

## خصوصیات و کاربرد زیست‌فعالان سطحی (بیوسورفکتانت‌ها)

ایران عالم‌زاده (استاد)

شیرین ترحم‌جو (کارشناس ارشد)

پریوش مصلحی مصلح‌آبادی (دانشور)

مرکز تحقیقات بیوشیمی و کنترل محیط زیست

دانشکده‌ی مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی شریف

زیست‌فعالان سطحی<sup>۱</sup> که حاصل فرایندهای زیست‌فناوری‌اند، از ترکیبات کاهنده‌ی کشش سطحی<sup>۲</sup> هستند که از طریق ریزاندامگان<sup>۳</sup> یا آنزیم‌ها تولید می‌شوند. دو خصوصیت مهم این مواد - تجزیه‌پذیری زیستی و تولید از طریق منابع تجدیدپذیر - باعث شده از آنها به‌عنوان جایگزین مناسب کاهندگان کشش سطحی شیمیایی استفاده شود. البته دلیل عمده‌ی کاربرد محدود زیست‌فعالان سطحی، مسائل اقتصادی است که با بهبود فناوری تولید می‌توان به این مشکل نیز غلبه کرد.

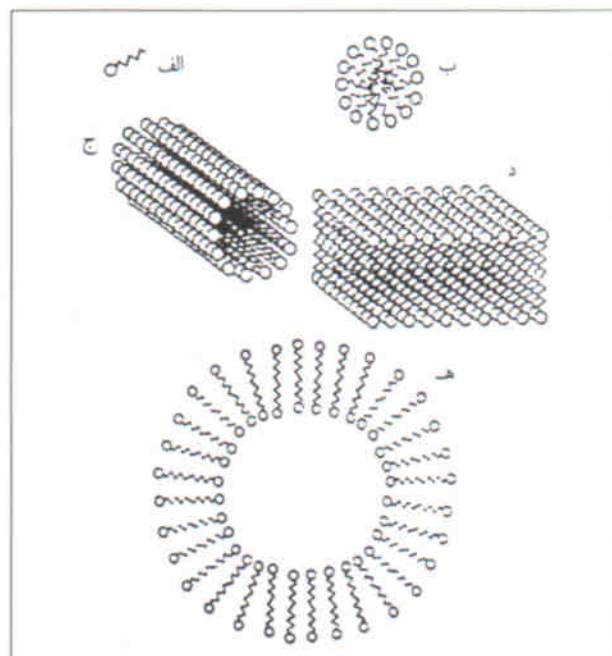
### مقدمه

قطبیت متفاوت مانند آب - روغن، آب - هوا یا آب - جامد قرار گیرند. در واقع این خصوصیت ناشی از توانایی این مواد در کاهش کشش سطحی به‌دلیل تأثیر در آرایش مولکول‌ها و تحت تأثیر قراردادن اتصال‌های هیدروژنی و تأثیرات متقابل آب‌دوست - آب‌گریز است. کاهندگان کشش سطحی در چهار گروه مختلف آنیونی، کاتیونی، غیریونی، و آمفوتری جای می‌گیرند و در صنایع مختلف داروسازی، آرایشی بهداشتی، شوینده‌ها، صنایع غذایی، پتروشیمی، کشاورزی، مطابق جدول ۱ مطرح‌اند.

کاهندگان کشش سطحی، مولکول‌هایی آمفی‌فیلیک<sup>۴</sup> آند به این مفهوم که دارای دو محتوای آب‌دوست<sup>۵</sup> و آب‌گریز<sup>۶</sup> در کنار هم هستند.<sup>[۲،۱]</sup> این مواد قادرند شکل‌های میسلی<sup>۷</sup> یا میسلی معکوس، کروی یا میله‌یی را تشکیل دهند. شکل‌های مختلف کاهندگان کشش سطحی در شکل ۱ نمایش داده شده است.<sup>[۳]</sup>

کاهندگان کشش سطحی می‌توانند در فصل مشترک فازها با

با توجه به کاربرد گسترده‌ی کاهندگان کشش سطحی، علاوه بر روش‌های تولید شیمیایی آنها روش‌های زیست‌شیمیایی برای تولید آنها نیز مطرح می‌شود که در این صورت زیست‌فعال سطحی شناخته می‌شود که می‌توان آن را از طریق میکروبی یا آنزیمی تهیه کرد.



