

به نام خدا

بیوفیلم میکروبی

مولفان :

دکتر رضا حبیبی پور

دانشیار، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان

فاطمه گلی پور

مدرس میکروبی شناسی دانشگاه

انتشارات ارسطو

(سازمان چاپ و نشر ایران - ۱۴۰۵)

نسخه الکترونیکی این اثر در سایت سازمان چاپ و نشر ایران و اپلیکیشن کتاب رسان موجود می باشد

Chaponashr.ir



سرشناسه: حبیبی پور، رضا، ۱۳۵۳
عنوان و نام پدیدآورگان: بیوفیلیم میکروبی / مولفان: رضا حبیبی پور، فاطمه گلی پور
مشخصات نشر: انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)، ۱۴۰۵.
مشخصات ظاهری: ۲۲۰ ص.
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۱۲۹-۴۲۸-۲
شناسه افزوده: گلی پور، فاطمه، ۱۳۶۸
وضعیت فهرست نویسی: فیبا
یادداشت: کتابنامه.
موضوع: بیوفیلیم میکروبی
رده بندی کنگره: TP ۹۸۳
رده بندی دیویی: ۶۶۸/۵۵
شماره کتابشناسی ملی: ۸۹۸۷۴۵۲۳
اطلاعات رکورد کتابشناسی: فیبا

نام کتاب: بیوفیلیم میکروبی
مولفان: دکتر رضا حبیبی پور - فاطمه گلی پور
ناشر: انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)
صفحه آرای، تنظیم و طرح جلد: الهام غفاری
تیراژ: ۱۰۰۰ جلد
نوبت چاپ: اول - ۱۴۰۵
چاپ: زبرجد
قیمت: ۳۸۰۰۰۰ تومان
فروش نسخه الکترونیکی - کتاب رسان:
<https://:chaponashr.ir/ketabresan>
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۱۲۹-۴۲۸-۲
تلفن مرکز پخش: ۰۹۱۲۰۲۳۹۲۵۵
www.chaponashr.ir



فهرست

فصل اول / مفاهیم کلیدی و اولیه بیوفیلم	۱۱
مقدمه	۱۳
بیوفیلم	۱۵
تاریخچه بیوفیلم	۱۶
ویژگی‌های بیوفیلم	۱۷
انتشار بیوفیلم	۱۹
فصل دوم / ساختار بیوفیلم و مزایا و معایب آن	۲۱
ساختار بیوفیلم	۲۳
مراحل تشکیل بیوفیلم	۲۴
(۱) اتصال برگشت‌پذیر	۲۴
(۲) اتصال برگشت‌ناپذیر	۲۵
(۳) بلوغ بیوفیلم	۲۵
(۴) انفصال و پراکنش	۲۶
کوئوروم سنسینگ و بیوفیلم میکروبی	۲۷
عوامل مؤثر بر تشکیل بیوفیلم	۳۳
(۱) مناسب بودن سطح مورد نظر	۳۳
(۲) جنس سطح مواد	۳۴
(۳) صاف و صیقلی بودن سطح	۳۴
(۴) آنزیم‌های تنفسی	۳۴
(۵) در دسترس بودن مواد غذایی	۳۴

۳۴.....	۶) تغییرات دما
۳۵.....	۷) PH
۳۵.....	۸) نوع قند به کار رفته در کشت میکروارگانیزم
۳۶.....	مزایا و معایب بیوفیلیم
۳۶.....	الف) مزایای بیوفیلیم
۳۶.....	۱) کاربردهای بیوفیلیم در بیوتکنولوژی
۳۷.....	ب) معایب بیوفیلیم
۳۷.....	۱) آسیب‌های ناشی از بیوفیلیم‌ها در صنعت
۳۸.....	۲) بیوفیلیم‌ها در صنایع غذایی
۴۰.....	۳) بیوفیلیم‌ها در سیستم‌های پزشکی
۴۳.....	فصل سوم/ انواع بیوفیلیم میکروبی
۴۵.....	بیوفیلیم قارچی
۴۸.....	عوامل مؤثر در تشکیل بیوفیلیم قارچی
۴۸.....	۱) رطوبت
۴۸.....	۲) شرایط محیطی
۴۸.....	۳) نوع بستر (خصوصیات سطح تماس)
۴۹.....	۴) مواد مغذی
۴۹.....	۵) تفاوت گونه‌ها
۵۰.....	۶) جریان سیال
۵۰.....	۷) PH
۵۱.....	بیوفیلیم‌های آبی
۵۲.....	نقش بیوفیلیم‌های آبی در پاکسازی محیط زیست
۵۵.....	فصل چهارم/ مقاومت بیوفیلیم
۵۷.....	مقاومت آنتی‌بیوتیکی بیوفیلیم‌ها
۵۹.....	مکانیزم‌های مقاومت آنتی‌بیوتیکی بیوفیلیم
۶۰.....	الف) نفوذ محدود عوامل ضد میکروبی
۶۱.....	ب) وجود ریز محیط‌های شیمیایی تغییر یافته
۶۱.....	ج) سلول‌های پرسپستر
۶۲.....	د) مقاومت از طریق آنزیم
۶۲.....	هـ) واکنش خنثی‌سازی عوامل ضد میکروبی توسط بیوفیلیم

