

İTÜ



TÜBİTAK

C EURO^{4SEE}

Lattice Boltzmann Metodu'na Giriş
Alihan Atilla Çınar, Burakhan Şüküroğlu
İstanbul Teknik Üniversitesi

Akış Analizinde Numerik Yöntemler

➤ Geleneksel yöntemler

Akışkanlar mekaniği denklemlerinin ayrıklaştırılmasını temel alan yöntemler;

- ✓ Sonlu farklar (Finite Difference)
- ✓ Sonlu hacimler (Finite Volume)
- ✓ Sonlu elemanlar (Finite Element)

➤ Parçacık bazlı yöntemler

- ✓ Moleküler dinamik (Molecular dynamics)
- ✓ **Kafes gaz modelleri (Lattice gas models)**
- ✓ Çoklu parçacık çarpışma dinamiği (Multi-particle collision dynamics)
- ✓ Doğrudan simülasyon Monte Carlo (Direct Simulation Monte Carlo)

Lattice Boltzmann Metodu Nerede ?

➤ Lattice Boltzmann Metodu

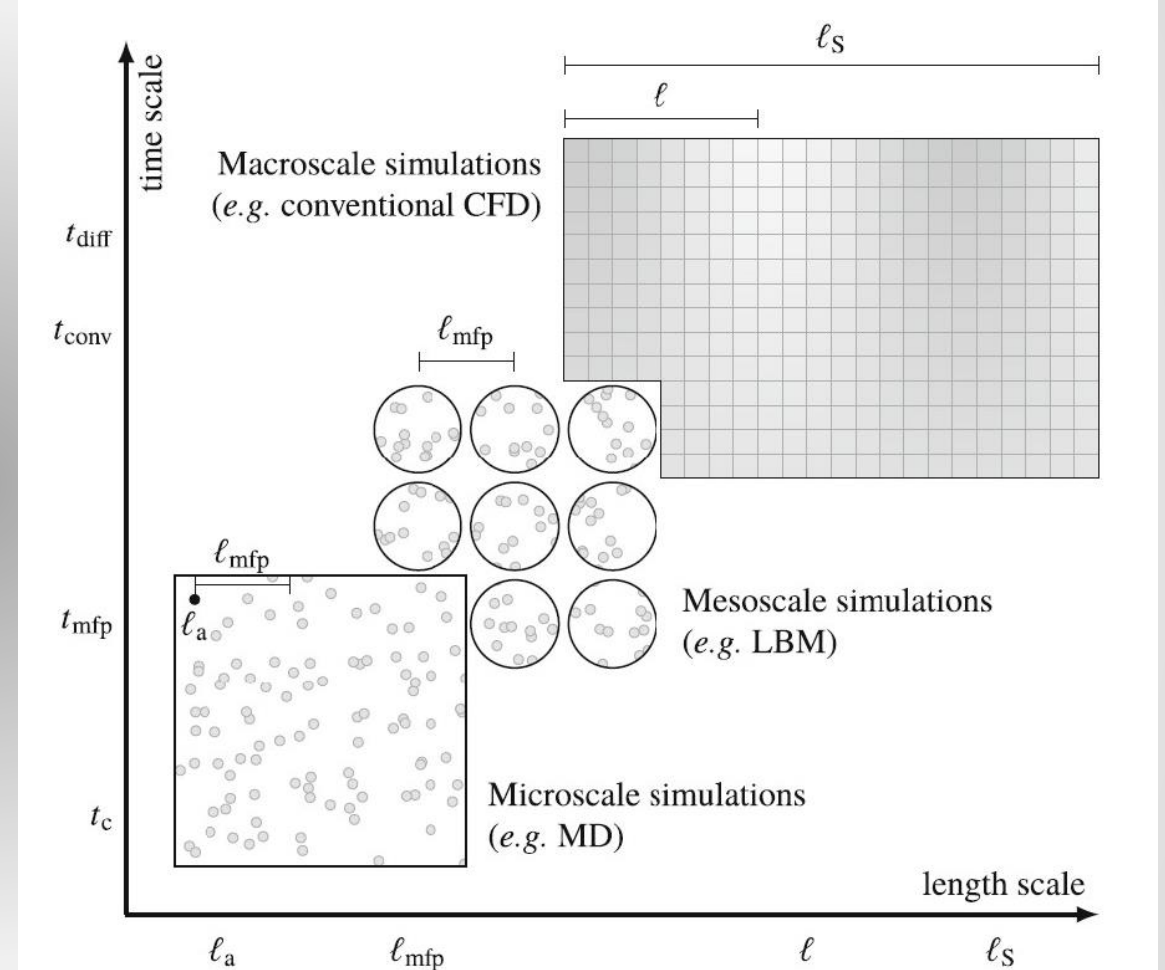
➤ Temel: Lattice Gaz Modelleri

➤ Ölçek: Mezoskopik

- *Parçacık dağılımlarının değişimi incelenir (Parçacıkların kendisi değil)*

➤ Denklem: Boltzmann Denklemi

- Zayıf sıkıştırılabilir Navier-Stokes denklemi için ikinci dereceden doğruluk



Neden Lattice Boltzmann Metodu ?

