نشریه علمی زیست‌شناسی خاک / جلد ۱۱ / شماره ۲ / ۱۴۰۲/۱۸۳-۲۱۱

تهدید *سالمونلا* در خاک و ضرورت ردیابی مستمر آن با رویکردهای نوین تشخیصی

مطهره عابدین‌زاده، نعیمه عنایتی ضمیر، احسان شکری*و شهلا کیان امیری

دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران **motahhare.abedin@ut.ac.ir**

دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

n.enayatzamir@scu.ac.ir

استادیار، بخش نانوفناوری، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،کرج، ایران

e.shokri62@gmail.com
e.shokri@abrii.ac.ir

استادیار، بخش نانوفناوری، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛
هیئت علمی پژوهشی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران؛

kianamiry@yahoo.com

دریافت:۱۴۰۲/۵/۲۹ و پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۹

چکیده

***سالمونلا* یک پاتوژن رایج و پایدار در محیط خاک است که تهدیدی قابل توجه برای تولید مواد غذایی سالم در سراسر جهان می‌باشد. با توجه به نقش حیاتی خاک در کشاورزی، احتیاط در مورد گسترش *سالمونلا* در خاک و به کارگیری روش‌های موثر برای تشخیص و کنترل آن ضروری است. شیوع فزاینده *سالمونلا* را می‌توان به گسترش سریع کشاورزی و صنعت نسبت داد که منجر به آلودگی کودها و منابع آب به باکتری می‌شود. بقای *سالمونلا* در خاک تحت تأثیر عوامل متعدد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است که منجر به کلونیزه شدن مداوم اندام‌های گیاهی می‌شود. در نتیجه، با توجه به اهمیت محصولات کشاورزی سالم، تقاضا برای روش‌های جدید به منظور بررسی و شناسایی باکتری‌های موجود در این موادغذایی به طور فزاینده‌ای ضروری شده است. تکنیک‌های متعددی برای شناسایی باکتری‌های مضر در خاک موجود است. با این حال، استفاده از نانوحسگرها به عنوان ابزاری پیشرفته برای تشخیص باکتری بسیار امیدوارکننده است، زیرا می‌تواند به طور مؤثر بر محدودیت‌های روش‌های دیگر غلبه کند. این مطالعه مروری با هدف بررسی مکانیسم‌های آلودگی *سالمونلا* در خاک و تعامل آن با گیاهان، بر اهمیت استفاده از نانوحسگرهای زیستی برای تشخیص سریع‌تر و دقیق‌تر این باکتری در خاک می‌پردازد.**

کلمات کلیدی: باکتری *سالمونلا*، سلامت محصولات کشاورزی، میکروبیوم خاک، نانوحسگرهای زیستی

* آدرس ایمیل نویسنده مسئول: e.shokri62@gmail.com

مقدمه

خاک بخشی از یک محیط زیست گسترده است که سلامت آن تعیین‌کننده سلامت بخش اعظمی از موجودات زنده و انسان‌ها است. با توجه به اهمیت خاک و به منظور تأمین ۷۰ درصد محصولات غذایی جمعیت در حال رشد تا سال ۲۰۵۰، حفظ سلامت این بخش از محیط زیست برای تولید محصولات گیاهی سالم و ایمن حائز اهمیت بسیاری می‌باشد (وانگ، ۲۰۲۲). متأسفانه شدت آلودگی در خاک به دلیل پایداری طولانی مدت اجزای آلاینده در محیط خاک نسبت به سایر منابع طبیعی بیشتر بوده است (افروموا و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه بر این، خاک زیستگاه گیاهان و ریزجانداران فراوانی است که نقش مهمی در ارتقا رشد محصولات و بهبود امنیت غذایی[1] ایفا می‌کنند. منابع پاتوژنی آلوده کننده خاک بسیار متنوع‌اند (فائو، ۲۰۲۲)؛ اما در ارزیابی سلامت خاک به منظور ارتقا سلامت انسانی و همچنین گیاهان، توجه به کنترل پاتوژن *سالمونلا*[2] اهمیت ویژه‌ای دارد (اسچلاتر و همکاران، ۲۰۱۷)؛ زیرا که بیشترین ماندگاری این پاتوژن در محیط خاک گزارش شده است (گان و هالی، ۲۰۰۳؛ آرتور سان و همکاران، ۲۰۱۱). حضور مداوم و شیوع گسترده این پاتوژن در خاک، منجر به ماندگاری بالای آن در مزارع و به دنبال آن آلودگی مستمر محصولات کشاورزی می‌شود. تقریبا ۹۹٪ از عفونت‌های *سالمونلا* در انسان و حیوانات رخ داده است. شیوع *سالمونلا تیفی موریوم*[3] در میان ۵ سروار[4] برتر جدا شده از خوک، گوشت قرمز و طیور در ایالات متحده و اتحادیه اروپا سرآمد بوده است (بور و همکاران، ۲۰۱۵). در ایران نیز آخرین آمار شیوع *سالمونلا* مربوط به سال ۲۰۱۱ بوده است که توسط مرکز کنترل و بیماری‌های واگیردار گزارش شده است. بر طبق این گزارش ۵/۱ ٪ از شیوع بیماری‌های منتقله از طریق غذا مربوط به پاتوژن *سالمونلا* و سرووارهای آن بوده است (اصل و همکاران، ۲۰۱۵). شفاعتی و همکاران (۱۳۹۱)، عمده خطر *سالمونلا* بر سلامت انسان و حیوان را مربوط به مصرف مواد غذایی آلوده حیوانی مانند مرغ، تخم مرغ، گوشت و محصولات لبنی بیان نمودند؛ درصورتیکه در سال‌های اخیر تغییر عادات غذایی، روش‌های کشاورزی و همچنین افزایش واردات محصولات کشاورزی تازه عامل افزایش شیوع *سالمونلا* در میوه و سبزیجات نیز بوده است (شفاعتی و همکاران، ۱۳۹۱). در سبزیجات عادت غذایی مصرف سبزیجات تازه و خام خواری؛ منجر به بیماری‌های انگلی و گوارشی متعدد ناشی از وجود پاتوژن‌هایی همانند *سالمونلا* در این محصولات می‌گردد (رضایی و همکاران، ۱۴۰۱). در بین محصولات نیز گوجه فرنگی، هندوانه، آب پرتقال و آب سیب از آلوده ترین محصولات به پاتوژن *سالمونلا* شناخته شده‌اند (شفاعتی و همکارن، ۱۳۹۱)؛ که روش‌های نادرست کشاورزی همچون کاربرد کودهای آلوده دامی و حیوانی و منابع آبیاری آلوده به *سالمونلا* از علل اصلی آلودگی خاک‌ها و به دنبال آن محصولات اشاره شده به پاتوژن *سالمونلا* می‌باشند.

علاوه بر این، کاربرد کودهای حیوانی و منابع آبی مشترک در مناطق مختلف کشور هم چون شهرهای زابل (سلیمان پور و همکاران، ۱۳۹۱)، اهواز (راهدار و همکاران، ۱۳۹۰)، اصفهان (ایزدی و همکاران، ۱۳۸۵)، تهران (همایونی و خلجی، ۱۳۸۵) و ایلام (عزیزنیا، ۱۳۹۵) آلودگی سبزی‌ها به پاتوژن *سالمونلا* را در پی داشته است. همچنین بر طبق گزارش رضایی و همکاران (۱۴۰۱)، کاربرد مستقیم پسماندهای کشاورزی و انسانی به عنوان کود (مانند کود دامی، کود انسانی، ضایعات کشتارگاه، لجن فاضلاب)، منابع آبی آلوده با مدفوع انسانی، آلودگی ایجاد شده توسط دام، طیور و حیوانات وحشی و در نهایت

1- Food security
2- Salmonella pathogen
3- *Salmonella typhimurium*
4- Serovar

عملیات‌های پس از برداشت هم‌چون بهداشت کارگران و غیره از عوامل ورود پاتوژن به خاک و در نتیجه آلودگی محصولات بوده است. آلودگی خاک‌ها به پاتوژن‌هایی همچون *سالمونلا* در صورت آبیاری محصولات با لجن‌های فاضلاب و پساب‌ها در مطالعات مکرر گزارش شده است (عرفانی و همکاران، ۱۳۸۱؛ هاشم و همکاران، ۱۳۸۸). با توجه به گزارشات و خطرات اشاره شده ناشی از ورود *سالمونلا* به خاک‌ها به منظور کنترل آلودگی گسترده این پاتوژن در محصولات کشاورزی، قبل از هر چیزی، تشخیص سریع، دقیق و کم‌هزینه پاتوژن *سالمونلا* اهمیت دارد. در بین روش‌های متعدد شناسایی و تشخیص[5] آلاینده‌های گسترده محیط‌زیستی، استفاده از روش‌های نوین مانند فناوری نانوحسگرهای زیستی در ارجهیت می-باشند (مالک و همکاران، ۲۰۲۰). امروزه استفاده از نانوحسگرهای زیستی[6] به عنوان یک رویکرد جدید تشخیصی در بسیاری از کاربردها اعم از پزشکی، صنعتی، نظامی و همچنین به منظور تشخیص انواع آلودگی‌های شیمیایی و زیستی در خاک مورد توجه می‌باشند. تشخیص همزمان، ارائه نتایج در محل نمونه‌گیری، عدم نیاز به تجهیزات خاص یا ارسال نمونه به آزمایشگاه از ویژگی‌های منحصر به فرد و جذاب در نانوحسگرهای زیستی برای استفاده در کاربردهای محیط‌زیستی از جمله پایش سلامت خاک می‌باشد (آونگ و همکاران، ۲۰۲۱). در این مطالعه به شیوع پاتوژن *سالمونلا* به عنوان عامل تهدیدکننده سلامت خاک و محصولات کشاورزی و ضرورت ردیابی مستمر آن جهت اتخاذ روش‌های کارآمد کنترلی پرداخته شده است.

منابع آلوده کننده خاک

به طور کلی آلودگی خاک، به وجود یک ماده شیمیایی در خاک با تأثیرگذاری نامطلوب بر سلامت انسان، موجودات زنده و خاک تلقی می‌گردد (آلورانگا و همکاران، ۲۰۲۲). مهم‌ترین تفاوت آلودگی در خاک نسبت به سایر منابع طبیعی، حضور طولانی مدت و پایداری آلودگی در این منابع است که با بهره‌گیری از روش‌های صحیح تشخیص قابل شناسایی بوده و در نتیجه می‌تواند با اتخاذ راهکارهای درست برطرف شود (حسن آل طایی، ۲۰۲۱). آلودگی در خاک‌های کشاورزی؛ به ورود هر ماده شیمیایی تأثیرگذار بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و یا بیولوژیکی خاک اطلاق می‌شود که به طور مستقیم یا غیر مستقیم سطح زندگی گیاهان، حیوانات و انسان را دچار تغییرات منفی می نماید. آلودگی در خاک دارای منشاء طبیعی و یا انسانی می‌باشد (ایزو، ۲۰۱۵؛ تان، ۲۰۱۷)؛ مثلا سموم دفع آفات، کودهای شیمیایی، کودهای آلی، فاضلاب‌ها[7]، پسماندهای[8] صنعتی و انسانی نمونه‌ای از آلودگی‌های خاک با منشاء انسانی می‌باشند (مومبو و همکاران، ۲۰۱۶). این منابع آلودگی از جمله منابع بالقوه ورود پاتوژن *سالمونلا* به خاک با جمعیت زیاد می‌باشند. مخصوصاً کودهای حیوانی[9] که با انتشار ترکیبات آنتی بیوتیک، منجر به بروز پاتوژن‌های مقاوم و ابر مقاوم در خاک می‌شوند (جیانگ و همکاران، ۲۰۱۵). در سراسر جهان گسترش مقاومت ضد میکروبی در حال حاضر یک خطر بزرگ برای سلامت انسان در نظر گرفته می‌شود (بروندوک و همکاران، ۲۰۱۵). استران و همکاران (۲۰۱۳)؛ اشاره داشته‌اند که کاربرد کودهای دامی آلودگی خاک به *سالمونلا* را افزایش می‌دهد (استران و همکارن، ۲۰۱۳). همچنین مطالعات متعدد حاکی از سازگاری بالای *سالمونلا انتریکا*[10] با محیط‌های مختلف از جمله خاک و کود نیز بوده است (سمنوو و همکارن، ۲۰۱۰). گزارشات حاکی از بقای پاتوژن *سالمونلا* به مدت ۲۱ روز از منشاء کود خوک و تا یک سال از منشاء کود مرغی است (پومساکاروم و تاکور، ۲۰۱۶). علاوه بر کودهای حیوانی؛ لجن‌های فاضلاب[11] و فاضلاب‌های تصفیه نشده نیز بسته به منابع (شهری، صنعتی و خانگی)

5- Distinction
6- Nano biosensors
7- Wastewater
8- Residues
9- Animal manure
10- *Salmonella enterica*
11- Sewage sludge

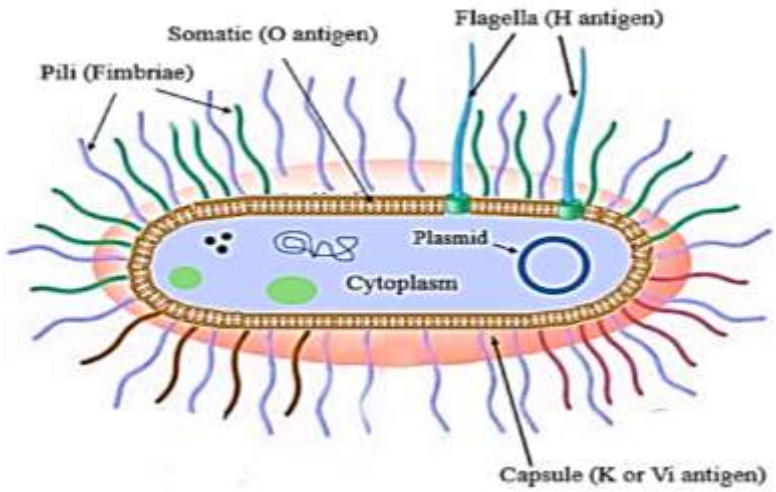
حاوی مقادیر بالایی از پاتوژن‌های انسانی خطرناک از جمله *سالمونلا* می‌باشند (ولدیت سادیک، ۲۰۱۷). بالاترین مقادیر خطر آفرینی و حضور پاتوژن *سالمونلا* در صورت آبیاری محصولات با لجن فاضلاب و فاضلاب گزارش شده است (کریزانووساکی و همکاران، ۲۰۱۶). در ایران شیوه‌های خطرناک کشاورزی شامل: آبیاری با پساب خانگی تصفیه نشده، کوددهی با کودهای دامی نپوسیده و فضولات تازه حیوانات (دام، طیور و حیوانات وحشی) و همچنین عدم رعایت مسائل بهداشتی در مزارع، از مهم‌ترین عوامل آلودگی خاک با *سالمونلا* و سایر پاتوژن‌های بیماری‌زا می‌باشند (رضایی و همکاران، ۱۴۰۱). حضور پاتوژن *سالمونلا* در منابع متعدد آلوده‌کننده خاک، انتقال این پاتوژن به محصولات کشاورزی را تشدید می‌نماید. این محصولات به عنوان تامین کننده‌های بخش اصلی سبد غذایی در صورت آلودگی به پاتوژن *سالمونلا* سلامت زنجیره غذایی را به خطر می‌اندازند. از سوی دیگر در مطالعات متعددی به حضور پاتوژن *سالمونلا* در خاک، آب و یا قسمت‌های خوراکی گیاهان به صورت زنده و فعال اشاره شده است (اریک سان و همکاران، ۲۰۱۴؛ دانی لوک و همکاران، ۲۰۰۸؛ اسلام و همکارن، ۲۰۰۵؛ هالی و همکارن، ۲۰۰۶). شیوع پاتوژن‌های انسانی *سالمونلا* در مزارع و محصولات کشاورزی؛ مسئله مهمی است که امنیت غذایی را به خطر انداخته و از لحاظ اقتصادی خسارت بار می‌باشد (زین و همکاران، ۲۰۲۲). حضور گونه‌های متعدد پاتوژن *سالمونلا* در فاضلاب‌ها، کودها و آب‌های آلوده در چندین مطالعه گزارش گردیده است (ایرانپور و ساکس، ۲۰۰۶؛ هورسول و همکارن، ۲۰۰۷؛ ویان و همکاران، ۲۰۱۱).