شکل ۱. اشکال مختلف کاهندگان کشش سطحی: الف) تک‌پار<sup>۸</sup>؛ ب) میسل کروی؛ ج) میسل میله‌یی؛ د) نوع لایه‌یی؛ ه) آبدانه<sup>[۳]</sup>

جدول ۱. طبقه‌بندی کاهندگان کشش سطحی و موارد مصرف آنها<sup>[۴]</sup>

نوع	مثال	% تولید	کاربرد
آنیونی	کربوکسیلات، سولفونات، استرسولفوریک‌اسید	۶۶	بوده‌های شوینده
کاتیونی	آمین‌اکسید، متوآمین، نمک آمین نوع چهارم	۹	نرم‌کننده و شامپو
غیریونی	استرکربوکسیلیک‌اسید، گلیسرید، استرکربوهیدرات و مشتق اتوکسیله‌ی آنها	۲۴	شوینده‌ها، مواد بهداشتی و غذایی
آمفوتر	آلکیل‌بنین، آلکیل‌دی‌متیل آمین، مشتق ایمیدازولینوم	-۶	مصارف ویژه

## زیست فعال سطحی میکروبی

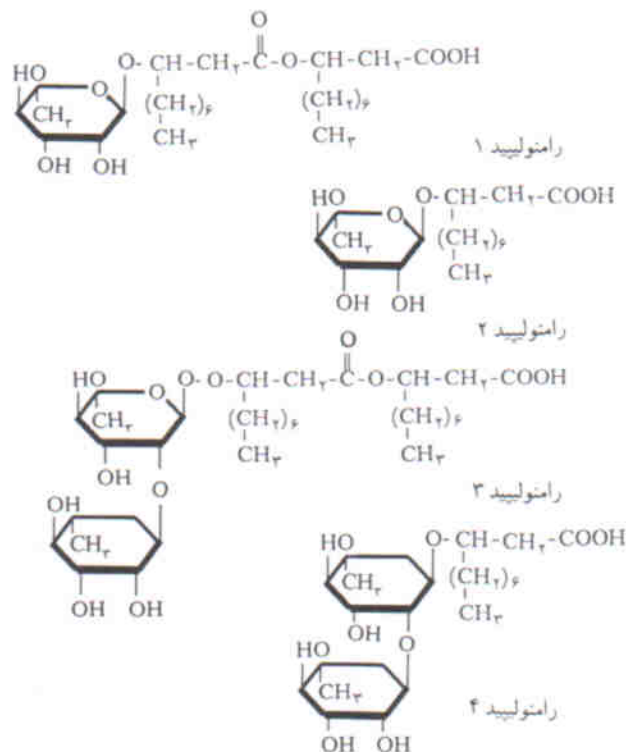
گونه‌های بسیاری از ریزاندامگان قادرند این ترکیبات را تولید کنند. مزایای تولید زیست‌شیمیایی این مواد مشتعل است بر: گسترده‌گی ساختمانی زیست‌فعالان سطحی که توسط ریزاندامگان تولید می‌شوند و توجه به این مطلب که ساخت چنین ترکیبات پیچیده‌یی در مقیاس عملی از طریق شیمیایی میسر نیست. به دلیل تجزیه پذیری، کاهندگان کشش سطحی مسائل زیست محیطی کمتری ایجاد می‌کنند. روش تخمیر برای تولید انبوه این مواد، مقرون به صرفه است.

مشکل عمده در تولید این مواد، غلظت پایین محصول در مخلوط تخمیری است که به ندرت از حدود ۱۰ گرم بر لیتر تجاوز می‌کند. علاوه بر این مشکل بازیافت محصول با توجه به مخلوط تخمیری نیز از مسائل قابل طرح است.<sup>[۱۲]</sup>

## انواع مهم زیست فعالان سطحی میکروبی

### ۱. گلیکولیپیدها

این گروه شامل لیپیدهای متصل به فروکتوز، رامنوز، تری‌هالوز و ساکاروزند. از جمله زیست فعالان سطحی که مطالعات وسیعی روی آن انجام شده، رامنولیپید است که در شکل ۲ مشاهده می‌شود و از منابع میکروبی پَسودوموناس آنروژینوزا<sup>۱</sup> و نیز پَسودوموناس فلونورسانس<sup>۱۱</sup> تولید می‌شود.<sup>[۱۳]</sup>



شکل ۲. انواع رامنولیپیدها.