Avantaj

- Parallellleştirilmeye uygunluk
- Geleneksel yöntemlere göre hızlı
- Düşük nümerik disipasyon
- Multifaz akışlara uygulama kolaylığı
- Mezoskopik fizik için uygun

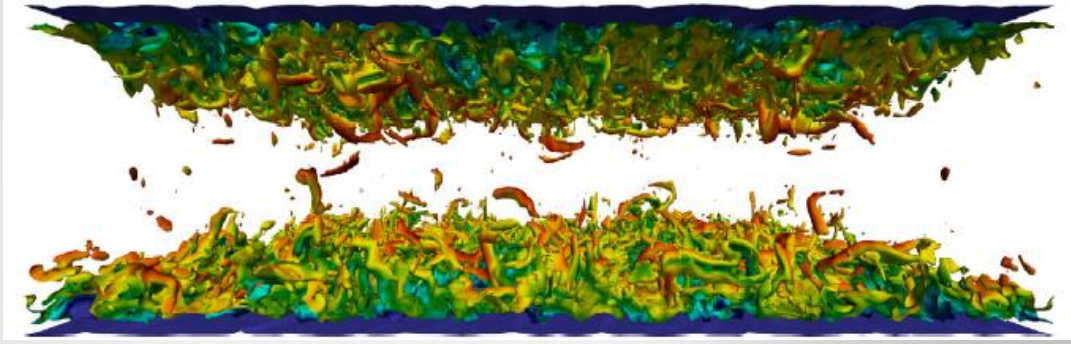
Dezavantaj

- Yoğun bellek kullanımı
- Kendiliğinden zaman bağımlıdır
- Yüksek derecede sıkıştırılabilir ve sabit sıcaklıklı akışları simüle etmek için uygun değildir.
- Sınır koşullarının uygulanması

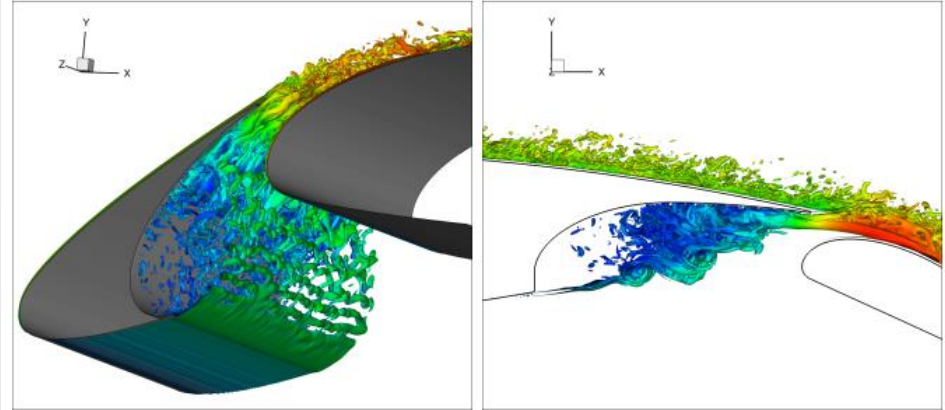
Popüler LBM Çözücüler

Code	Lattice Structure	Grid Structure	Collision Models	Parallelization	No-slip Boundary Condition	Turbulence Model
 OpenLB	D2Q9, D3Q15, D3Q19, D3Q27	Structured / Uniform	SRT / TRT / MRT / ELB / RLB	Domain De- composition (MPI)	half-way bounce-back / interpolated bounce-back	ADM / WALE / Smagorinsky model / Dynamic Smagorinsky model / Shear-improved Smagorinsky model
PALABOS	D3Q19	Structured / Non-uniform grids via multi-block	SRT / TRT / MRT	Multi-block Domain De- composition (MPI)	Interpolated bounce-back	Smagorinsky model / Dynamic Smagorinsky
 walBerla	D3Q19 / D3Q27	Block-structured adaptive grids	SRT / TRT / MRT / CLBM	GPU parallel	Interpolated bounce-back	Smagorinsky model
 XFlow	D3Q27	Structured / Non-uniform	MRT-CM	MPI and multithreading	Immersed Boundary Approach combined with the non-equilibrium wall function	WALE
ultraFluidX[®] Altair[®]	D3Q27	Structured / non-uniform octree-based local refinement	cumulant collision operator (advanced MRT)	GPU parallel	Interpolated bounce-back	Smagorinsky; Wall function (Malaspinas & Sagaut)
 ProLB	D3Q19 / D3Q27	Structured / Non-uniform octree mesh	SRT / HRR	MPI	Immersed Boundary Approach combined with the wall function	Smagorinsky model / Shear-Improved Smagorinsky