جنس *سالمونلا* بر اساس تغییرات در توالی 16S rRNA به دو زیر گروه *سالمونلا انتریکا* و *سالمونلا بونگاری*[12] تقسیم می‌شود. در جنس *سالمونلا انتریکا* بر اساس خواص بیوشیمیایی و روابط ژنتیکی شش زیر گونه شامل: *انتریکا*[13]، *سالامای*[14]، *آریزونا*[15]، *دی آریزونا*[16]، *اندیکا*[17] و *هوتنای*[18] قرار دارند. حدود ۹۹٪ سروارهای بیماریزا مربوط به زیرگروه *انتریکا* بوده است (آگباجه و همکاران، ۲۰۲۱). علاوه بر طبقه بندی فیلوژنتیکی بر اساس ویژگی‌های آنتی ژنی، از سه فاکتور آنتی ژنی به منظور شناسایی سروتیپ‌های *سالمونلا* استفاده می‌گردد. این ویژگی‌های آنتی ژنی عبارتند از: آنتی ژن‌های تاژکدار(H)، کپسول(K) و سوماتیک(O) (آگباجه و همکاران، ۲۰۲۱). در (شکل ۱) ؛ تصویری شماتیک از *سالمونلا* و جایگاه هر آنتی ژن نمایش داده شده است. آنتی ژن‌های تاژکدار یا آنتی ژن H؛ مسوول تحریک پاسخ ایمنی میزبان می‌باشند. عمده سروارهای *سالمونلا* حائز دو ناحیه ژنومی به منظور سنتز تاژک هستند (آگباجه و همکاران، ۲۰۲۱). بیان یکی از پروتئین‌های مربوط به سنتز تاژک در این سروارها منحصراً در یک زمان رخ می‌دهد به همین جهت این باکتری‌ها را باکتری‌های دو فازی می‌نامند (مک کویستون و همکاران، ۲۰۱۱). آنتی ژن‌های کپسول یا K از جمله پلی ساکاریدهای مقاوم به گرما هستند که به سطح کپسول‌های باکتری متصل می‌شوند. کمترین فراوانی در میان سروتیپ‌های *سالمونلا* متعلق به این آنتی ژن است (تکلماریم و همکاران، ۲۰۲۳). آنتی ژن سوماتیک یا O، این آنتی ژن در غشاء خارجی یافت می‌شود که در برخی سروتیپ‌های *سالمونلا* یک یا چند نوع از این آنتی ژن یافت می‌شود (تکلماریم و همکاران، ۲۰۲۳). تنها یک زیرگروه خاص از آنتی ژن K به نام آنتی ژن ویروسی (Vi) در سه سروتیپ بیماریزا شامل: *دابلین*[19]، *تایفی*[20]و *پاراتایفی سی*[21] شناسایی شده است (اینج و همکاران، ۲۰۱۵). بررسی بیشتر سروتیپ‌های *سالمونلا* با تجزیه و تحلیل خواص آنتی ژنی صورت می‌گیرد (تکلماریم و همکاران، ۲۰۲۳). بر این اساس از آزمایش آگلوتیناسیون با استفاده از آنتی بادی‌های منحصر به فرد آنتی ژن O استفاده می‌شود (تکلماریم و همکاران،

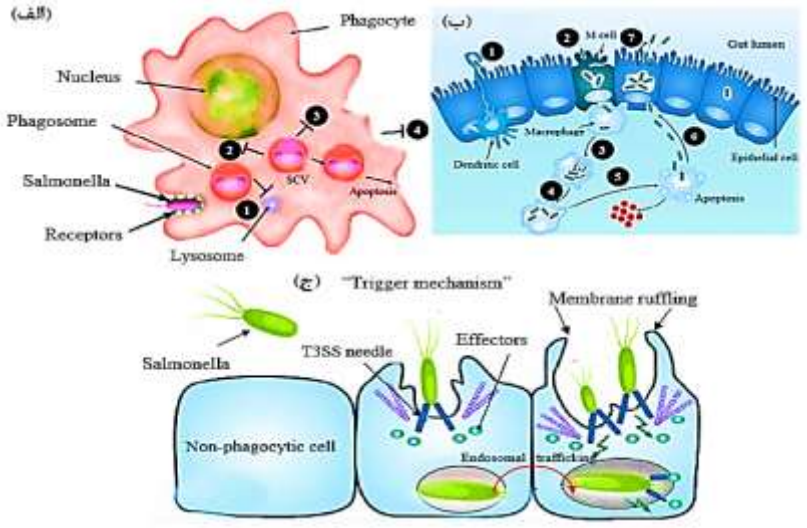
12- *Salmonella bungari*
13- Enterica
14- Salamae
15- Arizonae
16- Diarizonae
17- Indica
18- Houtenae
19- *Dublin*
20- *Typhi*
21- *Paratyphi C*

۲۰۲۳). در میان ۲۵۰۰ سروار شناسایی شده از *سالمونلا* بیش از نیمی از این سروارها متعلق به گروه *سالمونلا انتریکا*، زیرگروه *انتریکا* می‌باشند که عامل اصلی در بروز بیماری سالمونلوز بوده‌اند (واتیو و همکاران، ۲۰۱۱). شدت بیماری سالمونلوز به دو فاکتور اصلی وابسته است: ۱) سروتیپ‌های ایجاد کننده سالمونلوز و ۲) ایمنی فرد آلوده به *سالمونلا*، بر طبق گزارشات افراد دارای نقص ایمنی، کودکان زیر ۵ سال و افراد مسن از جمله آسیب پذیرترین گروه‌های در معرض سالمونلوز می‌باشند (تکلماریم و همکاران، ۲۰۲۳). بروز مقاومت بلافاصله پس از ورود *سالمونلا* به سلول‌های میزبان از طریق تحریک یک مکانیسم محرک صورت می‌گیرد. این مکانیسم محرک، فاگوسیتوز نامیده می‌شود (هانسن وستر و همکاران، ۲۰۰۲) (شکل ۲، الف). دسته‌ای از ژن‌ها واقع در ناحیه بزرگی از DNA کروموزومی، بنام جزایر بیماریزایی *سالمونلا*[۲۲] در شدت بروز مکانیسم فاگوسیتوز تأثیر دارند (گراسل و فینلی، ۲۰۰۸). در حقیقت *سالمونلا* پس از ورود به سیستم گوارشی از منابع متعدد مانند غذا یا آب آلوده؛ با نفوذ به سلول‌های سطحی بافت روده[۲۳]، در یک بافت غشایی بنام واکوئل حاوی *سالمونلا*[۲۴] محصور می‌گردد و از طریق بافت‌های لنفوئیدی تخصصی مرتبط[۲۵] با روده (شکل ۲، ب)؛ بوسیله مکانیسمی بنام "ماشه[۲۶]" به سلول‌های غیر فاگوسیتیک[۲۷] نیز نفوذ می‌کنند (تکلماریم و همکاران، ۲۰۲۳)(شکل ۲، ج). همانطور که در شکل دیده می‌شود ورود به سلول‌های غیرفاگوسیتیک از طریق گیرنده‌های T_3SS صورت می‌گیرد. این گیرنده‌ها مستقیماً پروتئین‌های موجود در غشاء سلول را تغییر داده و در نهایت تکثیر پاتوژن متوقف می‌گردد (ویلانووا و همکاران، ۲۰۲۲). سیستم ایمنی میزبان پس از تشخیص *سالمونلا* به عنوان عامل مهاجم، با تولید آنزیم‌ها و گونه‌های فعال اکسیژن به منظور مهار *سالمونلای* ادغام شده در غشاء، اقدام می‌نماید (ویلانووا و همکاران، ۲۰۲۲). در خاک مکانیسم مقاومت متفاوت بوده است. تشکیل بیوفیلم[۲۸]یکی از مهم‌ترین و شناخته شده‌ترین مکانیسم‌های مقاومت *سالمونلا* در برابر سایر جوامع میکروبی ساکن در این محیط است. بیوفیلم، جوامع باکتریایی چند سلولی از *سالمونلا* می‌باشند که به سطوح باکتریایی یا سطح ریشه گیاهان ساکن در خاک می‌چسبند و خواص متفاوتی نسبت به این جوامع زنده به منظور بقا بیشتر نشان می‌دهند (گراسل و فینلی، ۲۰۰۸). مطالعه تشکیل بیوفیلم و ویژگی‌های *سالمونلا* در خاک می‌تواند بینشی در مورد بقا و ماندگاری آن در محیط ارائه می‌دهد. علاوه بر این، مطالعه متابولیت‌های ثانویه تولید شده توسط ریزجانداران خاکزی، مانند قارچ ها، می‌تواند به شناسایی ترکیبات ضد میکروبی بالقوه به منظور کنترل *سالمونلا* در محیط خاک کمک نماید (چاندراکالا و رنیپرابها، ۲۰۲۲). خطرات حضور *سالمونلا* در خاک‌های کشاورزی گسترده و دارای اثرات جبران‌ناپذیری بر محیط زیست و سلامت موادغذایی می‌باشد؛ بنابراین توجه به شناسایی این عامل خطر آفرین بسیار حائز اهمیت است.

22- Salmonella pathogenicity islands
23- Epithelial cells
24- Salmonella-containing vacuole
25- Specialized microfold (M) cells
26- Trigger
27- Nonphagocytic cells
28- Biofilm



شکل ۱- ساختار باکتری *سالمونلا* و نقشه آنتی ژن‌های سطحی (تکلماریم و همکاران، ۲۰۲۳)



شکل ۲- مکانیسم‌های مقاومت در سلول انسانی بلافاصله پس از ورود *سالمونلا* (تکلماریم و همکاران، ۲۰۲۳)

آلودگی خاک ها با پاتوژن *سالمونلا*

باکتری‌های بیماری‌زا[29] یا پاتوژن‌ها از جمله *سالمونلا* نمونه‌ای از جوامع زیستی ساکن در خاک می‌باشند که سلامت انسان، حیوان و حتی گیاهان را به خطر می‌اندازند (استیفان و همکاران، ۲۰۲۰؛ باووم گاردنر، ۲۰۱۲). *سالمونلا* از جمله باکتری‌های گرم منفی، بی هوازی اختیاری از خانواده *انتروباکتریاسه*[30] است که به عنوان پاتوژن رایج موادغذایی شناخته شده است (فرانز و همکاران، ۲۰۱۹؛ ریورا و همکاران، ۲۰۱۸). این پاتوژن از جمله مقاوم‌ترین باکتری‌های بیماریزا در محیط آب و خاک است که برای مدت طولانی می‌تواند در این محیط‌ها زنده بماند (آماگ لیانی و همکاران، ۲۰۱۲). افزایش آلودگی محصولات زراعی در صورت گسترش پاتوژن *سالمونلا* در مزارع به وفور دیده شده است (فرانز و ون برانگن، ۲۰۰۸). با وجود گسترش کم *سالمونلا* در مزارع (حدود ۱۰ تا ۲۶ درصد)، این پاتوژن در مقایسه با سایر پاتوژن‌های باکتریایی خاکزاد ماندگاری بیشتری در خاک از خود نشان داده است (آندیانو و هانینگ، ۲۰۱۵؛ گوون و هالی، ۲۰۰۳؛ آرتورسان

29- Pathogenic bacteria

30- *Enterobacteriaceae*

و همکاران، ۲۰۱۱). بر طبق گزارش اسچیرستید و همکاران (۲۰۲۰)؛ خاک‌هایی با تنوع میکروبی زیاد در کاهش فراوانی *سالمونلا* و زمان بقای آن در خاک مؤثر بوده‌اند (اسچیرستید و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین بر طبق گزارش تاک و همکاران (۲۰۱۹)؛ افزایش مواد آلی در خاک با بهبود رطوبت و مواد مغذی تکثیر پاتوژن را افزایش می‌دهد (تاک و همکاران، ۲۰۱۹). نوع خاک نیز بر ماندگاری *سالمونلا* در سیستم‌های کشاورزی تأثیر بسیاری دارد (جیچالک و همکاران، ۲۰۱۹). افزایش تکثیر این پاتوژن‌ها در خاک‌هایی با دمای ۳۰-۲۰ درجه سلسیوس، رطوبت و کربن زیاد گزارش گردیده است (ایمنس و همکاران، ۲۰۰۶؛ گیبس و همکاران، ۱۹۹۷).

علاوه بر این *سالمونلا* می‌تواند نسبت به تغییرات آب و هوایی، خشکسالی، افزایش دما و سیل در محیط خاک مقاومت نشان داده و ظرفیت تکثیر خود را حفظ کند (لئو و همکاران، ۲۰۱۳؛ جی و همکاران، ۲۰۱۶). عوامل زیستی و تعامل باکتری-گیاه نیز در بر همکنش *سالمونلا* و گیاه مؤثر می‌باشند (چالوپویچ و همکاران، ۲۰۲۱؛ سمنوف و همکاران، ۲۰۱۰). نهایتاً همانطور که در(شکل ۳) ، مشاهده می‌شود مجموعه‌ای از عوامل فیزیکی، شیمیایی و زیستی تعیین کننده‌ی بقای *سالمونلا* در خاک، کلونیزه شدن بافت-های گیاهی و گسترش آلودگی در محصولات کشاورزی می‌باشند (فورن فیلد و همکاران، ۲۰۱۷).

عوامل مؤثر بر بقای *سالمونلا* در خاک

خطر آلودگی پاتوژن *سالمونلا* در زمین‌های کشاورزی تا حد زیادی به بقای آن در کود، خاک و درون گیاهان بستگی دارد (جکوبسون و بیچ، ۲۰۱۱). لجن‌های فاضلاب، فاضلاب‌ها و کودهای غیرزیستی ممکن است حاوی انواع پاتوژن‌های باکتریایی از جمله: *سالمونلا*، *شیگلا*[۳۱]، *کمپیلوباکتر ژژونی*[۳۲]، *ای کلای*[۳۳]، *ویبریوکلرا*[۳۴] و *یرسینیا*[۳۵] باشند (سیدو و توزی، ۲۰۰۹؛ آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، ۲۰۰۳)؛ اما گونه *سالمونلا* به دلیل ماندگاری بیشتر در منابع متعدد آلوده‌کننده و همچنین قابلیت گردش در خاک، آب، فضولات، بدن حیوانات و پیکره‌ی گیاهان می‌تواند به مدت طولانی در محیط مزرعه باقی بماند و متقابلاً اثرات منفی بیشتری را بر جای می‌گذارد (کوپریانوو و همکاران، ۲۰۱۰).

غلظت پاتوژن *سالمونلا* در خاک بسته به عوامل مختلفی مانند: منبع آلودگی، نوع خاک و شرایط محیطی می تواند متفاوت باشد و برای آن تا به امروز حد خاصی تعریف نشده است. با این حال آستانه قابل قبول *سالمونلا* در سایر نمونه‌ها غیر خاک مثل مواد غذایی صفرCFU در میلی لیتر یا گرم نمونه در نظر گرفته می‌شود (دان و همکاران، ۲۰۲۲). در مطالعه ای دیگری نیز ماندگاری *سالمونلا اینفانتیس*[۳۶] درخاک طی فرآیندهای کمپوست-سازی؛ $۵/۹ \times ۱۰^{۱۰}$ CFU/mL گزارش شده است (مورفی و همکاران، ۲۰۲۲). وجود *سالمونلا* حتی در جمعیت کم، در صورت استفاده مکرر از لجن فاضلاب، فاضلاب و منابع کودی آلوده، منجر به شیوع گسترده عامل بیماریزا در خاک، گیاهان و گسترش خطرات زیست محیطی و انسانی می-گردد. بر طبق مطالعه ون دانکرسگورد (۲۰۰۹)؛ وجود حتی یک ریشه گیاهی آلوده به *سالمونلا* می‌تواند بر شیوع *سالمونلا* در خاک مؤثر باشد. به عنوان مثال در مطالعه آرتورسان و همکاران (۲۰۱۱)، کلونیزه شدن ریزوسفر اسفناج در زمین‌های آلوده در جمعیت‌های پایین *سالمونلا* گزارش شده است. در مطالعه‌ای دیگر توسط باراک و لیانگ (۲۰۰۸)، آلودگی نهال‌های گوجه فرنگی در کمتر از چند هفته پس از ورود *سالمونلا انتریکا* گزارش گردیده است.