### ۲. فسفولیپیدها و اسیدهای چرب

گونه‌های خاص از باکتری‌ها و مخمرها قادر به تولید مقادیر قابل توجهی از فسفولیپیدها و اسیدهای چرب در محیط کشت حاوی  $\text{Pi}$ -آلکان‌ها هستند. از مهم‌ترین زیست فعالان سطحی، اسیدهای چرب اشباع در محدوده  $\text{C}_{14}$ - $\text{C}_{17}$  هستند. مثلاً آرتروباکتر AK-۱۹ و نیز پَسودوموناس آنروژینوزا ۴۴T۱ در صورتی که روی هگزادکان و روغن زیتون کشت شوند قادر به تولید حدوداً ۴۰ تا ۸۰ درصد وزنی لیپید هستند.<sup>[۱۴]</sup>

### ۳. لیپیدها و آمینواسیدهای حاوی لیپید

این ترکیبات از قوی‌ترین کاهندگان کشش سطحی شناخته شده‌اند. سورفکتین که از زیست فعالان سطحی این گروه است، حاوی ۷ آمینواسید متصل به مولکول ۳-هیدروکسی-۱۳-متیل تترادکانونیک اسید است و از باسیلوس سوبتیلیس<sup>۱۱</sup> حاصل می‌شود. همچنین کاهنده‌ی کشش سطحی مشابه توسط باکتری باسیلوس لیچنیفرمیس تولید می‌شود که در شکل ۳ مشاهده می‌شود توسط اتصال لاکتون به ساختمان حلقوی پپتید - بخش آب دوست آن - متصل است.

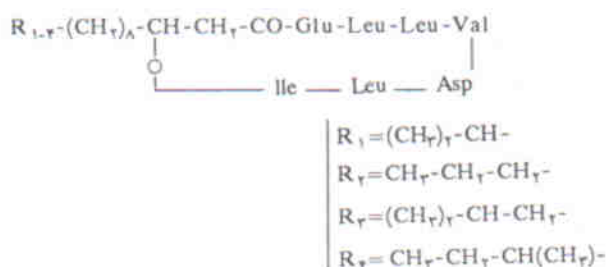
ترکیبات این گروه علاوه بر خاصیت کاهندگی کشش سطحی، به علت خصوصیات آنتی بیوتیکی نیز مطرح‌اند. جدول ۲ برخی از زیست فعالان سطحی با خواص آنتی بیوتیکی را نشان می‌دهد.

### ۴. زیست فعالان سطحی بسیاری<sup>۱۲</sup>

بسیارهای زیستی با وزن مولکولی بالا خواص مفیدی از جمله گرانروی<sup>۱۳</sup> بالا، قدرت کشش و مقاومت در برابر برش از خود نشان می‌دهند. زیست فعالان سطحی بسیاری از جمله امولسان، لیپوسان و سایر کمپلکس‌های پروتئین-پلی ساکاریدی در این گروه قرار دارند. لیپوسان توسط کاندیدا لیپولیتیکا تولید می‌شود و وزن مولکولی آن حدوداً ۲۷ کیلو دالتون و حاوی ۸۳٪ کربوهیدرات است. این ترکیب قادر به پایدار کردن امولسیون‌های روغن-آب است.<sup>[۱۳]</sup>

### ۵. زیست فعالان سطحی ذره‌یی

انباشته شدن کیسه‌های کوچک غشایی خارج سلولی با قطر ۲۰ تا ۵۰



شکل ۳. ساختمان کاهنده‌ی کشش سطحی تولید شده توسط باسیلوس لیچنیفرمیس.<sup>[۱۳]</sup>

جدول ۲. خواص آنتی‌بیوتیکی بعضی از زیست‌فعالان سطحی در گروه لیپیدی - آمینواسیدی.

