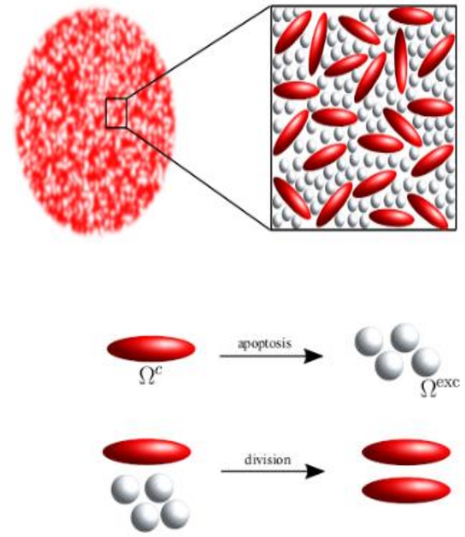
رشد در یک سامانه نماتیک پویا

ملکی، فروه ; نجفی، علی
دانشکده فیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه
گاوازنگ، زنجان

مقدمه

رشد و ریخت زایی در سامانه‌های زیستی از جمله بافت سرطانی و کلونی باکتریایی از چالش‌های مهم در حوزه پزشکی و ایمنی غذایی هستند. بژوهش زیادی در مورد اساس ژنتیکی و مولکولی این سیستم ها انجام شده است، اما مکانیسم های فیزیکی آنها به ندرت مورد مطالعه قرار گرفته است. ما در این مقاله، به منظور بررسی این سامانه‌ها، توصیفی مایع میان سلولی) در حال رشد ارایه می‌دهیم و سپس ناپایداریهیدرودینامیکی از یک سامانه دو جزیی (سلول‌های نماتیک پویا و را در این سامانه بررسی می‌کنیم. مشاهده خواهیم کرد پویایی و اثرات رشد باعث القای ناپایداری وانتشار امواج در سامانه می‌شوند.



شکل۱ :یک سامانه دو فازی در حال رشد متشکل از فاز سلول و مایع خارج سلولی. در مقیاس زمان‌های بزرگتر زمان مشخصه تقسیم سلولی و مقیاس طولی بزرگتر از اندازه یک سلول، فاز سلول به عنوان یک سیال در نظر گرفته می‌شود. طی مرگ سلول با نرخ k_a، یک سلول با حجم Ω^c به Ω^c/Ω^{exc} عدد ذره سیال تبدیل شده و در تشکیل سلول با نرخ k_d، Ω^c/Ω^{exc} عدد ذره سیال به یک سلول جدید تبدیل می‌شوند.

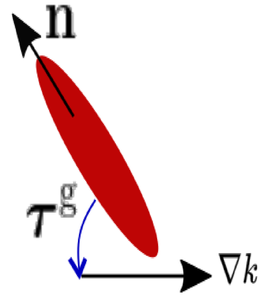
هیدرودینامیک سامانه نماتیگ پویای در حال رشد

بافت را سامانه‌ای دو بعدی متشکل از دو جزء، ذرات نماتیک قطبی پویا (فاز سلول) و مایع خارج سلولی در نظر می‌گیریم. ناهمسانگردی ذرات در فضا که در راستای محور اصلی (محور کشیدگی) آنها است، با بردار یکه $\mathbf{n}$ مشخص می‌شود. در مجموع این سامانه توسط کسر حجمی فاز سلول ϕ، میدان سرعت $\mathbf{v}$ دو سیال و میدان جهت گیری $\mathbf{n}$ مشخص می‌شود. معادلات حاکم بر این سامانه به شرح زیر است:

$$\partial_t \phi + \nabla.(\phi \mathbf{v}^c) = k\phi$$

$$\boldsymbol{\nabla} \cdot \boldsymbol{\sigma} = 0$$

$$\frac{\mathrm{D}\mathbf{n}}{\mathrm{D}t} = \frac{\mathbf{h}}{\gamma} + \boldsymbol{\tau}^{\mathrm{g}}$$



شکل۲ : یک ذره‌ی پویا و قطبی در محیطی با گرادیان نرخ رشد تمایل به جهت گیری به سمت ناحیه با نرخ رشد کمتر دارد. گشتاور وارد بر تک سلول:

$$\boldsymbol{\tau}^g = \acute{\beta}(\boldsymbol{nn} - \boldsymbol{\delta}) \cdot \boldsymbol{\nabla} k$$

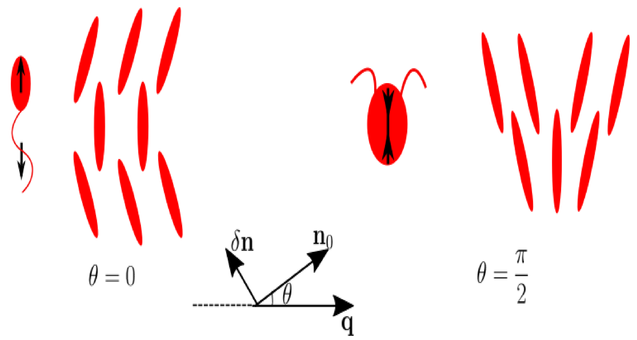
نتایج

نتایج آنالیز خطی و بررسی پایداری سامانه در انحراف از حالت هموستاتیک با جهت گیری یکنواخت ذرات، بصورت زیر بدست می‌آید:

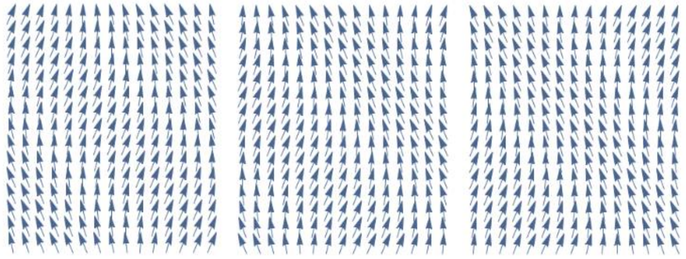
$$\omega = i\tau_r^{-1} + v(\mathbf{q}, \mathbf{n}_0)q$$

$$v(\mathbf{q}, \mathbf{n}_0) = \frac{2a\beta \sin^2\theta \cos\theta}{\zeta + \eta + \bar{\kappa}}$$

$$\tau_r^{-1} = \frac{a}{2(\eta + \bar{\kappa})}\cos 2\theta - \frac{\bar{K}_s \sin^2\theta + \bar{K}_b \cos^2\theta}{(\eta + \bar{\kappa})/(\eta + \bar{\kappa} + \gamma/4)}$$



شکل۳: شکل سمت جپ (راست) ذره پویا به عنوان دو قطبی نیرو با قدرت $a > 0$ $(a < 0$ و ناپایداری خمشی (گسترشی) القا شده در سامانه. تانسور نش پویایی برابر است با: $\boldsymbol{\sigma}^a = -a\boldsymbol{nn}$



شکل٤ : انتشار امواج افت و خیزها در نتیجه همبستگی رشد و جهت گیری ذرات قطبی

مراجع

[1] Marchetti, M. Cristina, et al. "Hydrodynamics of soft active matter." Reviews of modern physics **85.3** (2013): 1143.

[2] Ranft, J., et al. "Tissue dynamics with permeation." The European Physical Journal E 35.6 (2012): 1-13

[3] Doostmohammadi, Amin, et al. "Active nematics." Nature communications **9.1** (2018): 1-13.

[4] Landau, Lev Davidovich, et al. Theory of elasticity: volume **7.** Vol. 7. Elsevier, 1986.