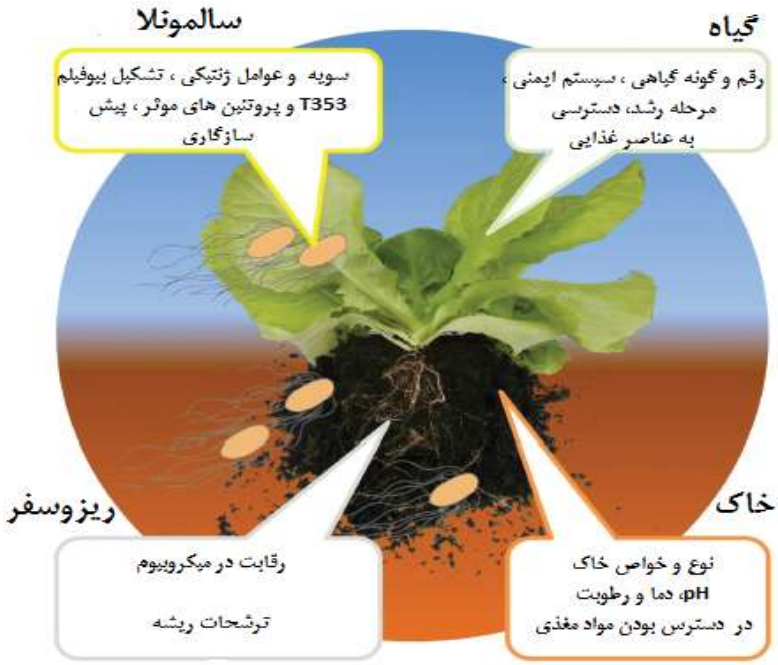
در مطالعه باراک و همکاران (۲۰۰۹)، نیز بیشترین میزان کلونی پاتوژن در هنگام آبیاری با آب آلوده به پاتوژن *سالمونلا انتریکا* در خاک و گیاهان دیده شده است. بافت، pH، رطوبت، محتوای ماده آلی، دسترسی به عناصر غذایی، توزیع اندازه ذرات (انجنگ و همکاران، ۲۰۱۵)، گونه

31- *Shigella sp*
32- *Campylobacter jejuni*
33- *E. coli*
34- *Vibroe cholerae*
35- *Yersinia sp*
36- *Salmonella infantis*

میکروبی و تنوع زیستی (فورن فیلد و همکاران، ۲۰۱۷؛ فرانز و ون بروگین، ۲۰۰۸)، از عوامل تعیین‌کننده بقای *سالمونلا* در خاک می‌باشند.

شرایط محیطی نیز همانند ویژگی‌های خاک می‌توانند تأثیر قابل توجهی در افزایش ماندگاری پاتوژن *سالمونلا* داشته باشند. تنش‌های محیطی[۳۷] از جمله تنش‌های ناشی از کاربرد یک منبع آبیاری مانند لجن فاضلاب، پاتوژن *سالمونلا* را به حالت غیرقابل کشت[۳۸] اما زنده وادار می نماید که از خطر بقای *سالمونلا* در خاک نمی‌کاهد (جاچالک و همکاران، ۲۰۱۹). تفاوت بین سویه‌های پاتوژن منجر به پاسخ‌های متفاوتی نسبت به تنش‌های محیطی می‌گردد (هاراند و همکاران، ۲۰۱۹). ماندگاری پاتوژن در انواع خاک بر حسب گونه گیاهی و سویه *سالمونلا* متفاوت بوده است؛ اما به طور کلی بقا در خاک لومی و رسی بیشتر از خاک شنی بوده است (جاچالک و همکاران، ۲۰۱۹). در خاک رسی سطح ویژه بالای خاک امکان اتصال میکروبی بیشتری را نسبت به خاک شنی فراهم می‌کند. همچنین در این خاک کاهش تحرک *سالمونلا* نرخ کلونیزاسیون بافت‌های گیاهی را کاهش داده است (تان و همکاران، ۲۰۱۷). تنوع اولیه باکتری‌های خاک نیز تأثیر بالایی در بقای *سالمونلا* داشته است (اسچیرستید و همکاران، ۲۰۲۰). در مطالعه اسچیرستید و همکاران (۲۰۲۰)، تلقیح *سالمونلا* در خاک با تنوع کمتر افزایش ماندگاری را نشان داده است (اسچیرستید و همکاران، ۲۰۲۰). تنوع زیستی خاک[۳۹] و تعاملات *سالمونلا* با سایر میکروارگانیسم‌ها در خاک کلونیزه شدن یا عدم کلونیزه شدن بخش‌های گیاهی را توسط پاتوژن فراهم می‌کند (اسچیرستید و همکاران، ۲۰۲۰). متقابلاً هر چه تنوع زیستی خاک در استعمار ریشه موفق‌تر باشند نقش *سالمونلا* در استعمار کمتر خواهد بود. برجسته‌ترین مکانیسم در افزایش ماندگاری پاتوژن‌ها در خاک، مکانیسم تشکیل بیوفیلم[۴۰] است. این مکانیسم علاوه بر گسترش توانایی پاتوژن به منظور کلونیزه شدن[۴۱] بافت‌های گیاهی؛ ماندگاری پاتوژن‌ها در شرایط تنش‌های محیطی را نیز در خاک افزایش داده است (یارون و روملینگ، ۲۰۱۴). همچنین امکان نفوذ پاتوژن‌های *سالمونلا* از خاک به منابع آب‌های زیرزمینی نیز خطر ساز خواهد بود (جکوبسون و بیچ، ۲۰۱۲). از نگاهی دیگر مکانیسم تشکیل بیوفیلم امکان حضور و کلونیزه شدن گیاهان را توسط *سالمونلا* در شرایط نامطلوب از جمله رطوبت کم و عوامل باکتری‌کش فراهم کرده است (موریس و مونیر، ۲۰۰۳). توانایی پاتوژن در ورود به گیاهان از بخش‌های هوایی و زیرزمینی و درگیرکردن بخش‌های مختلف گیاهان نیز تابع ماندگاری و پویایی این پاتوژن در خاک است. با وجود موانع اشاره شده در بقا و ورود پاتوژن *سالمونلا* به گیاهان؛ در نهایت بافت‌های گیاهی توسط پاتوژن آلوده می‌شوند و این آلودگی در طول زنجیره غذایی منتشر خواهد شد.

37- Environmental stresses
38- Non-Culturable
39- Biodiversity of soils
40- Biofilm
41- Colonization



شکل ۳- عوامل مؤثر(فیزیکی، شیمیایی و زیستی) بر بقای *سالمونلا* در خاک و کلونیزه کردن گیاه را نشان می‌دهد (فورن فیلد و همکاران، ۲۰۱۷)

عوامل فیزیکی (جنس خاک و شرایط محیطی)

نوع خاک یک عامل مهم در بقای پاتوژن *سالمونلا* در نظر گرفته شده است (فان تیان و همکاران، ۲۰۲۰). وانگ (۲۰۱۸)، بهبود پایداری و بقای پاتوژن‌های *سالمونلا* و *ای کلای* را در خاک‌هایی با محتوای رس بالا گزارش نمود (دی وانگ، ۲۰۱۸)؛ اما همواره رابطه بین بافت خاک و بقای پاتوژن به دلیل تأثیر فعل و انفعالاتی هم‌چون:pH، هدایت الکتریکی و محتوای رطوبت خاک‌ها همیشه یکسان نبوده است (اریکسون و همکاران، ۲۰۱۴). برای مثال بقای پاتوژن‌های *ای کلای* O157:H7 و *سالمونلا تیفی موریوم* در خاک‌های شنی و لومی تغذیه شده با کود دامی نیز به دلیل محتوای بالای فیبر و pH گزارش شده است (فرانز و همکاران، ۲۰۰۵). در واقع چگونگی تأثیر مثبت خاک رسی بر بقای پاتوژن *سالمونلا* هنوز به طور کامل شناخته نشده است اما افزایش ظرفیت بافری، حفظ رطوبت و همچنین دسترسی بالا به عناصر غذایی در این خاک‌ها از جمله دلایل در افزایش بقا بوده است (بریننان و همکاران، ۲۰۱۴). تغییرات مثبت در خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌های رسی، افزایش سطح تماس پاتوژن‌ها و همچنین افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی را در پی داشته است (بریننان و همکاران، ۲۰۱۴). در کنار جنس خاک، دما نیز فاکتور تأثیرگذار دیگری بر بقای *سالمونلا* است. یکی از دلایل افزایش بقای *سالمونلا* در خاک‌های اصلاح شده با کود دامی، افزایش فراهمی عناصر غذایی بوده است. به طور کلی تأثیر تنش دمایی در خاک‌های اصلاح شده بر بقای *سالمونلا* کمتر است (مایز و همکاران، ۲۰۲۱). علاوه بر موارد اشاره شده به طور کلی تغییرات آب و هوایی از جمله افزایش دما، رطوبت و یا بارندگی عوامل مؤثر در انتقال و بقا *سالمونلا* می‌باشند. رطوبت نسبی، تغییرات دمایی و بارندگی در مطالعات مکرر همبستگی مثبتی با بقای *سالمونلا* نشان داده‌اند (آکیل و همکاران، ۲۰۱۴).

پوشش گیاهی

پوشش گیاهی یک فاکتور طبیعی محسوب می‌شود که در مزارع کشاورزی اثرات مطلوبی به همراه داشته است. کاهش سطح آمونیاک در آب‌های سطحی آلوده، کاهش فرسایش خاک‌ها و همچنین جلوگیری از هدررفت مواد مغذی خاک از جمله تأثیرات مثبت پوشش گیاهی در

مزارع بوده است (جن و همکاران، ۲۰۱۹). اثر این فاکتور در گسترش انتقال *سالمونلا* در مزارع نیز یک همبستگی منفی را از خود نشان داده است (پارکر و همکاران، ۲۰۱۲). در واقع وجود پوشش گیاهی انبوه در مزارع، یک زیستگاه طبیعی به منظور نگهداشت پاتوژن‌ها بوده است که مانع از گسترش شیوع پاتوژن در مزارع بواسطه آب یا باد گردیده است. در مطالعه گلیز و همکاران (۲۰۲۱)؛ در مناطق دارای پوشش گیاهی، کاهش انتقال پاتوژن‌های *ای کلای* و *سالمونلا* از خاک به محصولات گزارش شده است (گلیز و همکاران، ۲۰۲۱)؛ اما همواره عوامل محیطی هم‌چون فصل، دما و رطوبت در مزارع تحت پوشش گیاهی می‌توانند میزان شیوع پاتوژن *سالمونلا* تغییر دهند. یکی از دلایل آن تأثیرات مثبت پوشش گیاهی بر کنترل رطوبت و دمای خاک‌ها به منظور افزایش شیوع پاتوژن بوده است. برای مثال لو و همکاران (۲۰۱۳)؛ یکی از دلایل افزایش شیوع *ای کلای* در فصول تابستان و بهار را در مزارع دارای پوشش گیاهی، دما و رطوبت خاک عنوان نمودند (لو و همکاران، ۲۰۱۳). تا حدودی افزایش رطوبت در این مزارع به دلیل گسترش پوشش گیاهی تأثیرات مثبتی در شیوع پاتوژن داشته است (فون سکا و همکاران، ۲۰۲۰)؛ بنابراین پوشش گیاهی، خود به تنهایی یک عامل کنترل کننده مثبت در شیوع پاتوژن بوده است که در کنار عوامل محیطی تأثیرات مثبت آن در تا حدودی کاهش یافته است.

تنوع زیستی (رقابت در میکروبیوم)

کاهش تنوع زیستی یکی از عوامل افزایش بقا و ماندگاری *سالمونلا* در خاک بوده است (اسچیرستید و همکاران، ۲۰۲۰). در واقع محیط‌هایی با تنوع زیستی بالا، شانس بیشتری را به منظور اسکان رقبای طبیعی و همچنین ایجاد روابط آنتاگونیسمی فراهم می‌نمایند. در اینصورت احتمال بقای پاتوژن در خاک به شدت کاهش می‌یابد. برای مثال مطالعه ون السا و همکاران (۲۰۱۲)، ماندگاری *ای کلای* O157:H7 همبستگی مثبتی با کاهش میزان تنوع زیستی خاک و همچنین مقدار بالای منابع داشته است (ون السا و همکاران، 2012). اما برخی مطالعات خلاف این موضوع را ثابت نموده‌اند. در مطالعه اسچیرستید و همکاران (۲۰۲۰)، پاتوژن های *سالمونلا تیفی موریوم* LT2 و *سالمونلا سنفتنبرگ*[۴۲] در خاک‌هایی با تنوع زیستی مطلوب نیز به مدت چندین ماه ماندگاری نشان داده‌اند. در این مطالعه کاهش شدید در جمعیت میکروبی سرکوب‌کننده و متهاجم پاتوژن، شرایط لازم به منظور بقای بیشتر را فراهم نموده است. به طور کلی در میکروبیوم‌هایی با تنوع زیستی بالا علاوه بر ظهور رقابت‌های گسترده، کاهش سطح مواد مغذی و تولید ترکیبات آنتی بیوتیک نیز توسط سایر باکتری‌ها می‌تواند بقا پاتوژن‌ها در خاک را کنترل نماید.

عوامل مؤثر در انتقال سالمونلا از خاک به گیاهان

خطر آلودگی پاتوژن *سالمونلا* در زمین‌های کشاورزی تا حد زیادی به بقای آن در کود، خاک و البته درون بافت‌های گیاهی بستگی دارد (جکوبسون و بیچ، ۲۰۱۱). در حقیقت بقای پاتوژن در خاک، فاکتور تعیین-کننده انتقال مؤثر آن به گیاهان، آسیب به زنجیره غذایی و سلامت طیف گسترده موجودات زنده از جمله حیوانات و انسان‌ها است. عواملی هم چون بافت خاک، مصرف کودهای دامی، سویه‌ی مصرفی پاتوژن در خاک (*سالمونلا تیفی موریوم* و *سالمونلا انتریکا*) و نحوه مصرف سویه‌ها (اختلاط با کودهای دامی یا آب مصرفی جهت آبیاری) از دیگر عوامل می‌باشند که در انتقال مؤثر پاتوژن از خاک به گیاهان نقش دارند (جاچالک و همکاران، ۲۰۱۹). گزارش-ها حاکی از حضور *سالمونلا* در تمامی بخش‌های گیاهی به صورت درونی شده[۴۳] یا بر روی سطح گیاهان است (گومز و همکاران، ۲۰۰۹). به دلیل وجود رطوبت، دسترسی به آب و انتقال مواد مغذی عمده تجمع و رشد پاتوژن‌ها در گیاهان در ناحیه تریکوم‌ها، نزدیک رگبرگ‌ها و روزنه‌ها بوده است (کوروپیتسکی و همکاران، ۲۰۰۹). علاوه بر این، توانایی پاتوژن *سالمونلا* به منظور کلونیزه شدن بافت‌های گیاهی در

42- *Salmonella senftenberg*

43- Endophyte

محصولات تازه، وابسته به عوامل درونی و بیرونی از جمله سن گیاهان، تحرک پاتوژن، وضعیت میکروبی گیاه میزبان و همچنین دسترسی به مواد غذایی مترشحه از ریشه گیاهان می‌باشد (آروس و همکاران، 2006). عمده‌ی کلونیزه شدن بافت‌های گیاهی توسط پاتوژن *سالمونلا*، در نهال‌ها به جای گیاهان بالغ رخ داده است (برن استین و همکاران، ۲۰۰۷).