۶۲.....	و) حالت متابولیک ارگانیزم‌ها در بیوفیلم
۶۳.....	ز) سازش ژنتیکی
۶۳.....	تأثیر آنتی‌بیوتیک و سیستم ایمنی بر علیه بیوفیلم
۶۴.....	گریز از سیستم ایمنی در بیوفیلم‌ها
۶۴.....	مقاومت جهشی و انتقال ژن
۶۷.....	فصل پنجم/ روش‌های مطالعه بیوفیلم
۶۹.....	روش‌های مطالعه بیوفیلم
۶۹.....	۱) روش‌های فنوتیپی و روش‌های مولکولی
۷۰.....	۲) روش‌های کمی و کیفی
۷۰.....	۳) روش‌های مبتنی بر فعالیت متابولیکی و زنده‌مانی سلول
۷۱.....	۴) تکنیک‌های الکتروشیمیایی
۷۱.....	- استفاده از میکروسکوپ‌ها
۷۳.....	- میکروتیتر پلیت
۷۵.....	- روش رنگ‌آمیزی کریستالوویله
۷۶.....	- آزمون MTT
۷۶.....	- آزمون XTT
۷۸.....	- رنگ‌آمیزی رزازورین
۷۸.....	- سنجش فلوروسیندیاستات (FDA)
۷۸.....	- تعیین شمارش کلنی در واحد سطح (شمارش CFU) (واحدهای تشکیل دهنده کلنی)
۷۹.....	- روش لوله
۸۰.....	- روش TISSUE CULTURE PLATE
۸۰.....	- روش‌های مولکولی
۸۱.....	- روش ردیابی ذرات منفرد
۸۱.....	- روش‌های بررسی حساسیت ضد میکروبی بیوفیلم‌ها
۸۳.....	فصل ششم/ مهارکننده‌های بیوفیلم و تکنیک‌های مقابله با تشکیل بیوفیلم
۸۵.....	مهارکننده‌های بیوفیلم و تکنیک‌های مقابله با تشکیل بیوفیلم
۸۵.....	- مهارکننده‌های طبیعی بیوفیلم
۸۹.....	- عصاره‌های گیاهی
۸۹.....	- عصاره انار
۹۰.....	- عصاره فیکوس

- ۹۱..... عصاره آویشن
- ۹۲..... عصاره گیاه رازک
- ۹۳..... عصاره گیاهان مریم‌گلی، سرخارگل، شیرین بیان
- ۹۴..... عصاره گیاهان کلپوره، چای سبز و فلفل سیاه:
- ۹۵..... عصاره گیاهان کنوکارپوس/ارکتوس، بوسیدا/بوکراس و کالیستمون ویمینالیس
- ۹۵..... CYCLAMEN COAM عصاره گیاه
- ۹۶..... LYCIUM CHILENSE و SCHINUS FASCICULATUS عصاره گیاهان
- ۹۶..... SCHINUS FASCICULATUS عصاره
- ۹۷..... اسانس‌های گیاهی
- ۱۰۰..... اسانس آویشن شیرازی
- ۱۰۲..... اسانس بوته یا درختچه چای
- ۱۰۲..... اسانس گیاه میخک
- ۱۰۳..... اسانس گیاه بن‌سرخ
- ۱۰۳..... اسانس گیاه بابونه
- ۱۰۴..... گیاه اکالپتوس
- ۱۰۵..... GUTIERREZIA MICROCEPHALA گیاه
- ۱۰۵..... گیاه کاسنی
- ۱۰۵..... گیاه نعنای فلفلی
- ۱۰۶..... گیاه مرزه خوزستانی
- ۱۰۶..... گیاه گل بی‌مرگ
- ۱۰۷..... گیاه رازیانه
- ۱۰۷..... گیاه پنیرک
- ۱۰۸..... گیاه زنجبیل چینی
- ۱۰۸..... سینامالدهید
- ۱۰۹..... اسیدهای فنلی
- ۱۰۹..... مهارکننده‌های شیمیایی بیوفیلیم
- ۱۱۰..... نانوتکنولوژی
- ۱۱۱..... نانوذرات
- ۱۱۲..... کاربردهای نانوذرات به عنوان عوامل ضد میکروبی
- ۱۱۸..... الف) غلظت

