştirebilir. Portföy evreninin daha az likit pay senetlerini içerecek biçimde genişletilmesi, piyasa mikro yapısı gürültüsünü ve seyrek işlem etkilerini güçlendirerek 5 dakikalık gerçekleşmiş moment tahminlerinin güvenilirliğini azaltabilir. İkinci olarak yüksek frekanslı momentler portföy düzeyinde hesaplanmakta, eş-çarpıklık ve eş-basıklık tensörleri doğrudan tahmin edilmemektedir. Bu tercih, kısa kayan pencerelerde tahmin hatasını azaltma ve yöntemi uygulamada gerçekleştirilebilir tutma bakımından avantaj sağlasa da varlıklar arasındaki yüksek dereceli eş-moment ilişkilerini tam olarak modellememektedir. Üçüncü olarak gerçekleşmiş çarpıklık ve gerçekleşmiş basıklık ölçüleri piyasa mikro yapısı gürültüsüne ve sıçramalara duyarlı olabilir. Gelecek çalışmalar, farklı yüksek frekanslı örnekleme aralıkları, gürültüye dayanıklı gerçekleşmiş moment tahmincileri, alternatif çok amaçlı optimizasyon yöntemleri ve daha geniş portföy evrenleri kullanarak bulguların genellenebilirliğini inceleyebilir.

References

- Amaya, D., Christoffersen, P., Jacobs, K., & Vasquez, A. (2015). Does realized skewness predict the cross-section of equity returns? *Journal of Financial Economics*, 118(1), 135–167. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2015.02.009>
- Andersen, T. G., Bollerslev, T., Diebold, F. X., & Ebens, H. (2001). The distribution of realized stock return volatility. *Journal of Financial Economics*, 61(1), 43–76. [https://doi.org/10.1016/S0304-405X\(01\)00055-1](https://doi.org/10.1016/S0304-405X(01)00055-1)
- Andersen, T. G., Bollerslev, T., Diebold, F. X., & Labys, P. (2003). Modeling and forecasting realized volatility. *Econometrica*, 71(2), 579–625. <https://doi.org/10.1111/1468-0262.00418>
- Aracıoğlu, B., Demircan, F., & Soyuer, H. (2011). Mean–variance–skewness–kurtosis approach to portfolio optimization: An application in Istanbul Stock Exchange. *Ege Academic Review*, 11, 9–17
- Asl, M. G., Khalfaoui, R., Tavakkoli, H. R., & Ben Jabeur, S. (2024). Quantile-based spillover connectedness among stochastic volatilities of ESG equities, Islamic and conventional stocks with implications for portfolio management. *International Journal of Emerging Markets*, 19(11), 3938–3976. <https://doi.org/10.1108/IJOEM-03-2022-0362>
- Barndorff-Nielsen, O. E., & Shephard, N. (2002). Econometric analysis of realized volatility and its use in estimating stochastic volatility models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 64(2), 253–280. <https://doi.org/10.1111/1467-9868.00336>
- Buckle, M., Chen, J., & Williams, J. (2016). Realised higher moments: Theory and practice. *The European Journal of Finance*, 22(13), 1272–1291. <https://doi.org/10.1080/1351847X.2014.885456>
- Chunhachinda, P., Dandapani, K., Hamid, S., & Prakash, A. J. (1997). Portfolio selection and skewness: Evidence from international stock markets. *Journal of Banking & Finance*, 21(2), 143–167. [https://doi.org/10.1016/S0378-4266\(96\)00032-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4266(96)00032-5)
- Davies, R. J., Kat, H. M., & Lu, S. (2009). Fund of hedge funds portfolio selection: A multiple-objective approach. *Journal of Derivatives & Hedge Funds*, 15(2), 91–115. <https://doi.org/10.1057/jdhf.2009.1>
- Glawischnig, M., & Seidl, I. (2013). Portfolio optimization with serially correlated, skewed and fat tailed index returns. *Central European Journal of Operations Research*, 21(1), 153–176. <https://doi.org/10.1007/s10100-011-0219-2>
- Harvey, C. R., Liechty, J. C., Liechty, M. W., & Müller, P. (2010). Portfolio selection with higher moments. *Quantitative Finance*, 10(5), 469–485. <https://doi.org/10.1080/14697681003756877>
- Jondeau, E., & Rockinger, M. (2006). Optimal portfolio allocation under higher moments. *European Financial Management*, 12(1), 29–55. <https://doi.org/10.1111/j.1354-7798.2006.00309.x>
- Kemalbay, G., Özkut, C. M., & Franko, C. (2011). Portfolio selection with higher moments: A polynomial goal programming approach to ISE-30 index. *Istanbul University Econometrics and Statistics e-Journal*, 13(1), 41–61.
- Khan, K. I., Naqvi, S. M. W. A., Ghafoor, M. M., & Akash, R. S. I. (2020). Sustainable portfolio optimization with higher-order moments of risk. *Sustainability*, 12(5), Article 2006. <https://doi.org/10.3390/su12052006>