شواهد کلونیزه شدن بافت‌های گیاهی توسط این پاتوژن متعدد بوده است. برای مثال در بافت هسته گوجه فرنگی، در روزنه کاهو (کوروپیتسکی و همکاران، ۲۰۰۹)، در اسفناج (اولمز و تیمور، ۲۰۱۰)، و نیز در ریشه‌های هویج و تربچه (ایسلام و همکاران، ۲۰۰۴)؛ گزارش شده است. تحرک پاتوژن *سالمونلا* در خاک می‌تواند عامل موفقیت ورود پاتوژن به بخش‌های مختلف گیاه و کلونیزه شدن ریشه باشد (هایلو و ای، ۲۰۱۸). در برخی مطالعات به نقش تاژک باکتریایی در بقای *سالمونلا* و توانایی تحرک بعنوان یکی از عوامل مهم در فرآیند ورود پاتوژن به گیاهان از محل زخم‌های روی گیاه اشاره شده است. بر اساس گزارش برگر و همکاران (۲۰۰۹)؛ کلونیزه شدن سبزیجات ریحان، کاهو و اسفناج توسط *سالمونلا* وابسته به تحرک پاتوژن بوده است (برگر و همکاران، ۲۰۰۹). در گیاه گوجه-فرنگی کلونیزه شدن برگ (زرکانی و همکاران، ۲۰۲۰) و یا اتصال *سالمونلا* به بخش‌های مختلف گیاهی به منظور درونی‌شدن (شاو و همکاران، ۲۰۱۱) بوسیله تاژک‌ها انجام شده است. البته نوع گیاهان و تغییرات فیزیولوژی آنها و تغییرات در سویه‌های *سالمونلا* نقش مهمی در درجه تأثیرگذاری تاژک در مرحله کلونیزه شدن بافت‌های گیاهی دارد (زرکانی و همکاران، ۲۰۲۰).

علاوه بر تحرک پاتوژن، تنوع میکروبی در گیاه میزبان و برهمکنش ارگانیسم‌ها به همراه دسترسی به مواد مغذی ترشح شده از ریشه گیاهان نیز در توانایی ورود پاتوژن به محصولات تازه مؤثر بوده است (آروسکاواج و همکاران، ۲۰۰۶). ناحیه ریزوسفر و ریشه گیاه از راه‌های اصلی ورود پاتوژن *سالمونلا* به گیاهان هستند. در مطالعه جیچالک و همکاران (۲۰۱۹)، *سالمونلا تیفی موریوم* 14028s موفق ترین سویه در کلونیزه شدن گیاه کاهو و همچنین سازگاری با شرایط ریزوسفر و بافت‌های گیاهی بوده است (جیچالک و همکاران، ۲۰۱۹). علاوه بر مسیر ریزوسفری، پاشیده شدن خاک آلوده بعلت گرد و خاک، طوفان و یا در طول بارندگی و آبیاری نیز منجر به انتقال *سالمونلا* به برگ‌ها، گل‌ها و میوه‌ها می‌گردد (جیچالک و همکاران، ۲۰۱۹). برای مثال در گیاه گوجه‌فرنگی یکی از مسیرهای آلودگی *سالمونلا* در برگ‌ها و میوه‌ها، پاشش خاک در اثر بارندگی یا وجود حیوانات وحشی در مزارع بوده است (گئو و همکاران، ۲۰۱۱؛گروسزینسکی و همکاران، ۲۰۱۴). حضور *سالمونلا* در ناحیه ریزوسفر تحت تأثیر فعالیت باکتری‌های محرک رشدی نیز می‌باشد. بطوریکه برخی از این سویه‌های محرک رشدی با ایجاد مقاومت سیستمیک القایی[۴۴] (ISR) و تشدید فعالیت‌های آنتاگونیسمی، مقاومت گیاهان را در برابر حضور *سالمونلا* افزایش می‌دهند. برای مثال در گیاه کاهو حضور باکتری محرک رشدی *باسیلوس سوبتلیس*[۴۵]، مقاومت گیاه در برابر کلونیزه شدن و حضور پاتوژن *سالمونلا تیفی موریوم* افزایش داد (جوهانسون و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه بر این فعالیت‌های آنتاگونیسمی، *انتروباکترها*[۴۶] و *باسیلوس‌ها*[۴۷] بر بقا *سالمونلا* در گوجه فرنگی تأثیر داشته‌اند (شی و همکاران، ۲۰۰۹). مهار جمعیت *سالمونلا*های راه‌یافته به قسمت‌های هوایی برخی از گیاهان از جمله کاهو و ریحان توسط سویه‌های محرک رشدی از جمله *باسیلوس سوبتلیس* و *رودوتورولا گلوتینیس*[۴۸] مشاهده شده است. مکانیسم‌هایی همچون تولید ترکیبات لیپوپپتیدی و بروز مکانیسم مقاومت سیستماتیک القایی در این گونه‌های گیاهی نفوذ پاتوژن به گیاه را محدود نموده است (چاندلر و همکاران، ۲۰۱۵). علاوه بر این تولید ترکیبات فنلی و افزایش گونه‌های اکسیداتیو در مهار کلونیزه شدن گیاهان

44- Induced systemic resistance
45- *Bacillus subtilis*
46- Enterobacters
47- *Bacillus sp.*
48- *Rodotorula glutinis*

توسط *سالمونلا* روشی کارآمد گزارش شده است (چالوپویچ و همکاران، ۲۰۲۱).

کلونیزه شدن گیاهان توسط سالمونلا

به طور کلی پاتوژن‌ها از جمله پاتوژن *سالمونلا* هنگام ورود به گیاه میزبان از استراتژی‌های متعددی به منظور حفظ بقا و استقرار خود در مقابل پاسخ سیستم دفاعی گیاهان استفاده می‌نمایند. بروز این استراتژی‌ها به منظور سرکوب سیستم دفاعی گیاهان و افزایش کلونیزه شدن مؤثر می‌باشد. استراتژی‌ها عبارتند از: سازگاری، اجتناب و سرکوب. این سه مکانیسم در(شکل ۴) نشان داده شده است.

سازگاری

استرتژی سازگاری در واقع یک راهکار در افزایش توانایی *سالمونلا* به منظور آلوده‌سازی گیاهان و همچنین مقابله با تنش‌های محیطی است (شاه و همکاران، ۲۰۱۳). بروز این استراتژی در *سالمونلا* توانمندی آن را به منظور مقابله با سایر عوامل تنش‌زا به صورت متقاطع افزایش می‌دهد. برای مثال مطالعه آندینو و هانینگ (۲۰۱۵) نشان داد، در صورت بروز استراتژی سازگاری در *سالمونلا* به منظور مقابله با تنش خشکی، مقاومت بر علیه سایر تنش-های محیطی نیز ایجاد می‌گردد (آندینو و هانینگ، ۲۰۱۵). در استراتژی سازگاری حضور *سالمونلای* درونی‌شده در گیاه، در تنظیم چندین پروتئین گیاهی نقش دارد. یکی از این پروتئین‌ها، پروتئین‌های مربوط با تولید گونه‌های فعال اکسیژن[۴۹](ROS) می‌باشد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۴). مقابله با تنش‌های میکروبی در گیاهان توسط گونه‌های فعال اکسیژن کنترل می‌گردد. در صورت ورود پاتوژن *سالمونلا* به گیاهان، پروتئین‌های لازم به منظور فسفریله کردن آسکوربات در مقایسه با سایر پروتئین بیشتر دچار تغییر می‌گردند. با افزایش تولید آسکوربات در گیاهان، *سالمونلای* درونی شده، این منبع کربنی را با ترجیح بیشتری نسبت به سایر منابع کربنی محدود شده استفاده می‌نماید؛ در اینصورت سازگاری پاتوژن افزایش می‌یابد (اینگرام، ۲۰۱۶). این استراتژی در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است. برای مثال در گیاه کاهو بروز این استراتژی، سازگاری و بقا *سالمونلا تیفی موریوم* LT2 را در خاک، نسبت به محیط کشت فراهم نموده است. علاوه بر این کروپیتیسکی و همکاران (۲۰۱۹)؛ کلونیزه شدن برگ‌های کاهو توسط *سالمونلا تیفی موریوم* را در صورت بروز تنش‌های خفیف، به بروز استرانژی سازگاری ربط داده‌اند (کروپیتیسکی و همکاران، ۲۰۱۹). شکل ۴- ۱ استراتژی سازگاری را نشان می‌دهد که ممکن است توسط *سالمونلا* به منظور کلونیزه کردن گیاهان اتخاذ شود.

اجتناب

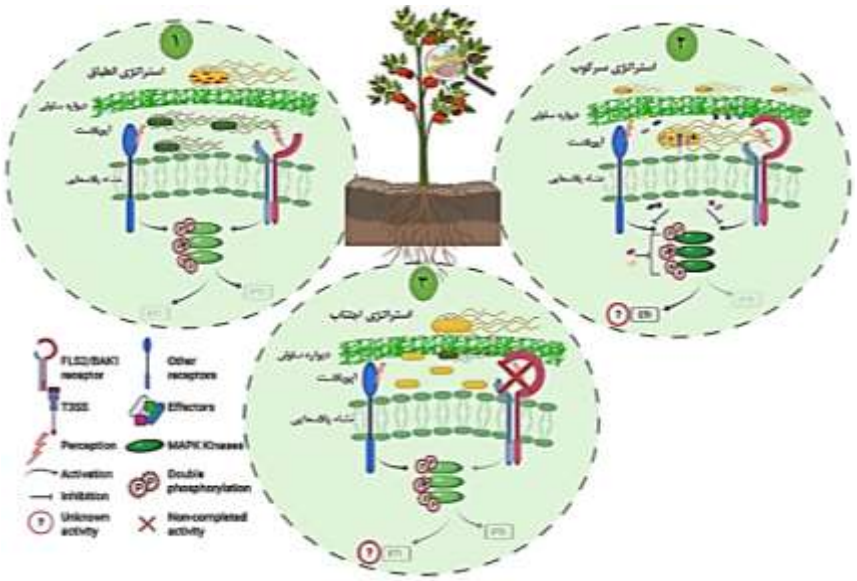
این استراتژی در واقع اجتناب پاتوژن‌ها به منظور فرار از سیستم ایمنی گیاه میزبان است (زرکانی و اسچیکورا، ۲۰۲۱). یکی از راهکارهای اجتنابی، جلوگیری از بیان الگوهای مولکولی مرتبط با پاتوژن[۵۰] است. یکی دیگر از عملکردها تغییر در الگوهای مولکولی مرتبط با پاتوژن به شکلی است که توسط میزبان گیاهی تشخیص داده نشوند. بسیاری از باکتری‌های بیماریزای گیاهی از جمله *آگروباکتریوم*[۵۱]، *سالمونلا* و برخی از باکتری‌های مفید مثل *ریزوبیوم*[۵۲] نمونه‌ای از این استراتژی می‌باشند (کاوو و همکاران، ۲۰۱۷). برای مثال یکی از مکانیسم‌های اجتنابی *سالمونلا* در حبوبات، تولید عوامل چسبندگی[۵۳] از جمله آنتی ژن‌های O[۵۴]، فیمبریای تجمعی یا سلولز[۵۵] به منظور استقرار بیشتر و جلوگیری از شناسایی توسط گیرنده‌های گیاه میزبان می‌باشد (پاراتپ و همکاران، ۲۰۱۳؛ باراک و همکاران، ۲۰۰۷). اتصال *سالمونلا* به واسطه تاژک‌ها نیز

49- Reactive oxygen species
50- Pathogen-associated molecular patterns;PAMPs
51- *Agrobacterium sp*
52- *Rhizobium sp*
53- Adhesion factors
54- O Antigens
55- Cumulative fimbriae or cellulose

یک مکانیسم اجتنابی محسوب می‌گردد که در برخی از مطالعات نقش آن در بقا بیشتر پاتوژن در گیاه میزبان بی‌تأثیر گزارش گردیده است (شاو و همکاران، ۲۰۱۱). استراتژی اجتناب در شکل ۴- ۲ نشان داده شده است. این که آیا این استراتژی یک استراتژی مطلوب در *سالمونلا* به منظور آلوده‌سازی[۵۶] گیاهان میزبان می‌باشد یا خیر سؤال بسیار مهمی‌ست که به مطالعات بیشتری نیاز دارد.

سرکوب

استراتژی سرکوب در *سالمونلا* به صورت چندین عامل بروز می‌نماید. برای مثال، انواع مختلف سیستم‌های ترشح و یا انتقال‌دهنده‌های یونی که نقش مهمی در ایجاد و حفظ بقا درون‌سلولی ایفا می‌نمایند؛ نمونه‌ای از این استراتژی در *سالمونلا* می‌باشند (زرکانی و اسچیکورا، ۲۰۲۱). شکل ۴- ۳ استراتژی سرکوب را نشان می‌دهد که ممکن است توسط *سالمونلا* برای کلونیزه شدن گیاهان اتخاذ شود.



شکل ۴- سه استراتژی *سالمونلا* در استعمار گیاهان شامل انطباق (۴-۱)، سرکوب (۴-۲) و اجتناب (۴-۳) (زرکانی و همکاران، ۲۰۱۹)

تأثیر پاتوژن سالمونلا بر سلامت گیاهان، انسان و حیوانات

پاتوژن *سالمونلا* دومین پاتوژن شایع قابل انتقال از غذا به انسان و دام می‌باشد (تاک و همکاران، ۲۰۱۹). بر اساس تجزیه و تحلیل توالی 16S rRNA *سالمونلا* به دو گونه *سالمونلا انتریکا* و *سالمونلا بونگاری* طبقه‌بندی می‌شود. در گونه *سالمونلا انتریکا* شش زیرگروه قرار می‌گیرند. زیرگروه یک را می‌توان به *سالمونلا* تیفوئیدی (*سالمونلا تیفی* و *سالمونلا پاراتیفی*) و *سالمونلا* غیر تیفوئیدی (*سالمونلا تیفی موریوم* و *سالمونلا انتریدیس*[۵۷]) تقسیم نمود (ریورس و همکاران، ۱۹۸۹). *سالمونلا* تیفوئیدی عامل شیوع بیماری فقط در انسان می‌باشد در صورتی که *سالمونلا* غیر تیفوئیدی انسان و حیوانات را به طور گسترده آلوده می‌نماید (هرلی و همکاران، ۲۰۱۴). سالمونلوز[۵۸] بیماری مشترک بین انسان و دام می‌باشد که دارای علایم بالینی مختلفی در انسان و حیوان است. در حیوانات با علایم تب، اسهال و مرگ و میر بالا در صورت عدم درمان بروز پیدا می‌کند (مورگان و همکاران، ۲۰۰۴). علاوه بر این بیماری سالمونلوز، در انسان یا حیوان می‌تواند به شکل تب

56- Contamination
57- *Salmonella enteritis*
58- Salmonellosis

حصبه[۵۹]، عفونت حاد روده ای[۶۰] و گاستروانتریت غیرتیفوئیدی[۶۱] نیز ظاهر گردد (هایلو و ای، ۲۰۱۸). جمعیت پایین سلول‌های *سالمونلا* (۱۰۰-۱۰ سلول) نیز منجر به ایجاد آلودگی در محصولات و شیوع سالمونلوز می‌شوند (اوماراو همکاران، ۲۰۱۹). در حدود ۱۵ درصد افراد مبتلا به این بیماری از طریق مصرف میوه و سبزیجات تازه مبتلا می‌شوند (میچل و همکاران، ۲۰۱۱). دلیل عمده آن ماندگاری بالای پاتوژن *سالمونلا* در محصولات تازه است (فورن فیلد و همکاران، ۲۰۱۷). ماندگاری پاتوژن *سالمونلا* در گیاهان، بخشی از چرخه زندگی پاتوژن قبل از ورود به میزبان حیوانی یا انسانی است (اسچیرستید و همکاران، ۲۰۲۰). در خاک‌های کشاورزی، کاربرد آب‌ها و کودهای آلوده عامل شیوع سالمونلوز بوده است (لئو و همکاران، ۲۰۱۸؛ روچا و همکاران، ۲۰۲۲). نوع محصولات مصرفی، سروارهای *سالمونلا* و وضعیت فیزیولوژیکی باکتری‌های *سالمونلا* و حساسیت میزبان در دوز عفونت تأثیر دارند (رانجان و همکاران، ۲۰۱۶). در بین محصولات کشاورزی محصول گوجه فرنگی اغلب با شواهدی از کلونیزه شدن دو پاتوژن *سالمونلا تیفی موریوم* و *سالمونلا انتریکا*؛ با شیوع سالمونلوز همراه بوده است (زرکانی و اسچیکورا، ۲۰۲۱). شیوع بیماری سالمونلوز می‌تواند از غذاهای آلوده به پاتوژن *سالمونلا* حاصل گردد؛ اما مصرف گوشت نیم‌پز حیوانات آلوده، محصولات طیور و البته میوه و سبزیجات آلوده به مدفوع حیوانات یا آبیاری شده با آب-های آلوده می‌توانند از دیگر منابع شیوع سالمونلوز در انسان باشند (آونگ و همکاران، ۲۰۲۱). در بسیاری از کشورها شیوع *سالمونلا* در گیاهان و همچنین بروز سالمونلوز در حیوانات مزرعه و انتقال آن به انسان از نظر اقتصادی بسیار مهم به شمار می‌رود (آگباجی و همکاران، ۲۰۱۱)؛ بنابراین در صورت کاربرد منابع آلوده به پاتوژن *سالمونلا*، توجه ویژه در کنترل این عامل بیماریزا به منظور ارتقا سلامت محصولات و بهبود ایمنی خاک ضروری محسوب می‌گردد.