ب) اندازه	۱۱۸
ج) شکل	۱۲۰
د) گونه باکتریایی	۱۲۰
هـ) زبری سطح	۱۲۰
و) پتانسیل زتا	۱۲۱
ز) دوز بهینه	۱۲۲
ح) شرایط محیطی	۱۲۲
ط) اصلاح سطح (DOPING MODIFICATION)	۱۲۳
ی) حذف و پاکسازی	۱۲۴
- ویژگی‌های فارماکوکینتیک و فارماکودینامیک نانوذرات	۱۲۵
- مکانیسم‌های برهمکنش باکتریها و نانوذرات	۱۲۶
برهمکنش سلول- نانو مواد	۱۲۷
۱- آسیب به غشاء	۱۲۷
۲- آزادسازی یون	۱۳۰
- فعالیت ضدبیوفیلمی	۱۳۱
- تأثیر نانوذرات در IN VITRO	۱۳۲
- تأثیر نانوذرات بر سلول‌ها در محیط IN VIVO (درون تن)	۱۳۳
- انواع نانوذرات	۱۳۴
- نانوذرات آلی	۱۳۵
الف) نانولیپوزوم‌ها	۱۳۵
ب) نانوذرات اصلاح شده با لیپوزوم و میسل‌ها	۱۳۶
ج) نانوذرات پلیمری	۱۳۶
د) نانوذرات لیپیدی جامد	۱۳۷
هـ) نانودندریمر	۱۳۸
و) نانوذرات پلیمری کاتیونی	۱۴۰
ز) ترکیبات آمونیم چهار ظرفیتی	۱۴۱
ح) پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی چهار ظرفیتی	۱۴۱
ط) ترکیبات N-هالامین	۱۴۲
ی) تریکلوزان	۱۴۲
ک) نانوذرات کیتوزان	۱۴۲

۱۴۳	- نانوذرات غیر آلی
۱۵۳	- جذب
۱۵۳	- خواص ضد میکروبی
۱۵۸	- خصوصیات دارویی دیگر
۱۷۴	- کاربردهای ضدقارچی نانوذرات
۱۷۸	- ارزیابی فعالیت ضد میکروبی نانوذرات
۱۸۰	- مزایای نانوذرات
۱۸۲	- معایب نانوذرات
۱۸۴	- پوشش‌های نانوساختار
۱۸۶	- استفاده از نانوذرات به عنوان حامل‌های آنتی‌بیوتیک
۱۸۹	- پتیدهای ضد میکروبی
۱۸۹	- پوشش سطحی
۱۹۰	- درمان ترکیبی
۱۹۴	- هالوژن‌ها
۱۹۵	- بیوسایدها
۱۹۵	- باکتریوفاژها
۱۹۶	- پراکسید هیدروژن
۱۹۷	- لاکترابی
۱۹۷	- مهار کوئروم سنسینگ و مهار تشکیل بیوفیلم
۱۹۸	- آنزیم‌ها
۱۹۸	- سورفاکتانت‌ها
۱۹۹	- برم‌هگزین
۱۹۹	منابع