- Lai, T.-Y. (1991). Portfolio selection with skewness: A multiple-objective approach. *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 1, 293–305. <https://doi.org/10.1007/BF02408382>
- Mandal, P. K., & Thakur, M. (2024). Higher-order moments in portfolio selection problems: A comprehensive literature review. *Expert Systems with Applications*, 238, 121625. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121625>
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77–91. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1952.tb01525.x>
- Martellini, L., & Ziemann, V. (2010). Improved estimates of higher-order comoments and implications for portfolio selection. *The Review of Financial Studies*, 23(4), 1467–1502. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhp099>
- Mhiri, M., & Prigent, J.-L. (2010). International portfolio optimization with higher moments. *International Journal of Economics and Finance*, 2(5), 157–169. <https://doi.org/10.5539/ijef.v2n5p157>
- Molina-Muñoz, J., Mora-Valencia, A., Perote, J., & Rodríguez-Raga, S. (2025). Volatility transmission dynamics between energy and financial indices of emerging markets: A comparison between the subprime crisis and the COVID-19 pandemic. *International Journal of Emerging Markets*, 20(1), 135–156. <https://doi.org/10.1108/IJOEM-10-2021-1551>
- Naqvi, B., Mirza, N., Naqvi, W. A., & Rizvi, S. K. A. (2017). Portfolio optimisation with higher moments of risk at the Pakistan Stock Exchange. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 30(1), 1594–1610. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2017.1340182>
- Neuberger, A. (2012). Realized skewness. *The Review of Financial Studies*, 25(11), 3423–3455. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhs101>
- Proelss, J., & Schweizer, D. (2014). Polynomial goal programming and the implicit higher moment preferences of US institutional investors in hedge funds. *Financial Markets and Portfolio Management*, 28(1), 1–28. <https://doi.org/10.1007/s11408-013-0221-x>
- Sahoo, S. (2024). Volatility spillover among the sectors of emerging and developed markets: A hedging perspective. *Cogent Economics & Finance*, 12(1), 2316048. <https://doi.org/10.1080/23322039.2024.2316048>
- Usta, I., & Kantar, Y. M. (2011). Mean-variance-skewness-entropy measures: A multi-objective approach for portfolio selection. *Entropy*, 13(1), 117–133. <https://doi.org/10.3390/e13010117>

ETHICAL DECLARATIONS**Research and Publication Ethics**

The author(s) declare that this manuscript is an original work prepared in accordance with the principles of scientific research and publication ethics. The manuscript has not been previously published and is not currently under consideration for publication elsewhere. All sources used in the preparation of this study have been properly cited and referenced. The author(s) confirm that the work contains no plagiarism, fabrication, falsification, or manipulation of data. The research findings are presented honestly and transparently in accordance with the principles of academic integrity.

Author Contributions

All authors have significantly contributed to the conception, design, analysis, and preparation of the manuscript. All authors have read and approved the final version of the manuscript and agree to its submission and publication.

Conflict of Interest

The author(s) declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this manuscript.

Funding

This research did not receive any specific grant, financial support, or funding from any public, commercial, or non-profit funding agencies.

Artificial Intelligence (AI) Usage Disclosure

During the preparation of this manuscript, artificial intelligence tools may have been used solely for limited purposes such as language editing, translation assistance, and stylistic improvement. Any AI-assisted translations or language corrections were carefully reviewed and verified by the author(s). Artificial intelligence tools were not used to generate the core scientific content, research design, analysis, or scholarly conclusions. All academic responsibility for the content of the manuscript rests entirely with the author(s).

Copyright and Permissions

The author(s) confirm that all necessary permissions for copyrighted materials have been obtained where required and that the manuscript does not violate any intellectual property rights.

Author Approval

All authors confirm that they have read and approved the final version of the manuscript and consent to its submission and publication.

ETİK BEYANLAR**Araştırma ve Yayın Etiği**

Yazar(lar), bu makalenin özgün bir çalışma olduğunu ve bilimsel araştırma ve yayın etiği ilkelerine uygun olarak hazırlandığını beyan eder. Makale daha önce herhangi bir yerde yayımlanmamış olup başka bir dergide değerlendirme sürecinde değildir.

Çalışmada kullanılan tüm kaynaklar akademik kurallara uygun biçimde atıf lanmıştır. Yazar(lar), çalışmanın intihal, veri uydurma, veri tahrifi veya manipölasyon içermediğini; araştırma bulgularının bilimsel dürüstlük ilkelerine uygun şekilde sunulduğunu beyan eder.

Yazar Katkısı

Tüm yazarlar çalışmanın tasarlanması, yürütülmesi, analizi ve makalenin hazırlanmasına önemli ölçüde katkı sağlamıştır. Tüm yazarlar makalenin son hâlini okuyup onaylamış ve yayımlanmasını kabul etmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazar(lar), bu makalenin yayımlanmasına ilişkin herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan eder.

Finansal Destek

Bu araştırma herhangi bir kamu kurumu, ticari kuruluş veya kâr amacı gütmeyen kuruluş tarafından finansal olarak desteklenmemiştir.

Yapay Zekâ Kullanım Beyanı

Makalenin hazırlanması sürecinde yapay zekâ araçlarından yalnızca dil düzenleme, çeviri desteği ve anlatım iyileştirmesi amacıyla sınırlı ölçüde yararlanılmış olabilir. Yapay zekâ araçları tarafından yapılan çeviri ve dil düzenlemeleri yazar(lar) tarafından dikkatle kontrol edilmiştir. Yapay zekâ araçları çalışmanın bilimsel içeriğinin, araştırma tasarımının, analizlerinin veya akademik sonuçlarının oluşturulmasında kullanılmamıştır. Makalenin içeriğine ilişkin tüm akademik sorumluluk yazar(lar)a aittir.

Telif Hakları ve İzinler

Yazar(lar), telif hakkı gerektiren materyaller kullanılmışsa gerekli izinlerin alındığını ve çalışmanın herhangi bir fikrî mülkiyet hakkını ihlal etmediğini beyan eder.

Yazar Onayı

Tüm yazarlar makalenin son hâlini okuduklarını, onayladıklarını ve yayımlanmasını kabul ettiklerini beyan eder.