روش‌های تشخیص پاتوژن سالمونلا در خاک های آلوده

از گذشته تا کنون فناوری‌های نوین یا روش‌های سنتی به منظور تشخیص طیف گسترده‌ای از عوامل آلوده-کننده مانند پاتوژن‌ها در خاک به کار گرفته شدند؛ اما همواره نیاز به داشتن روش‌های تشخیصی نوین، سریع و کارآمدترکه بتوانند در شرایط بحرانی بهتر عمل کنند، احساس می‌شود. در این بین کاربرد فناوری نانو یک گام موثر در تشخیص آلاینده‌های خاک شناخته شده است (گوپتا و همکاران، ۲۰۱۰). استفاده از نانوحسگرهای زیستی نمونه‌ای از فناوری‌های هوشمندانه و تکنیک‌های جدید است که مانع از ورود و گسترش آلاینده‌ها از خاک و منابع آبیاری به گیاهان، موجودات زنده و حتی آب‌های زیرزمینی می‌گردد. نانوحسگرهای زیستی در تشخیص آلاینده‌های خاک از جمله آفت‌کش‌ها، ترکیبات فنلی، رنگ‌ها، فلزات سنگین و همچنین آلاینده‌های میکروبی استفاده می‌شوند. به طور کلی حساسیت بالای نانوحسگرهای زیستی به منظور تشخیص آلاینده‌های میکرو، نانو و مولکولی بسیار حائز اهمیت است (هایروم و همکاران، ۲۰۲۱). مرسوم‌ترین روش تشخیصی *سالمونلا* که از گذشته تاکنون مورد استفاده قرار می‌گیرد روش‌های مبتنی بر کشت می‌باشد که زمانبر و پرهزینه هستند (لوو و همکاران، ۲۰۱۴). کشت‌های میکروبی غالباً روش‌های کندی محسوب می‌شوند که امکان تشخیص در محل را نیز فراهم نمی‌کنند. همچنین در برخی موارد، در روش‌های مبتنی بر کشت امکان بررسی بخشی از میکروارگانیسم‌های زنده‌ی غیر قابل کشت وجود نخواهد داشت. در ارزیابی پاتوژن‌ها نیز این موضوع امکان برآورد درستی از جمعیت میکروب‌ها در خاک یا سایر منابع را فراهم نمی‌کند (لی و همکاران، ۲۰۱۵). در مقابل، روش-های نوین معروف به روش‌های سریع قرار دارند. این روش‌ها عبارتند از: روش‌های ایمونولوژیک و روش‌های مولکولی و حسگرهای زیستی. ویژگی‌های منحصر به فرد روش‌های مولکولی، حساسیت و دقت بالایی است که

59- Typhoid fever
60- Acute intestinal infection
61- Non-typhoidal gastroenteritis

کاربرد آن‌ها را به منظور تشخیص و شناسایی پاتوژن‌ها فراهم کرده است (لئو و همکاران، ۲۰۲۲). برخی از این روش‌ها مانند PCR[۶۲] و qPCR[۶۳] به منظور کاربرد در محل نامناسب و گران قیمت هستند (لئو و همکاران، ۲۰۲۲). عدم تمایز بین سلول‌های زنده و مرده و ایجاد نتایج مثبت کاذب (لی و همکاران، ۲۰۱۵)، وجود ترکیبات مهارکننده (گنز و گیل، ۲۰۱۳)، پرزحمت و پرهزینه بودن فرآیند، نیاز به تجهیزات گران قیمت و در نهایت نیاز به افراد آموزش دیده به منظور تحلیل نتایج حاصل از فرآیند PCR؛ از جمله معایب این روش هستند (پارک و همکاران، ۲۰۱۴). از دیگر روش‌های نوین، کاربرد حسگرهای زیستی در کنترل و شناسایی پاتوژن *سالمونلا* است. در این حسگرها اهمیت عناصر شناسایی[۶۴] یا گیرنده‌های زیستی[۶۵] در اثر برهم‌کنش با پاتوژن *سالمونلا* به دلیل گزینش‌پذیری و حساسیت قابل توجه بوده است (کومار و همکاران، ۲۰۱۴). حسگرهای تشخیصی *سالمونلا* را می‌توان به چهار دسته کلی تقسیم نمود: (الف) حسگرهای نوری بر اساس نانوذرات الیگونوکلئوتیدی طلا[۶۶]؛ در این حسگرهای نوری توانمندی بالا به منظور تشخیص همزمان انواع گونه‌های *سالمونلا* در محیط یا غذای آلوده گزارش شده است (کوئینتلا و همکاران، ۲۰۱۹). (ب) خوشه هایی از نانوذرات مغناطیسی با پوشش طلا[۶۷]؛ روشی جدید به منظور تشخیص *سالمونلا* محسوب می‌گردد (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۶). (ج) حسگرهای کوچک تعادلی از جنس کریستال‌های کوارتز[۶۸]؛ افزایش سیگنال در نانوذرات طلا[۶۹] و تشخیص *سالمونلا تیفی موریوم* توسط این حسگر گزارش شده است (مین و همکاران، ۲۰۲۲). (د) تراشه حسگر LSPR مبتنی بر نانوذرات طلا[۷۰]؛ تشخیص سریع *سالمونلا تیفی موریوم* با استفاده از این حسگر در گوشت مسموم گزارش شده است (یانگاچ و همکاران، ۲۰۱۷). تشخیص *سالمونلا* در خاک با استفاده از نانوحسگرها به طور گسترده مورد مطالعه قرار نگرفته است. با این حال، چندین مقاله تحقیقاتی وجود دارد که تشخیص ژنتیکی میکروارگانیسم‌ها در نمونه‌های مختلف گیاهی، جانوری، غذایی و محیطی را مورد بررسی قرار داده است (شکری و همکاران، ۲۰۱۶؛ شکری و همکاران، ۲۰۱۷؛ شکری و همکاران، ۲۰۲۰). این مطالعات می‌توانند بینش‌هایی را در مورد کاربرد بالقوه نانوحسگرهای طلا با مکانیسم‌های متعدد همچون نوری، الکتروشیمیایی و غیره را به منظور تشخیص *سالمونلا* در خاک نیز ارائه دهند. کوئینتلا و همکاران (۲۰۱۹)؛ تشخیص همزمان چندین گونه‌های *سالمونلا* موجود در مواد غذایی و نمونه‌های محیطی را با استفاده از یک حسگر زیستی بر مبنای نانوذرات طلا گزارش نمودند (کوئینتلا و همکاران، ۲۰۱۹).

در مطالعه‌ای دیگر تشخیص *سالمونلا تیفی موریوم* به کمک یک حسگر کوچک تعادلی از جنس کریستال‌های کوارتز و افزایش سیگنال صورت گرفت (مین و همکاران، ۲۰۲۲). در این مطالعه تشخیص در نمونه‌های مایع صورت گرفت؛ بنابراین اصول و تکنیک‌های مورد استفاده در این حسگر زیستی به طور بالقوه می‌تواند به منظور تشخیص *سالمونلا* در نمونه‌های خاک نیز اعمال شود. آپتاحسگرهای زیستی پراکندگی سطحی رامان[۷۱]؛ به منظور تشخیص همزمان دو سویه *سالمونلا تیفی موریوم* و *استافیلوکوکوس اورئوس*[۷۲] در نمونه‌های غذایی استفاده شده‌اند. با وجود گزارشات محدود از کاربرد این حسگر در تشخیص *سالمونلا*؛ ممکن است تحقیقات به منظور تشخیص پاتوژن در خاک با استفاده از این نانوحسگر بسیار کاربردی به نظر آید (کومار و همکاران، ۲۰۲۰). نوع دیگر حسگرهای زیستی هترو نانومیله‌های طلا[۷۳]می‌باشند که همانند سایر حسگرهای اشاره شده به منظور تشخیص *سالمونلا* در نمونه‌های غذایی کارآمد گزارش شده‌اند (فو

62- Polymerase chain reaction
63- Quantitative PCR
64- Identification elements
65- Biological receptors
66- Nucleic Acid-Based Nanobiosensor (NAB)
67- Gold-Coated Magnetic Nanoparticle Clusters
68- Quartz Crystal Microbalance Biosensor
69- Au Nanoparticles(AuNPs)
70- Gold Nanoparticle-Aptamer-Based LSPR Sensing Chips
71- Nanoparticle-enhanced surface-enhanced Raman scattering (SERS) aptasensor
72- *Staphylococcus aureus*
73- Hetero-nanorod-based biosensor

و همکاران، ۲۰۰۶). به طور کلی حسگرها بر اساس نوع آنالیت[۷۴] هدف و روش‌های آشکارسازی دارای انواع مختلفی می‌باشند. یک حسگر زیستی شامل بخش‌های مختلف از جمله: گیرنده زیستی، مبدل دریافت سیگنال[۷۵] و پردازشگر سیگنال[۷۶] است. در ساخت گیرنده‌های زیستی می‌توان از آنزیم‌ها، آنتی‌بادی[۷۷]، آپتامر[۷۸]، رشته‌های نوکئیک اسید و پپتیدها استفاده نمود (اسپیچیگرکیلر، ۱۹۹۸). گیرنده‌های زیستی رایج به منظور تشخیص *سالمونلا* در ساختار نانوحسگرهای زیستی شامل: آنتی بادی، آپتامر، پروب اسید نوکئیک[۷۹]، باکتریوفاژ[۸۰] و لکتین[۸۱] هستند و همکاران، ۲۰۲۱). در بین گیرنده‌های زیستی عملکرد آپتامرها در زمینه تشخیص فوق العاده بوده است. در مطالعات زیادی از آپتاحسگرهای زیستی در روش‌های رنگ سنجی به منظور تشخیص و شناسایی انواع آنالیت‌های هدف استفاده گردیده است. برای نمونه، شهسوار و همکاران (۲۰۱۷)؛ از یک آپتاحسگر زیستی مبتنی بر DNA برای تشخیص ATP[۸۲] به روش رنگ سنجی استفاده کردند. در ساختار این حسگر از آپتامرATP در ساختار حلقه-ساقه[۸۳] و یک DNA شبه آنزیمی استفاده شد (شهسوار و همکاران، ۲۰۱۷).(جدول۱) ، تشخیص برخی از پاتوژن‌ها بوسیله حسگرهای زیستی بر پایه گیرنده زیستی آپتامر را نشان می‌دهد (سندی و همکاران، ۲۰۲۱). مهم‌ترین موضوع در عملکرد بهتر آپتامرها، تثبیت آپتامر بر روی سطح حسگرها است (آونگ و همکاران، ۲۰۲۱). در بین نانوحسگرهای زیستی، حسگرهای مبتنی بر آپتامر منحصراً به منظور تشخیص پاتوژن *سالمونلا* به کار گرفته شدند.

74-Analyte
75- Signal receiving converter
76- Signal processor
77- Antibody
78- Aptamer
79- Nucleic acid probe
80- Bacteriophage
81- Lectin
82- Adenosine triphosphate
83- Hairpin

جدول ۱- تشخیص برخی از پاتوژن‌ها بوسیله حسگرهای زیستی برپایه آپتامر (سندی و همکاران، ۲۰۲۱)

نام پاتوژن	هدف گیرنده (آنالیت)	سیستم تشخیص	منبع
E.coli* O157:H7** ***Salmonella typhimurium	باکتری	نانوحسگر چند منظوره فلورسنت مغناطیسی اصلاح شده با آپتامر[۸۴]	(لی و همکاران، ۲۰۱۸)
Staphylococcus aureus ***Ecoli***	باکتری	بارکدهای هیدروژل مبتنی بر آپتامر چند گانه[۸۵]	(زو و همکاران، ۲۰۱۸)
***E.coli* O157:H7**	باکتری	حسگر زیستی الکتروشیمیایی با قاب فلزی – آلی عامل دار شده با گروه آمینو و آپتامر[۸۶]	(شاهرخیان و رنجبر، ۲۰۱۸)
Staphylococcus aureus	باکتری	حسگر الکتروشیمیایی مبتنی بر آپتامر[۸۷] و نانوذرات نقره[۸۸]	(عباسپور و همکاران، ۲۰۱۵)
Salmonella.typhimurium	باکتری	آپتاسنسورهای DNA سنجاق سری[۸۹]	(لی و همکاران، ۲۰۱۷)
Salmonella.typhimurium	باکتری	آپتاسنسورها بر پایه پراکندگی رامان سطحی[۹۰]	(زو و همکاران، ۲۰۱۸)
Salmonella.typhimurium	باکتری	حسگر زیستی الکتروشیمیایی	(آپاتوری و همکاران، ۲۰۲۰)
Salmonella enterica	باکتری	فاز جامد سیلیس مغناطیسی[۹۱] و سیستم گیت MCM-41-aptamer[۹۲]	(بایرام اغلو و همکاران، ۲۰۱۸)
Salmonella.typhimurium	باکتری	آپتاسنسور فلورسنت بدون بر چسب[۹۳]	(سرینیواسان و همکاران، ۲۰۱۸)
Salmonella.typhimurium	باکتری	نانوپروب های لومیسنس عاملدار شده با آپتامر[۹۴]	(یوس و همکاران، ۲۰۱۸)

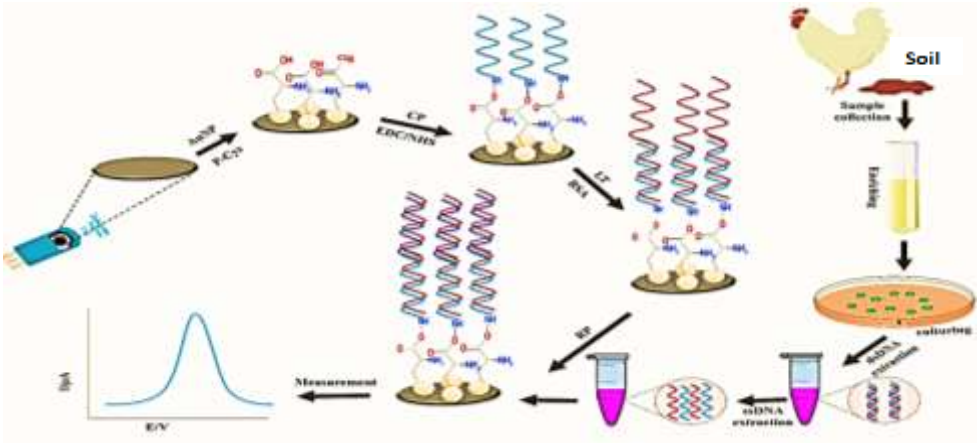
در مطالعه آونگ و همکاران (۲۰۲۱)؛ در مدت زمان کمتر از ۳۵ دقیقه، حد تشخیص پاتوژن‌های *ای کلای* O157:H7 و *سالمونلا تیفی موریوم* توسط آپتاحسگرها به ترتیب CFU/mL ۳۴۰ و ۱۸۰CFU/mL گزارش شده است (آونگ و همکاران، ۲۰۲۱). کاربرد این حسگرها امکان تشخیص موفقیت‌آمیز *سالمونلا* را در نمونه‌های غذا با حد تشخیص ۶CFU/mL نیز فراهم نمود. همانطور که در شکل ۵؛ مشاهده می‌شود تکنیک‌های تشخیص *سالمونلا* در حسگرهای زیستی متعدد گزارش شده است. روش‌های سنجش نوری و شناسایی الکتروشیمیایی از روش‌های تشخیص سریع پاتوژن *سالمونلا* می‌باشند که وابسته به کاربرد حسگرهای زیستی هستند (آونگ و همکاران، ۲۰۲۱).