فصل اول

مفاهیم کلیدی و اولیه بیوفيلم

مقدمه

امروزه ظهور مقاومت در میکروارگانیسم‌ها به یک نگرانی جدی پیرامون افزایش عفونت‌های میکروبی مبدل شده است. از بین بردن باکتری‌های مقاوم به دارو در بالین به سختی انجام می‌شود که باعث افزایش هزینه‌های مراقبت از سلامت و مرگ‌ومیر می‌شوند. در ایالات متحده، هزینه‌های مراقبت از سلامت مرتبط با درمان بیماری‌های عفونی سالانه بیش از ۱۲۰ میلیارد دلار برآورد شده است؛ علاوه بر این، هزینه درمان عفونت‌های ناشی از پاتوژن‌های مقاوم پنج میلیارد دلار در سال است. طبق گزارشات مرکز کنترل و پیشگیری بیماری ایالات متحده^۱ سالانه بیش از دو میلیون عفونت مقاوم به آنتی‌بیوتیک در ایالات متحده رخ می‌دهد که مرگ ۲۳۰۰۰ نفر را رقم می‌رند. مقاومت ضد میکروبی در حال حاضر مسئول مرگ سالانه ۲۵۰۰۰ نفر در اتحادیه اروپا است. باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی مقاوم به دارو، به خصوص باکتری‌های *استافیلوکوکوس/اورئوس* مقاوم به متی‌سیلین، *انتروکوکوس فاسیوم*^۲ مقاوم به ونکومایسن، *استرپتوکوکوس پنومونیه* مقاوم به دارو، *اسیتوباکتر بومانی* مقاوم به چند دارو، *انتروباکتریاسه‌های مقاوم به کارباپنم و سودوموناس آئروژینوزا* مقاوم در برابر دارو به یک نگرانی جهانی در زمینه بهداشت عمومی تبدیل شده‌اند. به-علاوه، تشکیل بیوفیلم، درمان عفونت‌های مختلف را دشوار می‌کند (۱). بیوفیل‌ها اجتماعات میکروبی چسبنده در یک ماتریکس بیوپلیمری می‌باشند که به شدت به سطوح زنده و غیرزنده متصل می‌شوند (۲) و می‌توانند متشکل از یک توده تک گونه‌ای یا چند گونه‌ای میکروبی باشند (۳). تشکیل بیوفیلم یک رفتار رشد چند مرحله‌ای است که ناشی از فرآیندهای پیچیده فیزیکی،

1 CDC

2 *Enterococcus faecium*

شیمیایی، و زیستی می‌باشد (۲). بیوفیلیم را می‌توان به عنوان یک استراتژی دانست که بعضی از میکروارگانیسم‌ها از آن استفاده می‌کنند تا بتوانند خود را از اثرات و نیروهای زیان‌باری که در محیط طبیعی و بدن میزبان است، حفظ کرده و بدین گونه شانس بقای خود را افزایش دهند، زیرا با تشکیل بیوفیلیم، مقاومت آنها نسبت به شرایط نامساعد محیطی و بیوسایدها^۱ زیاد می‌شود، از این‌رو، مسئله بیوفیلیم‌ها در امر پزشکی و صنعت به یک معضل تبدیل شده است (۴،۵). عفونت‌های مرتبط با بیوفیلیم، مانند زخم‌های مزمن و عفونت‌های مجاری ادراری، ذات‌الریه در بیماران مبتلا به فیروز کیستیک و عفونت‌های مربوط به استفاده از وسایل پزشکی، ۸۰٪ عفونت‌های باکتریایی انسانی را شامل می‌شوند و میلیون‌ها نفر را مبتلا کرده و منجر به مرگ ۵۵۰۰۰۰ نفر در سال می‌شوند (۱). پاتوژن‌های باکتریایی و قارچی که بیوفیلیم تشکیل می‌دهند، مسئول عفونت‌هایی هستند که معمولاً به سختی درمان می‌شوند که این به دلیل مقاومت بالای بیوفیلیم (۱۰۰-۱۰۰۰ برابر بیشتر از سلول‌های پلانکتونی) به آنتی‌بیوتیک‌ها، آنتی‌سپتیک‌ها، ضدعفونی‌کننده‌ها و مکانیسم‌های دفاعی میزبان است. این امر، یافتن گزینه‌های درمانی جدید را توجیه می‌کند (۶).

یکی از راه‌های مقابله با بیوفیلیم، استفاده از ترکیبات مختلف گیاهی و نانوذرات است (۷). گیاهان دارویی امروزه در درمان بیماری‌های مختلف استفاده می‌شوند. درمان بیماری‌ها با عصاره‌های گیاهی به زمان‌های خیلی دور برمی‌گردد. پذیرش گیاهان دارویی به عنوان درمان جایگزین در بسیاری از بیماری‌ها و نیز افزایش روزافزون مقاومت آنتی‌بیوتیکی، بسیاری از پژوهشگران را ترغیب به بررسی خواص ضد میکروبی برخی گیاهان دارویی کرده است (۸). هزینه پایین تولید و عدم بروز مشکلات زیست محیطی از جمله مزایایی هستند که گیاهان دارویی را به عنوان یکی از کاندیدای مناسب برای مهار سویه‌های باکتریایی نموده است (۹).