گروه	زیست‌فعال سطحی	ریزاندامگان	فعالیت آنتی‌بیوتیکی
لاکتون‌ها	اسیرین	باسیلوس مزتریوکوس	باکتری‌کش
	سورفکین	باسیلوس سوبتیلیس	باکتری‌کش
	سوبتیلیس		قارچ‌کش
	استریتولین		
لیپوپپتیدهای خطی	پلی‌پپتین	باسیلوس سرکولانس	باکتری‌کش
	بروبتین	باسیلوس برویس	باکتری‌کش، گرم منفی
	ساب‌اسپورین	باسیلوس سوبتیلیس	قارچ‌کش
لیپوپپتیدهای غیرخطی	سرکسین	باسیلوس سرنوس	باکتری‌کش، گرم مثبت
	تری‌دکاتین	باسیلوس پلی‌میکسا	باکتری‌کش

## انواع مهم زیست‌فعالان سطحی آنزیمی<sup>[۴]</sup>

### ۱. منوگلیسریدها

این ترکیبات و مشتق‌های آنها به‌طور گسترده در صنایع غذایی به‌عنوان شیرابه‌ساز<sup>۱۵</sup> به کار می‌روند. گلیسرین‌کافت<sup>۱۶</sup> آنزیمی چربی‌ها و روغن‌ها در مخلوط‌های بدون حلال و شرایط تقریبی عنصرسنجی<sup>۱۷</sup> (استوکيومتری) پیش‌ماده‌ها<sup>۱۸</sup> (سوبستراها) و در دمای متوسط به کمک لیپازهای ۱ و ۳ صورت می‌گیرد. در مورد لیپیدهای حیوانی و گیاهی با استفاده از این روش، بازدهی ۹۰٪ حاصل شده است.

### ۲. استرهای قندی<sup>[۴،۵]</sup>

این ترکیبات به‌عنوان گندزدا<sup>۱۹</sup> و شیرابه‌ساز در صنایع غذایی کاربرد دارد و با انتخاب قند مناسب و چربی، بیوستز استر در شرایط آنزیمی امکان‌پذیر است.

### ۳. فسفولیپیدها

لستین خام به‌دست آمده از روغن‌های گیاهی، مخلوط پیچیده‌ی از فسفولیپیدهاست و اجزاء اصلی آن فسفاتیدیل کولین و فسفاتیدیل اتانل آمین است و کاربرد گسترده‌ی در صنایع مختلف از جمله رنگ، چرم، دارو، مواد غذایی، قنادی و نانوبی دارد. با استفاده از آنزیم‌های لیپاز و فسفولیپاز می‌توان فسفولیپیدهای دلخواه را نیز از آن تولید کرد.

### ۴. کاهنده‌های کشش سطحی حاوی اسید آمینه

استرهای آمینواسیدی و آمیدها از خصوصیات شیرابه‌سازی مناسبی برخوردارند و به‌دلیل برخورداری از خاصیت آنتی‌بیوتیکی، به‌عنوان افزودنی غذایی کاربرد دارند.

### ۵. آلکیل گلوکوزیدها

این ترکیبات نیز مانند سایر کاهنده‌های کشش سطحی از خصوصیت تجزیه‌پذیری زیستی و تولید از طریق منابع تجدیدپذیر برخوردارند و نیز از استرهای قندی در شرایط قلیایی پایدارترند. کاربرد آنها در صنایع دارویی و شوینده‌ها مورد توجه است. در تولید این استرها از سیستم دوفازی آبی-آلی استفاده شده و آنزیم مورد نیاز گلیکوزیداز تثبیت شده است که در محلول قندی، یعنی فاز آبی، سوسپانسیون می‌شود و الکل‌های چرب با زنجیر متوسط نیز فاز آلی را تشکیل می‌دهند. خلوص استرهای تشکیل شده طی فرایند آنزیمی، بیش از ۹۵ درصد است.

نانومتر توسط گونه‌ی باکتری اسپنتوباکتر گزارش شده است. این کیسه‌ها که حاوی پروتئین - فسفولیپید و لیپوپلی ساکاریدند، قادر به امولسیون کردن هیدروکربن‌ها هستند.<sup>[۲]</sup>

## زیست‌فعالان سطحی آنزیمی

پیشرفت‌های اخیر در به‌کارگیری آنزیم‌ها در محیط‌های غیرمتداول به‌ویژه در حلال‌های آلی، زمینه‌ی جدیدی را برای تحقیقات در مورد سنتز زیست‌شیمیایی مواد مطرح کرده است. دو دلیل عمده‌ی به‌کارگیری آنزیم‌ها در تولید کاهنده‌های کشش سطحی عبارتند از:

۱. به‌کارگیری مواد تجدیدپذیر در تولید فراورده‌های زیست‌فناوری؛
۲. کاهش مشکلات زیست‌محیطی.