84- A multifunctional aptamer-modified magnetic fluorescent nanosensor
85- Multiple aptamer-based hydrogel barcodes
86- Electrochemical biosensor with metal-organic framework functionalized with amino group and aptamer
87- Electrochemical sensor based on aptamer
88- Silver nanoparticles
89- Hairpin DNA aptasensors
90- Surface-enhanced Raman scattering (SERS) based aptasensor
91- Magnetic silica solid phase
92- MCM-41-aptamer gate system
93- Label-free fluorescent aptasensor
94- Aptamer-functionalized luminescent nanoprobes

شکل ۵- معرفی انواع گیرنده‌های زیستی و حسگرهای تشخیص *سالمونلا*(شن و همکاران، ۲۰۲۱)

(شکل۶) عملکرد یک حسگر زیستی مبتنی بر روش الکتروشیمیایی به منظور تشخیص *سالمونلا انتریکا* در نمونه‌های مختلف زنده و محیطی از جمله خاک نشان می-دهد (آونگ و همکاران، ۲۰۲۱). اساس کار در این حسگر، تثبیت کاوشگر تک رشته‌ای اختصاصی عاملدار شده با گروه آمین[۹۵] بر روی سطح نانوذرات طلا و الکترود های اصلاح شده سیستئین[۹۶] بوده است. در واقع از ولتامتری پالس تفاضلی[۹۷] نمک سدیم مونوهیدرات آنتراکینون-۲-سولفونیک اسید[۹۸] و همچنین هیبریداسیون DNA هدف و پروب به عنوان یک نشانگر به منظور تشخیص *سالمونلا انتریکا* سروار *تیفی* استفاده شده است. رنگ سنجی[۹۹]، آنالیز فلورسانس[۱۰۰]، تشخیص طیف رامان[۱۰۱]، تعیین تشدید پلاسمون سطحی[۱۰۲] و تشخیص فتوترمال[۱۰۳] از جمله روش‌های مبتنی بر سنجش نوری در تشخیص *سالمونلا* می‌باشند (آونگ و همکاران، ۲۰۲۱). در میان تکنیک‌های تشخیص *سالمونلا*، حسگرهای رنگ سنجی همراه با خروجی سیگنال بدون نیاز به تجهیزات با چشم و بدون ابزار قابلیت تشخیصی دارند. واکنش سریع، عملکرد ساده و عدم نیاز به دستگاه پیچیده به منظور تشخیص *سالمونلا*؛ اهمیت این تکنیک را نسبت به سایر تکنیک‌های تشخیصی برجسته نموده است (دینگ و همکاران، ۲۰۱۶؛ شکری و همکاران، ۲۰۱۷).

95- Fabricated by immobilizing an amine labelled
96- Poly cysteine
97- Differential pulse voltammetry (DPV)
98- Anthraquinone-2-sulfonic acid monohydrate sodium salt (AQMS)
99- Colorimetric
100- Fluorescence analysis
101- Surface-enhanced Raman spectral (SERS)
102--Surface plasmon resonance (SPR)
103- Photothermal detection

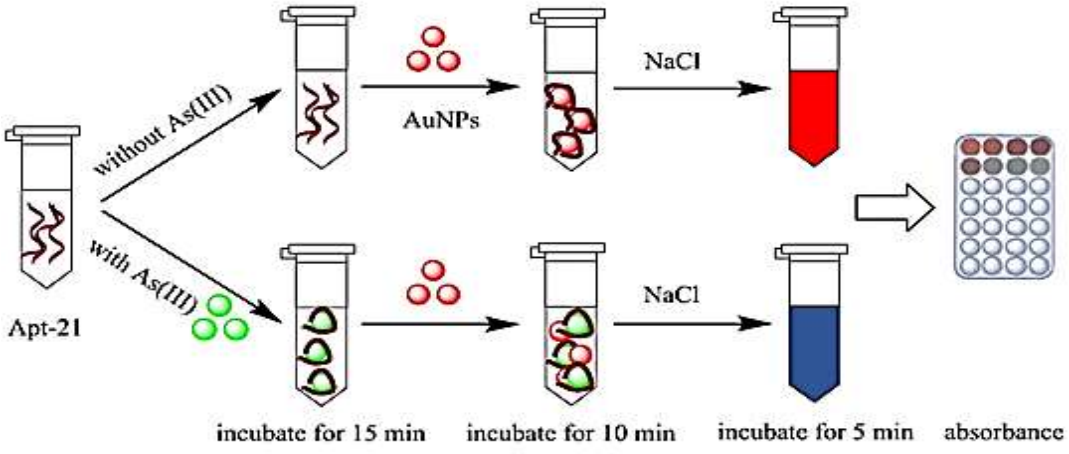


شکل ۶- عملکرد حسگر زیستی مبتنی بر روش الکتروشیمیایی به منظور تشخیص *سالمونلا انتریکا* در نمونه‌های زنده و محیطی (آونگ و همکاران، ۲۰۲۱)

روش رنگ‌سنجی از جمله روش‌های سنجش نوری در تشخیص *سالمونلا* در محل است. مهم‌ترین ویژگی این روش تشخیص آنالیت یا در واقع مشاهده پاسخ سیگنال با چشم غیر مجهز می‌باشد (وو و همکاران، ۲۰۲۱). تشخیص در روش‌های رنگ‌سنجی یا بر مبنای تغییر رنگ ناشی از خواص نوری یا شیمیایی پروب است و یا اینکه تغییر رنگ در سوبسترا کروموژنیک[۱۰۴] از طریق واکنش‌های آنزیمی و یا شبه کاتالیزوری صورت می‌گیرد (شکری و همکاران، ۲۰۲۲). در رنگ سنجی غیرآنزیمی؛ عمدتاً از نانوذرات طلا به عنوان مواد رنگ‌سنجی استفاده می‌شود. تشخیص آنالیت بر اساس تغییر رنگ و مشاهده طیف رنگ-های قرمز شرابی، رنگ آبی- بنفش (در صورت بروز مکانیسم تجمع در نانوذرات) می‌باشد (شکری و همکاران، ۲۰۲۰). آنتی‌بادی‌ها و آپتامرهای جذب شده روی سطح نانوذرات طلا مانع از بین رفتن بار سطحی نانوذرات طلا توسط محلول نمک می‌شوند؛ بروز این واکنش، تغییر رنگ محلول ناشی از تجمع نانوذرات طلا را با روند کندتر امکان‌پذیر می‌کند (ما و همکاران، ۲۰۱۷). علاوه بر نانوذرات طلا، سایر نانومواد با آشکارسازی رنگ‌های متعدد نقش به سزایی در تشخیص رنگ‌سنجی *سالمونلا* داشته‌اند (هو و همکاران، ۲۰۱۸). در حقیقت فراوانی اسیدهای تیکوئیک[۱۰۵] و البته لیپوپلی ساکاریدها به ترتیب بر روی سطح باکتری‌های گرم مثبت و منفی، منجر به ایجاد بار منفی سطحی در باکتری‌ها و همچنین ایجاد برهم کنش‌های الکترواستاتیکی بین باکتری‌های هدف و نانوذرات می‌گردد. در این حالت پاسخ نانوذرات به شکل‌های متعدد هم‌چون تجمع نانوذرات طلا بروز پیدا می‌کند. در حقیقت با پوشش دهی سطح نانوذرات با آپتامرهای مربوط به پاتوژن، در صورت حضور پاتوژن در محیط سطح نانوذرات از آپتامرها تهی گشته و در نهایت یک برهمکنش میان پاتوژن و آپتامر ایجاد می‌گردد که با اضافه کردن غلظت‌های متعدد نمک به محیط تجمع نانوذرات مشاهده می‌شود (شکل ۷) (آلافیف و همکاران، ۲۰۲۰). کابرد نانوحسگرها زیستی در تشخیص پاتوژن‌های زیستی و باکتریایی گسترده گزارش شده است (کاستیلو و همکاران، ۲۰۲۰).

104- Chromogenic substrate

105- Teichoic acids

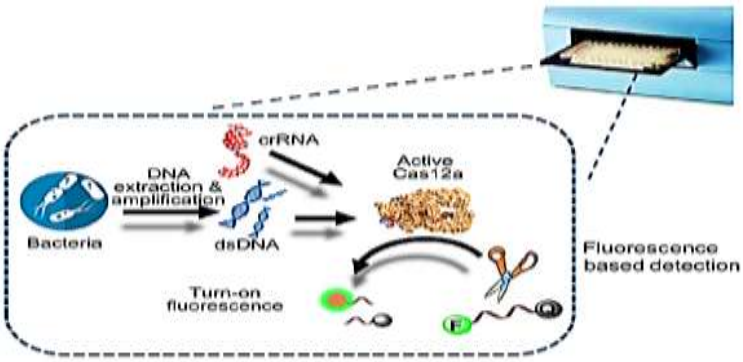


شکل ۷- نحوه عمل نانوحسگر زیستی رنگ سنجی بر پایه‌ی گیرنده زیستی؛ آپتامر و نانوذرات طلا به منظور تشخیص *سالمونلا* (شن و همکاران، ۲۰۲۱)

بهره‌گیری از این فناوری در تشخیص و مطالعه باکتری‌هایی مانند *ای کلای* و *سالمونلا* گزارش شده است (پترو سووا و همکاران، ۲۰۰۷؛ مالوانو و همکاران، ۲۰۲۰). عملکرد اصلی در شناسایی پاتوژن‌ها بر اساس توالی نوکئیک اسیدهای باکتریایی و ویروسی است که در حسگرها متفاوت می‌باشد (تران و همکاران، ۲۰۱۱؛ لازرگس و بیدوئی، ۲۰۱۳). در مطالعه شمس و همکاران (۲۰۱۹)؛ شناسایی ۴۴ گونه *کمپیلو باکتر*[۱۰۶] با استفاده از نانوحسگرها در مقایسه با Real-time PCR حساسیت ۸۸ درصدی را نشان داده است (شمس و همکاران، ۲۰۱۹). در مطالعه وو و همکاران (۲۰۱۲)، به واسطه نانو ذرات طلا مبتنی بر آپتامر، امکان تشخیص پاتوژن *ای کلای* و *سالمونلا تیفی موریوم* را با حد تشخیص کمتر از 10^5CFU/mL در نمونه‌های هدف فراهم نمودند. حساسیت و سرعت در تشخیص در این مطالعه بالا گزارش شده است (وو و همکاران، ۲۰۱۲). خالدیان و همکاران (۲۰۱۷) گزارش نمودند که نانوذرات طلای عاملدار شده[۱۰۷]، امکان تشخیص سریع و آسان DNA ژنومی پاتوژن گیاهی رالستونیا سولاناسروم[۱۰۸] را در خاک به روش رنگ‌سنجی فراهم نموده است (خالدیان و همکاران، ۲۰۱۷). سو و همکاران (۲۰۱۲)، با استفاده از نانوذرات طلای اصلاح شده با مرکاپتواتیل آمین[۱۰۹] به عنوان یک حسگر کم هزینه با قابلیت تشخیص در محل پاتوژن *ای کلای* O157:H7 را به روش رنگ‌سنجی در کمتر از ۵ دقیقه با حساسیت بالا آشکار نمودند (سو و همکاران، ۲۰۱۲). علاوه بر این کاربرد نانوذرات طلا (عاملدار شده با الیگونوکلئوتیدهای DNA مختلف) به عنوان حسگرهای رنگ‌سنجی، تشخیص همزمان چند سویه *سالمونلا* را با حد تشخیص کمتر 10^1CFU/mL امکان پذیر نمود (کوئن تلا و همکاران، ۲۰۱۹). در مطالعه‌ای دیگر حساسیت تشخیص پاتوژن *سالمونلا تیفی موریوم* ATCC50761 بوسیله حسگرهای زیستی الکتروشیمیایی در کمتر از یک ساعت با حد تشخیص ۲۵CFU/mL گزارش شده است (جیا و همکاران، ۲۰۱۶). اخیراً تکنیک جدید دیگری به منظور تشخیص باکتری‌های بیماریزا از جمله *سالمونلا* به روش‌های نوین تشخیص تحت عنوان تکرارهای کوتاه پالیندرومیک با فاصله منظم[۱۱۰] (CRISPR-Cas) اضافه شده است که در آن از سیستم CRISPR/Cas 12 a به

106- *Campylobacter sp.*
107- Functionalized gold nanoparticles
108- *Ralstonia solanacearum*
109- Gold nanoparticles modified with mercaptoethylamine
110- Short palindromic repeats(CRISPR)

منظور ایجاد حسگرهای زیستی دو حالته (نشری-رنگی) در شناسایی باکتری‌های بیماریزا استفاده شده است (ما و همکاران، ۲۰۲۱). در این مطالعه؛ ابتدا بخشی از توالی رمز کننده ژن*invA* تکثیر شد و سپس با استفاده از آنزیم CRISPR-Cas12a شناسایی گردید. برای تولید سیگنال در این حسگر از یک گزارشگر فلورسانس با ساختار (F-ssDNA-Q) استفاده شده است. در حالت عادی نشر فلورسانس گزارشگر بدلیل مجاورت ترکیب بازدارنده Q با فلئورفور F خاموش است؛ اما با افزودن DNA *سالمونلا* به نمونه، آنزیم کریسپر با هدایت RNA راهنما[111] به آن متصل شده و خاصیت برش DNA تک و دو رشته ای در آن فعال شده و متعاقبا مولکول گزارشگر را برش می‌دهد. با این عمل، اثر بازدارنده ترکیب خاموشگر از بین رفته و نشر فلورسنس مولکول فلئوفور بازیابی می‌شود، سپس سیگنال-های فلورسنت تقویت شده با استفاده از یک میکروپلیت خوان به منظور تشخیص کمی *سالمونلا* ضبط می‌شوند (شکل ۸) (ما و همکاران، ۲۰۲۱).CRISPR-Cas یکی از جدیدترین و پیشرفته‌ترین روش‌ها در تجزیه و تحلیل اسید نوکلئیک است که اخیراً توجه زیادی پیدا کرده است. عموماً در باکتری‌ها سیستم CRISPR/Cas در شناسایی و تجزیه عناصر ژنتیکی خارجی[112] از ویروس‌ها نقش داشته است (شبیر و همکاران، ۲۰۱۹). علاوه بر این ایجاد حفاظت تطبیقی[113] در برابر اسیدهای نوکئیک خارجی را نیز فراهم کرده است (جینک و همکاران، ۲۰۱۲). اغلب این تکنیک به منظور دستیابی به حساسیت بالاتر و توسعه حسگرهای نوری[114] و الکتروشیمیایی جدید، با تکنیک‌هایی همچون واکنش زنجیره ای پلیمراز[115] و تقویت اسید های نوکئیک[116] ادغام گردیده است (چاکرابورتی و همکارن، ۲۰۲۲). ردیابی مستمر و کنترل پاتوژن مقاوم *سالمونلا* در منابع متعدد آلودگی و منحصراً خاک به عنوان زیستگاه رشد گیاهان می‌تواند علاوه بر گسترش تولیدات سالم، دغدغه‌ی گسترش روزافزون جمعیت و کمبود غذای سالم را رفع می‌نماید.