علم نانو تکنولوژی^۲ نیز با به کار گیری نانوذرات^۳ و توسعه روش‌های دارورسانی هدفمند به کمک تشخیص و درمان بیماری‌ها آمده است (۱۰). طی دهه‌های گذشته، پیشرفت در فناوری نانو، به درک

۱. ترکیبی که قادر به کشتن ارگانیسم از طریق مسیر انتخابی باشد.

2 Nanotechnology

3 Nanoparticles

ما نسبت به ساختار ماده کمک بسزایی نموده است. با توجه به خواص مواد در مقیاس نانو، تلاش جوامع علمی بر توسعه راه کارهای جدید در حوزه مهندسی نانوذرات، متمرکز شده است. امروزه بخش عمده‌ای از تحقیقات پیرامون نانو مواد و خصوصاً نانو مواد غیرآلی و بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آنها می‌باشد. از آنجا که آن‌ها خواص الکتریکی، نوری، الکترونیک، مغناطیسی و بیولوژیکی را به خوبی نشان می‌دهند، این نانوذرات به‌طور گسترده‌ای در حوزه علوم داروسازی، پزشکی و سایر برنامه‌های زیست محیطی کاربردی، مورد بررسی و استفاده قرار گرفته‌اند (۱۱).

بیوفیلم

میکروارگانیزم‌ها، محیط را به روش‌های مختلفی دچار تغییر و تحول می‌نمایند. یکی از این راه‌ها، تشکیل بیوفیلم است. واژه بیوفیلم از دو بخش Bios (به معنای زنده)، و Film (به معنای صفحه) تشکیل شده است. از آنجایی که موجودات زنده قادر به تشکیل صفحات به هم پیوسته می‌باشند، این صفحات زنده تحت عنوان بیوفیلم خوانده می‌شوند (۱۲، ۱۳).

بیوفیلیم‌ها عموماً اجتماعی از سلول‌های میکروبی (تک گونه‌ای یا چند گونه‌ای) محصور در ماده پلیمری خارج سلولی^۱ می‌باشند که به شدت به سطوح زنده و غیرزنده متصل می‌شوند (۱۴).

بخش عمده اجتماع میکروبی موجود در طبیعت را بیوفیلیم‌ها تشکیل می‌دهند که تحت شرایط مختلف می‌توانند مفید یا مضر باشند. امروزه بیوفیلیم‌ها بسیار مورد توجه قرار دارند، زیرا در پزشکی می‌توانند مشکل ساز شوند، که این مسئله ناشی از ویژگی‌های بیوفیلیم‌ها از جمله مقاومت بالا در برابر سیستم ایمنی، مقاومت در برابر آنتی‌بیوتیک‌ها^۲، بیوسایدها^۳ و پرتوها می‌باشد (۱۵).

معمولاً باکتری‌ها در محیط‌های آبی به سطوح متصل می‌شوند. باکتری‌های غیرمتحرک و ثابت در بیوفیلیم‌ها را تحت عنوان Sessile و باکتری‌های متحرک موجود در محیط‌های آبی را تحت عنوان پلانکتونیک یا باکتری‌های شناور آزاد^۴ می‌نامند (۱۳).

1 Extracellular Polymeric Substances (EPS)

2 Antibiotics

3 Biocides

4 Free-Swimming Bacteria

انواع مختلفی از قارچ‌ها مانند قارچ‌های رشته‌ای (آسپرژیلوس^۱، فوزاریوم^۲، زیگوماست^۳، پنوموسیستیس^۴) و مخمرها (بلاستوشیزوماست^۵، ساکاروماست^۶، مالاسزیا^۷، تریکوسپورون^۸، کریپتوکوکوس نئوفورمنس و گونه‌های کاندیدا) توانایی تشکیل بیوفیلم دارند. بیوفیلم‌های قارچی که از لحاظ بالینی مهم هستند، عبارتند از: کاندیدا، کریپتوکوکوس، فوزاریوم، مالاسزیا، پنوموسیستیس، تریکوسپورون و زیگوماست (۱۶).

باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی، از جمله *انتروکوکوس فکالیس*^۹، *استرپتوکوکوس ویریدانس*^{۱۰}، *اشریشیا کلی*^{۱۱}، *کلبسیلا پنومونیه*^{۱۲}، *پروتئوس میرابیلیس*^{۱۳} (۱۷)، *سودوموناس آئروژینوزا*^{۱۴}، *استافیلوکوکوس اورئوس*^{۱۵} و *استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس*^{۱۶} نیز از جمله میکروارگانیسم‌هایی هستند که می‌توانند تشکیل بیوفیلم دهند (۱۷، ۱۸).

تاریخچه بیوفیلم

اولین گزارش رسمی در مورد بیوفیلم در قرن ۱۷ (در سال ۱۶۸۴)، زمانی که آنتون وان لیون هوک^{۱۷} بر روی لایه دندان خود در زیر میکروسکوپ، باکتری‌ها (که اکنون بیوفیلم نامیده می‌شوند) را مشاهده کرد و مقاله‌ای برای انجمن سلطنتی لندن ارائه داد، ثبت شد. او در گزارش خود چنین عنوان کرد که تعداد موجودات زنده موجود در لایه روی دندان یک انسان به قدری

-
- 1 Aspergillus
 - 2 Fusarium
 - 3 Zygomycetes
 - 4 Pneumocystis
 - 5 Blastoschizomyces
 - 6 Saccharomyces
 - 7 Malassezia
 - 8 Trichosporon
 - 9 *Enterococcus faecalis*
 - 10 *Streptococcus viridans*
 - 11 *Escherichia coli*
 - 12 *Klebsiella pneumoniae*
 - 13 *Proteus mirabilis*
 - 14 *Pseudomonas aeruginosa*
 - 15 *Staphylococcus aureus*
 - 16 *Staphylococcus epidermidis*
 - 17 Anton Von Leeuwenhoek

زیاد است که می‌توان به جرأت گفت که از جمعیت انسان‌های یک قلمرو نیز پیشی می‌گیرد. اصطلاح بیوفیلیم در سال ۱۹۷۸ توسط کاسترتون به کار برده شد. دونالد و کاسترتون در سال ۲۰۰۲، توصیف دقیقی از بیوفیلیم ارائه دادند. آنها اظهار داشتند که بیوفیلیم "مجموعه‌ای از سلول‌های میکروبی است که به‌طور غیر قابل برگشت به یکدیگر و به سطوح متصل می‌شوند که در درون ماتریکس پلیمری خارج سلولی که خود تولید کرده‌اند، محصور می‌شوند و با توجه به سرعت رشد و رونویسی ژن، فنوتیپ تغییر یافته‌ای دارند(۱۹).

پروفسور رابرت کولتر^۱، استاد میکروبیولوژی و ژنتیک مولکولی در دانشکده داروسازی هاروارد، یکی از نخستین دانشمندان و محققان در زمینه مطالعه‌ی رشد و تکثیر بیوفیلیم است. این دانشمند هم دوره با دانشمندانی مانند رابرت کخ و لویی پاستور است که در آن زمان، باکتری‌شناسی به‌طور علمی‌تر و تخصصی‌تر با استفاده از نمونه‌برداری‌های باکتری‌های پلانکتونی مورد مطالعه قرار می‌گرفت. او اعتقاد دارد که در حقیقت اکثر باکتری‌ها، در اجتماعات ترکیبی گروهی و سطحی زندگی می‌کنند(۲۰).

اگرچه تحقیقات صورت گرفته بر روی بیوفیلیم‌ها دهه‌هاست که تحت بررسی است، اکثریت تحقیقات بیوفیلیمی از نظر تاریخی بر روی بیوفیلیم‌های خارجی یا آن‌هایی که روی سطوح مختلف محیط طبیعی قرار دارند، تأکید دارند(۲۰).

ویژگی‌های بیوفیلیم

انعطاف‌پذیری در بیان ژن‌های باکتریایی باعث شده است تا باکتری‌ها در شرایط محیطی مختلف بتوانند زنده بمانند(۲۱). میکروارگانیسم‌های موجود در بیوفیلیم مقاومت بیشتری نسبت به عوامل ضد میکروبی دارند؛ به‌طوری که برخی از محققین ادعا می‌کنند که مقاومت بیوفیلیم نسبت به آنتی‌بیوتیک‌ها هزار برابر سلول‌های پلانکتونیک است(۱۶). همچنین این میکروارگانیسم‌ها نسبت به سلول‌های پلانکتونیک رشد آهسته‌تری دارند(۲۲).

1 Robert Kolter