اما مشکل اساسی در به‌کارگیری آنزیم‌ها در تولید ترکیبات کاهنده‌ی کشش سطحی، تفاوت در حلالیت اجزاء مخلوط واکنش است که با توجه به این که آنزیم‌ها قادرند تحت شرایط نزدیک به حالت بدون آب به‌خوبی عمل کنند، این مشکل نیز برطرف می‌شود. در بیوستز کاهنده‌های کشش سطحی از آنزیم‌های لیپاز، فسفولیپاز، پروتاز، گلیکوزیداز استفاده می‌شود.<sup>[۵،۴،۱]</sup>

سنتز آنزیمی در واقع یک سنتز آلی است که در آن آنزیم‌های آبکافتی<sup>۱۲</sup> جایگزین کاتالیزورهای متداول شده‌اند. در تولید زیست‌فعالان سطحی میکروبی، عمل بیوستز توسط مجموعه‌ی از آنزیم‌ها در سلول‌هایی که از نظر سوخت و ساز فعال‌اند صورت می‌گیرد. البته ریزاندامگان قادر به تولید ترکیبات پیچیده‌ی هستند که تولید آنها با روش‌های دیگر مقدور نیست. اما ایجاد ترکیبات خاص مورد نظر توسط ریزاندامگان به‌سادگی میسر نیست، در حالی که می‌توان با استفاده از آنزیم‌ها، گستره‌ی وسیعی از کاهنده‌های کشش سطحی را ایجاد کرد.

## نتیجه‌گیری

مسیر بیوستتر ریزاندامگان امکان‌پذیر است. با به‌کارگیری آنزیم‌ها برای تولید زیست‌فعالان سطحی علاوه بر کاهش مشکلات زیست‌محیطی و کاهش میزان انرژی مصرفی می‌توان طیف گسترده‌ی از کاهندگان کشش سطحی را با خصوصیات مطلوب تولید کرد تا جایگزین مناسبی برای زیست‌فعالان سطحی شیمیایی باشند.

زیست‌فعالان سطحی به‌عنوان محصولات زیست‌فناوری در صنایع مختلف دارویی، غذایی، بهداشتی، شوینده‌ها، رنگ‌ها و چرم کاربرد دارد. این محصولات زیست‌فناوری با استفاده از ریزاندامگان خاص قابل‌تهیه‌اند لیکن تولید میکروبی محصول خاص از زیست‌فعالان سطحی، معمولاً با ایجاد تغییرات ژنتیک در

## منابع

1. Erbdinger, N., Ni, and Halling, P.J. "Enzymatic synthesis with mainly undissolved substrates at very high concentration." *Enz. Mic. Tech.* **23**, pp. 141-148 (1998).
2. *Biosurfactants, (Production, Properties, Application)*, Kosaric, N. ed, Published by Marcel Dekker Inc, (1993).
3. Fiechter, R. "Biosurfactants: moving towards industrial application." *Trends in Biotech.* **10**, pp. 208-214 (1992).
4. Sarney, D.B. and Vulfson, E.N. "Application of enzymes to the synthesis of surfactants." *Trends in Biotech.* **13**, pp. 164-172 (1995).
5. Dueret, A., Giroux, A., Trani, M. and Lortie, R. "Enzymatic preparation of biosurfactants from sugars or sugar alcohols and fatty acids in organic media under reduced pressure," *Biotech. Bioeng.* **48**, pp. 214-221 (1995).
6. Yan, Y., Bornscheuer, U.T., Cao, L. and Schmid, R.D. "Lipase catalysed solid-phase synthesis of sugar fatty acid esters removal of byproducts by azeotropic distillation." *Enz. Mic. Tech.* **25**, pp. 725-728 (1999).

## پانوشتها

1. biosurfactants
2. surfactant
3. microorganism
4. amphiphilic
5. hydrophile
6. hydrophobe
7. micellic
8. monomer
9. *Pseudomonas aeruginosa*
10. *Pseudomonas flourescens*
11. *Bacillus subtilis*
12. polymeric
13. viscosity
14. hydrolytic
15. emulciphier
16. glycerolysis
17. stoichiometry
18. substrates
19. detergent