شکل ۸- حسگر زیستی مبتنی بر سیستم CRISPR/Cas 12 a؛ با ردیابی DNA باکتری سالمونلا در نمونه، خاصیت برش تک رشته در کمپلکس کریسپر فعال شده و مولکول گزارشگر (F-ssDNA-Q) را برش می‌دهد. با این عمل، اثر بازدارنده ترکیب خاموشگر (Q) از بین رفته و نشر فلورسنس مولکول فلئوفور (F) بازیابی شده و با دستگاه آشکارساز کمیت سنجی می‌شود

نتیجه گیری

شیوع و ماندگاری بالای *سالمونلاها* در خاک و ضرورت سلامت نگهداشتن خاک به عنوان بخش کلیدی در تأمین امنیت غذایی افراد، بیشتر از هر زمانی امر شناسایی *سالمونلا* و جلوگیری از گسترش آن در خاک‌ها را حیاتی کرده است. همچنین در همین راستا رویکردهای اخیر کشورهای پیشرفته و اتحادیه اروپا، در وضع مقررات سختگیرانه برای کنترل و صدور مجوز وارداتی برای

111- Guide RNA
112- Foreign genetic elements
113- Adaptive protection
114- Optical biosensor
115- Polymerase chain reaction (PCR)
116- Sothermal nucleic acid amplification

"محصولات کشاورزی عاری از *سالمونلا*" نشان می‌دهد که نسبت به آلودگی محصولات با *سالمونلا* حساسیت جهانی وجود دارد و کشورهایی همچون ایران که مزیت-های صادراتی در کشاورزی دارند، بایستی کنترل *سالمونلا* در زراعت و مزارع پرورشی دام – طیور را جدی تلقی‌کنند. در بین روش‌های متعدد تشخیص و کنترل عوامل پاتوژنیک در خاک؛ کاربرد روشی مقرون به صرفه، سریع، دقیق و کارآمد ضروری است. نانوحسگرهای زیستی نمونه‌ای از روش‌ها و ابزارهای منحصر به فرد و کارآمد به منظور تشخیص انواع پاتوژن ها از جمله *سالمونلا* هستند. در سال-های اخیر توسعه نانوحسگرهای زیستی متنوع گامی مؤثر در تشخیص *سالمونلا* در منابع متعدد بوده است.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از دانشگاه شهید چمران اهواز (SCU.AS1402.248) و بخش نانوفناوری، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (۰۸۱-۰۵-۰۵-۰۰۲-۹۹۰۱-۰۱۰۰۳) تشکر و قدردانی می‌شود.)

فهرست منابع

۱. ایزدی، ش. عابدی، س. احمدیان، س. و محمودی، م. ۱۳۸۵. بررسی آلودگی انگلی سبزی‌های خوراکی در مزارع سبزی‌کاری شهر اصفهان. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان. جلد ۱۱، ۵۸-۵۱.

۲. راهدار، م. وزیریان، ب. غلامی، م. و گرشابی، ص. ۱۳۹۱. بررسی آلودگی‌های انگلی سبزی‌های خام مصرفی در شهر اهواز. مجله علمی پزشکی، جلد۶، ۶۶۴-۶۵۷.

۳. رضایی، ح. شهبازی، ک. سعادت، س. و بازرگان، ک. ۱۴۰۱. بررسی آلودگی خاک و محصولات کشاورزی در ایران. نشریه علمی مدیریت اراضی. جلد ۱، ۹۳-۶۲.

۴. سلیمانپور، ح. ظهور، ع. ابراهیم‌زاده، ع. بیرانوند، ل. و دبیرزاده ، م. ۱۳۹۱. بررسی آلودگی انگلی سبزیجات تازه مصرفی شهر زابل در سال ۱۳۹۰ . جلد ۴، ۴۷-۳۹.

۵. شفاعتی، م. شفاعتی ، م. و خدادوست، م. ۱۳۹۱. تشخیص *سالمونلا انتریکا* سرو تیپ *تایفی موریوم* در گوجه فرنگی به روش PCR با استفاده از پرایمرهای اختصاصی ژن ***hilA***. مجله علوم پزشکی دانشگاه آزاد اسلامی. جلد ۴، ۲۷۸-۲۷۳.

۶. عزیزنیا، س. ۱۳۹۵. بررسی میزان آلودگی انگلی سبزی‌های شهرستان ایلام در نیمه اول سال ۱۳۹۵. یک گزارش کوتاه. مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان. جلد ۱۵، ۱۰۰۰-۹۹۵.

۷. هاشم، س. چرم، م. و معتمدی، ح. ۱۳۸۸. بررسی اثر استفاده از لجن فاضلاب در زمین‌های کشاورزی بر گسترش آلودگی‌های باکتری‌های *سالمونلا* و کلی‌فرم. یازدهمین کنگره علوم خاک ایران. گرگان. ۲۱ تیرماه.

۸. همایونی، م. و خلجی، ن. ۱۳۸۵. بررسی آلودگی انگلی سبزی‌های خام مصرفی شهر تهران در سال ۱۳۸۳. مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ارتش جمهوری اسلامی ایران. جلد ۴، ۱۰۵۶-۱۰۵۳.

9. Abbaspour, A., Norouz-Sarvestani, F., Noori, A. and Soltani, N. 2015. Aptamer-conjugated silver nanoparticles for electrochemical dual-aptamer-based sandwich detection of *staphylococcus aureus*. Biosensors and Bioelectronics 68: 149-155.

10. Agbaje, M., Begum, R.H., Oyekunle, M.A., Ojo, O.E. and Adenubi, O.T. 2011. Evolution of *Salmonella* nomenclature: a critical note. Folia microbiologica 56: 479- 503

11. Akil, L., Ahmad, H.A. and Reddy, R.S. 2014. Effects of climate change on *Salmonella* infections. Foodborne pathogens and disease 11(12): 974-980.
12. Alafeef, M., Moitra, P. and Pan, D. 2020. Nano-enabled sensing approaches for pathogenic bacterial detection. Biosensors and Bioelectronics, 165, 112276.
13. Al-Taai, S.H.H. 2021, June. Soil pollution-causes and effects. In IOP conference series: earth and environmental science,790, 012009.
14. Alvarenga, P. 2022. Soil Pollution Assessment and Sustainable Remediation Strategies. Environments 9(4): 46.
15. Amagliani, G., Brandi, G. and Schiavano, G.F. 2012. Incidence and role of *Salmonella* in seafood safety. Food Research International 45(2): 780-788.
16. Andino, A. and Hanning, I. 2015. *Salmonella enterica*: survival, colonization, and virulence differences among serovars. The Scientific World Journal 2015 : 1-17.
17. Arrus, K.M., Holley, R.A., Ominski, K.H., Tenuta, M. and Blank, G. 2006. Influence of temperature on *Salmonella* survival in hog manure slurry and seasonal temperature profiles in farm manure storage reservoirs. Livestock Science 102(3): 226-236.
18. Arthurson, V., Sessitsch, A. and Jäderlund, L. 2011. Persistence and spread of *Salmonella enterica* serovar Weltevreden in soil and on spinach plants. FEMS microbiology letters 314(1): 67-74.
19. Aruscavage, D., Lee, K., Miller, S. and LeJeune, J.T. 2006. Interactions affecting the proliferation and control of human pathogens on edible plants. Journal of food science 71(8): 89-99.
20. Awang, M.S., Bustami, Y., Hamzah, H.H., Zambry, N.S., Najib, M.A., Khalid, M.F., Aziah, I. and Abd Manaf, A. 2021. Advancement in *salmonella* detection methods: From conventional to electrochemical-based sensing detection. Biosensors 11(9): 346.
21. Barak, J.D., Jahn, C.E., Gibson, D.L. and Charkowski, A.O. 2007. The role of cellulose and O-antigen capsule in the colonization of plants by *Salmonella enterica*. Molecular Plant-Microbe Interactions, 20(9): 1083-1091.
22. Batz, M.B., Hoffmann, S. and Morris Jr, J.G. 2011. Ranking the risks: the 10 pathogen-food combinations with the greatest burden on public health. Emerging Pathogens Institute, University of Florida.
23. Baumgardner, D.J. 2012. Soil-related bacterial and fungal infections. The Journal of the American Board of Family Medicine 25(5): 734-744.
24. Berendonk, T.U., Manaia, C.M., Merlin, C., Fatta-Kassinos, D., Cytryn, E., Walsh, F., Bürgmann, H., Sørum, H., Norström, M., Pons, M.N. and Kreuzinger, N. 2015. Tackling antibiotic resistance: the environmental framework. Nature reviews microbiology 13(5): 310-317.
25. Berger, C.N., Shaw, R.K., Brown, D.J., Mather, H., Clare, S., Dougan, G., Pallen, M.J. and Frankel, G. 2009. Interaction of *Salmonella enterica* with basil and other salad leaves. The ISME journal 3(2): 261-265.
26. Bernstein, N., Sela, S. and Neder-Lavon, S. 2007. Assessment of contamination potential of lettuce by *Salmonella enterica* serovar *Newport* added to the plant growing medium. Journal of food protection 70(7): 1717-1722.
27. Boore, A.L., Hoekstra, R.M., Iwamoto, M., Fields, P.I., Bishop, R.D. and Swerdlow, D.L. 2015. *Salmonella enterica* infections in the United States and assessment of coefficients of variation: a novel approach to identify epidemiologic characteristics of individual serotypes 1996–2011. PloS one, 10(12), 0145416.
28. Brennan, F.P., Moynihan, E., Griffiths, B.S., Hillier, S., Owen, J., Pendlowski, H. and Avery, L.M. 2014. Clay mineral type effect on bacterial enteropathogen survival in soil. Science of the Total Environment 468: 302-305.

29. Cao, Y., Halane, M.K., Gassmann, W. and Stacey, G. 2017. The role of plant innate immunity in the legume-rhizobium symbiosis. Annual review of plant biology 68: 535-561.
30. Cao, Y., Halane, M.K., Gassmann, W. and Stacey, G. 2017. The role of plant innate immunity in the legume-rhizobium symbiosis. Annual review of plant biology 68: 535-561.
31. Chakraborty, J., Chaudhary, A.A., Khan, S.U.D., Rudayni, H.A., Rahaman, S.M. and Sarkar, H. 2022. CRISPR/Cas-based biosensor as a new age detection method for pathogenic bacteria. ACS omega 7(44): 39562-39573.
32. Chalupowicz, L., Manulis-Sasson, S., Barash, I., Elad, Y., Rav-David, D. and Brandl, M.T. 2021. Effect of plant systemic resistance elicited by biological and chemical inducers on the colonization of the lettuce and basil leaf apoplast by *Salmonella enterica*. Applied and Environmental Microbiology, 87(24), 01151-21.
33. Chandler, S., Van Hese, N., Coutte, F., Jacques, P., Höfte, M. and De Vleesschauwer, D. 2015. Role of cyclic lipopeptides produced by *Bacillus subtilis* in mounting induced immunity in rice (Oryza sativa L.). Physiological and molecular plant pathology 91: 20-30.
34. Chandrakala, A. and Reniprabha, A., 2021. Screening of bioactive compound from soil mycoflora and its therapeutic effect on fish borne pathogens of grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (*Valenciennes*). International Journal of Fisheries and Aquatic Studies 9(3): 272-277
35. Danyluk, M.D., Nozawa- Inoue, M., Hristova, K.R., Scow, K.M., Lampinen, B. and Harris, L.J. 2008. Survival and growth of *Salmonella Enteritidis* PT 30 in almond orchard soils. Journal of Applied Microbiology 104(5): 1391-1399.
36. Deng, G., Zha, H., Luo, H. and Zhou, Y. 2023. Aptamer-conjugated gold nanoparticles and their diagnostic and therapeutic roles in cancer. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 11, 1118546.
37. Dunn, L.L., Sharma, V., Chapin, T.K., Friedrich, L.M., Larson, C.C., Rodrigues, C., Jay-Russell, M., Schneider, K.R. and Danyluk, M.D. 2022. The prevalence and concentration of *Salmonella enterica* in poultry litter in the southern United States. Plos one, 17(5), 0268231.
38. Efremova, S., Parfenova, E. and Bodrov, A. 2020. Environmental hazard of soil contamination by heavy metals. In E3S Web of Conferences ,208, 01021.
39. Eng, S.K., Pusparajah, P., Ab Mutalib, N.S., Ser, H.L., Chan, K.G. and Lee, L.H. 2015. *Salmonella*: a review on pathogenesis, epidemiology and antibiotic resistance. Frontiers in Life Science 8(3): 284-293.
40. Erickson, M.C., Habteselassie, M.Y., Liao, J., Webb, C.C., Mantripragada, V., Davey, L.E. and Doyle, M.P. 2014. Examination of factors for use as potential predictors of human enteric pathogen survival in soil. Journal of Applied Microbiology 116(2): 335-349.
41. Fahed, M., Barron, G.C. and Steffens, D.C. 2020. Ethical and logistical considerations of caring for older adults on inpatient psychiatry during the COVID-19 pandemic. The American Journal of Geriatric Psychiatry 28(8): 829-834.
42. Fonseca, J.M., Ravishankar, S., Sanchez, C.A., Park, E. and Nolte, K.D. 2020. Assessing the food safety risk posed by birds entering leafy greens fields in the US southwest. International Journal of Environmental Research and Public Health ,17(23), 8711.
43. Fornefeld, E., Schierstaedt, J., Jechalke, S., Grosch, R., Schikora, A. and Smalla, K. 2017. Persistence of *Salmonella Typhimurium* LT2 in soil enhanced after growth in lettuce medium. Frontiers in Microbiology, 8, 757.
44. Franz, C., Besten, H., Bohnlen, C., Gareis, M., Zwietering, M., and Fusco, V. 2019. Reprint of microbial food safety in the 21st century: emerging

challenges and foodborne pathogenic bacteria. Trends in Food Science and Technology 84: 34–37.