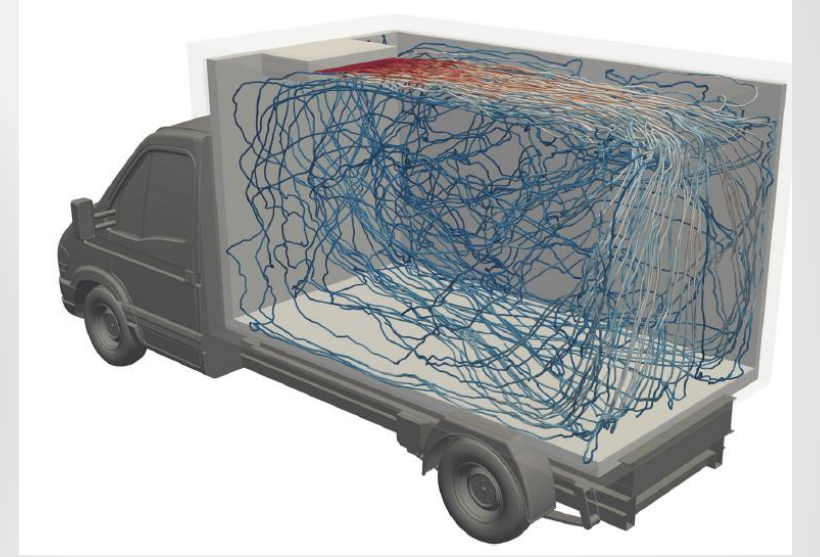
LBM Uygulamaları



Türbülanslı Akışlar: Türbülanslı kanal akışı, anlık vortisite alanının izohacim temsili (Open LB) - [Hausmann vd. 2019, Comput. Math. Appl.]



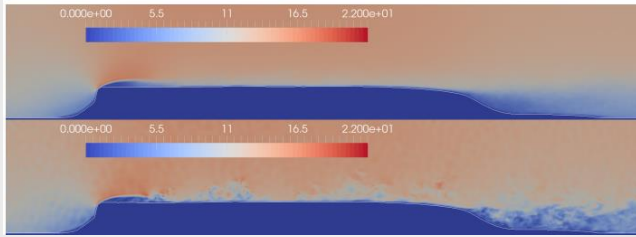
Türbülanslı Akışlar: Hız büyüklüğü ile renklendirilmiş vortisite eş yüzeyleri ile temsil edilen slat ve flap yuvasındaki anlık akış (ProLB) – [Soni vd. 2022, AIAA]



Termal Akışlar: Soğutmalı aracın içindeki hava akışının akım çizgileri ile temsili (Open LB) - [Gaedtke vd. 2018, Comput. Math. Appl.]

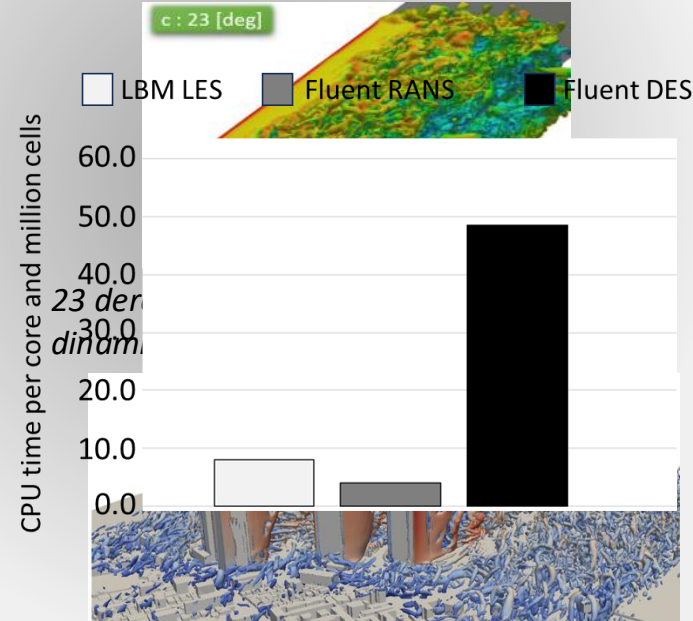
LBM Uygulamaları

- ❖ Arazi bölgesinde atmosferik rüzgar akışlarının incelenmesi– **Palabos (Schubiger - 2020)**
- ❖ Ayrılmış türbülanslı akış incelenmesi (küt cisimlerin iz bölgesi,dinamik perdövites vs.) **Xflow (Chavez - 2020)**
- ❖ Yüksek Reynolds sayılı otomotiv akışları– **ultraFluidX (Niedermeier - 2018)**
- ❖ Yüksek binalar etrafındaki rüzgar yüklerinin incelenmesi – **ProLB (Feng – 2021)**



Tepe boyunca elde edilen hız alanı– **Palabos [1]**

	Error at 2 m (%)	Error at 5 m (%)	Average error (%)
Palabos LES	15.7	0.3	8.0
Fluent RANS	14.6	5.5	10.0
Fluent DES	27.4	7.1	17.3



Binalar etrafında hız büyüklüğü ile renklendirilmiş Q kriteri
Tokyo Shinjuku Modeli - **ProLB [4]**

Karşılaştırma parametresi: rüzgar hızındaki değişim

[1] Schubiger Wind Energy Science Discussion (2020))

[2] Chavez-Modena, et al., Energies (2020))

[3] Niedermeier, et al., WCCM XIII (2018))

[4] Feng et al., Advances in Modeling Earth System (2021))