45. Franz, E. and van Bruggen, A.H. 2008. Ecology of *E. coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* in the primary vegetable production chain. Critical reviews in microbiology 34(3-4): 143-161.
46. Franz, E., van Diepeningen, A.D., de Vos, O.J. and van Bruggen, A.H. 2005. Effects of cattle feeding regimen and soil management type on the fate of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium* in manure, manure-amended soil, and lettuce. Applied and environmental microbiology 71(10) :6165-6174.
47. Fu, J., Park, B., Siragusa, G., Jones, L., Tripp, R., Zhao, Y. and Cho, Y.J. 2008. An Au/Si hetero-nanorod-based biosensor for *Salmonella* detection. Nanotechnology, 19(15), pp 155502.
48. Ganz, K. and Gill, A. 2013. Inhibition of polymerase chain reaction for the detection of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* on walnut kernels. Food microbiology 35(1): 15-20.
49. Gene, S.M., Hoekstra, P.F., Hannam, C., White, M., Truman, C., Hanson, M.L. and Prosser, R.S. 2019. The role of vegetated buffers in agriculture and their regulation across Canada and the United States. Journal of Environmental Management 243: 12-21.
50. Glaize, A., Young, M., Harden, L., Gutierrez-Rodriguez, E. and Thakur, S. 2021. The effect of vegetation barriers at reducing the transmission of *Salmonella* and *Escherichia coli* from animal operations to fresh produce. International Journal of Food Microbiology 347: 109196.
51. Gomes, C., Da Silva, P., Moreira, R.G., Castell-Perez, E., Ellis, E.A. and Pendleton, M. 2009. Understanding E. coli internalization in lettuce leaves for optimization of irradiation treatment. International journal of food microbiology 135(3): 238-247.
52. Gruszynski, K., Pao, S., Kim, C., Toney, D., Wright, K., Ross, P.G., Colon, A. and Levine, S. 2014. Evaluating wildlife as a potential source of *salmonella* serotype *Newport* (JJPX 01.0061) contamination for tomatoes on the eastern shore of Virginia. Zoonoses and public health 61(3): 202-207.
53. Gu, G., Hu, J., Cevallos-Cevallos, J.M., Richardson, S.M., Bartz, J.A. and van Bruggen, A.H. 2011. Internal colonization of *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium* in tomato plants. PloS one, 6(11), pp 27340.
54. Guan, T.T., Holley, R.A., Guan, T.T. and Holley, R.A., 2003. pathogen survival in swine manure environments and transmission of human enteric illness—a review a. Hog manure management, the environment and human health, pp 51-71.
55. Guo, M. and Saif, L.J. 2003. IV, 3. Pathogenesis of enteric calicivirus infections. In Perspectives in Medical Virology 9: 489-503.
56. Gupta, D.K., Huang, H.G., Yang, X.E., Razafindrabe, B.H.N. and Inouhe, M., 2010. The detoxification of lead in Sedum alfredii H. is not related to phytochelatins but the glutathione. Journal of hazardous materials 177(1-3): 437-444.
57. Hairom, N.H.H., Soon, C.F., Mohamed, R.M.S.R., Morsin, M., Zainal, N., Nayan, N., Zulkifli, C.Z. and Harun, N.H. 2021. A review of nanotechnological applications to detect and control surface water pollution. Environmental Technology & Innovation ,24, 102032.
58. Hansen-Wester, I., Stecher, B. and Hensel, M. 2002. Type III secretion of *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium* translocated effectors and SseFG. Infection and immunity 70(3): 1403-1409.
59. Harrand, A.S., Kovac, J., Carroll, L.M., Guariglia-Oropeza, V., Kent, D.J. and Wiedmann, M. 2019. Assembly and characterization of a pathogen strain collection for produce safety applications: Pre-growth conditions have a larger

effect on peroxyacetic acid tolerance than strain diversity. Frontiers in Microbiology , 10, 1223.

60. Holley, R.A., Arrus, K.M., Ominski, K.H., Tenuta, M. and Blank, G. 2006. *Salmonella* survival in manure- treated soils during simulated seasonal temperature exposure. Journal of environmental quality 35(4): 1170-1180.
61. Hu, J., Jiang, Y.Z., Tang, M., Wu, L.L., Xie, H.Y., Zhang, Z.L. and Pang, D.W. 2018. Colorimetric-fluorescent-magnetic nanosphere-based multimodal assay platform for *Salmonella* detection. Analytical chemistry 91(1): 1178-1184.
62. Huang, T.K. and Puchta, H. 2021. Novel CRISPR/Cas applications in plants: from prime editing to chromosome engineering. Transgenic research 30: 529-549.
63. Hurley, D., McCusker, M.P., Fanning, S. and Martins, M. 2014. *Salmonella*–host interactions–modulation of the host innate immune system. Frontiers in immunology, 5, 481.
64. Hwang, J., Kwon, D., Lee, S. and Jeon, S. 2016. Detection of *Salmonella* bacteria in milk using gold-coated magnetic nanoparticle clusters and lateral flow filters. Rsc Advances 6(54): 48445-48448.
65. Islam, M., Doyle, M.P., Phatak, S.C., Millner, P. and Jiang, X. 2005. Survival of *Escherichia coli* O157: H7 in soil and on carrots and onions grown in fields treated with contaminated manure composts or irrigation water. Food microbiology 22(1): 63-70.
66. Jacobsen , S. and Tina , B. 2012. Soil survival of *Salmonella* and transfer to freshwater and fresh produce.Food Research International 45: 557–566.
67. Jechalke , S. Schierstaedt , J. Becker , M. Fl Jacobsen, C.S. and Bech, T.B. 2012. Soil survival of *Salmonella* and transfer to freshwater and fresh produce. Food Research International 45(2): 557-566.
68. Jechalke, S., Schierstaedt, J., Becker, M., Flemer, B., Grosch, R., Smalla, K. and Schikora, A. 2019. *Salmonella* establishment in agricultural soil and colonization of crop plants depend on soil type and plant species. Frontiers in microbiology, 10, 967.
69. Jia, F., Duan, N., Wu, S., Dai, R., Wang, Z. and Li, X. 2016. Impedimetric *Salmonella* aptasensor using a glassy carbon electrode modified with an electrodeposited composite consisting of reduced graphene oxide and carbon nanotubes. Microchimica Acta 183: 337-344.
70. Jiang, X., Chen, Z. and Dharmasena, M. 2015. The role of animal manure in the contamination of fresh food. In Advances in microbial food safety. Woodhead Publishing 2: 312-350.
71. Jinek, M., Chylinski, K., Fonfara, I., Hauer, M., Doudna, J.A. and Charpentier, E. 2012. A programmable dual-RNA–guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. Science 337(6096): 816-821.
72. Johnson, N., Litt, P.K., Kniel, K.E. and Bais, H. 2020. Evasion of plant innate defense response by *Salmonella* on lettuce. Frontiers in Microbiology, 11, 500
73. Khaledian, S., Nikkhah, M., Shams-bakhsh, M. and Hoseinzadeh, S. 2017. A sensitive biosensor based on gold nanoparticles to detect *Ralstonia solanacearum* in soil. Journal of General Plant Pathology 83: 231-239.
74. Kroupitski, Y., Golberg, D., Belausov, E., Pinto, R., Swartzberg, D., Granot, D. and Sela, S. 2009. Internalization of *Salmonella enterica* in leaves is induced by light and involves chemotaxis and penetration through open stomata. Applied and environmental microbiology 75(19): 6076-6086.
75. Kroupitski, Y., Gollop, R., Belausov, E., Pinto, R. and Sela, S. 2019. *Salmonella enterica* growth conditions influence lettuce leaf internalization. Frontiers in Microbiology, 10, 639.

76. Kumar, A., Malinee, M., Dhiman, A., Kumar, A. and Sharma, T.K. 2019 . Aptamer technology for the detection of foodborne pathogens and toxins. Elsevier, Netherlands.
77. Kumar, H., Kuča, K., Bhatia, S.K., Saini, K., Kaushal, A., Verma, R., Bhalla, T.C. and Kumar, D. 2020. Applications of nanotechnology in sensor-based detection of foodborne pathogens. Sensors, 20(7), 1966.
78. Ladeiro, B. 2012. Saline agriculture in the 21st century: using salt contaminated resources to cope food requirements. J Bot, 2012, 1.
79. Law, J.W.F., Ab Mutalib, N.S., Chan, K.G. and Lee, L.H. 2015. Rapid methods for the detection of foodborne bacterial pathogens: principles, applications, advantages and limitations. Frontiers in microbiology, 5, 770.
80. Lee, K.M., Runyon, M., Herrman, T.J., Phillips, R. and Hsieh, J. 2015. Review of *Salmonella* detection and identification methods: Aspects of rapid emergency response and food safety. Food control 47: 264-276.
81. Li, L., Li, Q., Liao, Z., Sun, Y., Cheng, Q., Song, Y., Song, E. and Tan, W. 2018. Magnetism-resolved separation and fluorescence quantification for near-simultaneous detection of multiple pathogens. Analytical chemistry 90(15): 9621-9628.
82. Liu, C., Hofstra, N. and Franz, E. 2013. Impacts of climate change on the microbial safety of pre-harvest leafy green vegetables as indicated by *Escherichia coli* O157 and *Salmonella spp*. International journal of food microbiology 163(2-3): 119-128.
83. Liu, H., Whitehouse, C.A. and Li, B. 2018. Presence and persistence of *Salmonella* in water: the impact on microbial quality of water and food safety. Frontiers in Public Health, 6, 159.
84. Liu, L., Zhao, G., Li, X., Xu, Z., Lei, H. and Shen, X. 2022. Development of rapid and easy detection of *Salmonella* in food matrics using RPA-CRISPR/Cas12a method. LWT, 162, 113443.
85. Ma, L., Peng, L., Yin, L., Liu, G. and Man, S. 2021. CRISPR-Cas12a-powered dual-mode biosensor for ultrasensitive and cross-validating detection of pathogenic bacteria. Acs Sensors, 6(8), 2920-2927.
86. Ma, X., Song, L., Zhou, N., Xia, Y. and Wang, Z. 2017. A novel aptasensor for the colorimetric detection of *S. typhimurium* based on gold nanoparticles. International journal of food microbiology 245:1-5.
87. Mays, C., Garza, G.L., Waite-Cusic, J., Radniecki, T.S. and Navab-Daneshmand, T. 2021. Impact of biosolids amendment and wastewater effluent irrigation on enteric antibiotic-resistant bacteria–a greenhouse study. Water Research X, 13, 100119.
88. McQuiston, J.R., Waters, R.J., Dinsmore, B.A., Mikoleit, M.L. and Fields, P.I. 2011. Molecular determination of H antigens of *Salmonella* by use of a microsphere-based liquid array. Journal of clinical microbiology 49(2): 565-573.
89. Min, H.J., Mina, H.A., Deering, A.J., Robinson, J.P. and Bae, E. 2022. Detection of *Salmonella Typhimurium* with Gold Nanoparticles Using Quartz Crystal Microbalance Biosensor. Sensors, 22(22),8928.
90. Mombo, S., Foucault, Y., Deola, F., Gaillard, I., Goix, S., Shahid, M., Schreck, E., Pierart, A. and Dumat, C. 2016. Management of human health risk in the context of kitchen gardens polluted by lead and cadmium near a lead recycling company. Journal of soils and sediments 16: 1214-1224.
91. Morgan, E., Campbell, J.D., Rowe, S.C., Bispham, J., Stevens, M.P., Bowen, A.J., Barrow, P.A., Maskell, D.J. and Wallis, T.S. 2004. Identification of host- specific colonization factors of *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium*. Molecular microbiology 54(4): 994-1010.

92. Morris, C.E. and Monier, J.M. 2003. The ecological significance of biofilm formation by plant-associated bacteria. Annual review of phytopathology 41(1): 429-453.
93. Mulatua Hailu, M. 2018. Remediation of soil contaminated by *Salmonella enterica* to expedite plant or replant of vegetables (Doctoral dissertation).
94. Murphy, C.M., Weller, D.L., Reiter, M.S., Bardsley, C.A., Eifert, J., Ponder, M., Rideout, S.L. and Strawn, L.K. 2022. Anaerobic soil disinfestation, amendment- type, and irrigation regimen influence *Salmonella* survival and die- off in agricultural soils. Journal of applied microbiology 132(3): 2342-2354.
95. Oh, S.Y., Heo, N.S., Shukla, S., Cho, H.J., Vilian, A.E., Kim, J., Lee, S.Y., Han, Y.K., Yoo, S.M. and Huh, Y.S. 2017. Development of gold nanoparticle-aptamer-based LSPR sensing chips for the rapid detection of *Salmonella typhimurium* in pork meat. Scientific reports, 7(1), 10130.
96. Ölmez, H. and Temur, S.D. 2010. Effects of different sanitizing treatments on biofilms and attachment of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* on green leaf lettuce. LWT-Food Science and Technology 43(6): 964-970.
97. Omara, A.E.D., Elsakhawy, T., Alshaal, T., El-Ramady, H., Kovács, Z. and Fári, M. 2019. Nanoparticles: a novel approach for sustainable agro-productivity. Environment, Biodiversity and Soil Security 3(2019): 29-62.
98. Ongeng, D., Geeraerd, A.H., Springael, D., Ryckeboer, J., Muyanja, C. and Mauriello, G. 2015. Fate of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* in the manure-amended soil-plant ecosystem of fresh vegetable crops: a review. Critical reviews in microbiology 41(3): 273-294.
99. Paniel, N. and Noguer, T. 2019. Detection of *Salmonella* in food matrices, from conventional methods to recent aptamer-sensing technologies. Foods, 8(9), 371.
100. Park, S.H., Aydin, M., Khatiwara, A., Dolan, M.C., Gilmore, D.F., Bouldin, J.L., Ahn, S. and Ricke, S.C. 2014. Current and emerging technologies for rapid detection and characterization of *Salmonella* in poultry and poultry products. Food microbiology 38: 250-262.
101. Parker, D.B., Malone, G.W. and Walter, W.D. 2011. Vegetative environmental buffers and exhaust fan deflectors for reducing downwind odor and VOCs from tunnel-ventilated swine barns. Transactions of the ASABE 55(1): 227-240.
102. Phan- Thien, K., Metaferia, M.H., Bell, T.L., Bradbury, M.I., Sassi, H.P., de Ogtrop, F.F., Suslow, T.V. and McConchie, R. 2020. Effect of soil type and temperature on survival of *Salmonella enterica* in poultry manure- amended soils. Letters in Applied Microbiology 71(2): 210-217.
103. Pornsukarom, S. and Thakur, S. 2016. Assessing the impact of manure application in commercial swine farms on the transmission of antimicrobial resistant *Salmonella* in the environment. PloS one, 11(10),0164621.
104. Pratap, C.B., Kumar, G., Patel, S.K., Verma, A.K., Shukla, V.K., Kumar, K. and Nath, G. 2013. Targeting of putative fimbrial gene for detection of *S. Typhi* in typhoid fever and chronic typhoid carriers by nested PCR. The Journal of Infection in Developing Countries 7(07): 520-527.
105. Quintela, I.A., de Los Reyes, B.G., Lin, C.S. and Wu, V.C. 2019. Simultaneous colorimetric detection of a variety of *Salmonella spp.* in food and environmental samples by optical biosensing using oligonucleotide-gold nanoparticles. Frontiers in microbiology, 10, 1138.
106. Reeves, M.W., Evins, G.M., Heiba, A.A., Plikaytis, B.D. and Farmer 3rd, J.J. 1989. Clonal nature of *Salmonella typhi* and its genetic relatedness to other *salmonellae* as shown by multilocus enzyme electrophoresis, and proposal of Salmonella bongori comb. nov. Journal of clinical microbiology 27(2): 313-320.

107. Rivera, D., Toledo, V., Reyes-Jara, A., Navarrete, P., Tamplin, M., Kimura, B., Wiedmann, M., Silva, P. and Switt, A.I.M. 2018. Approaches to empower the implementation of new tools to detect and prevent foodborne pathogens in food processing. Food microbiology 75: 126-132.
108. Rocha, A.D.D.L., Ferrari, R.G., Pereira, W.E., Lima, L.A.D., Givisiez, P.E.N., Moreno-Switt, A.I., Toro, M., Delgado-Suárez, E.J., Meng, J. and Oliveira, C.J.B.D. 2022. Revisiting the biological behavior of *Salmonella enterica* in hydric resources: A meta-analysis study addressing the critical role of environmental water on food safety and public health. Frontiers in Microbiology, 13, 802625.
109. Sande, M.G., Rodrigues, J.L., Ferreira, D., Silva, C.J. and Rodrigues, L.R. 2021. Novel biorecognition elements against pathogens in the design of state-of-the-art diagnostics. Biosensors, 11(11), 418.
110. Schierstaedt, J., Jechalke, S., Nesme, J., Neuhaus, K., Sørensen, S.J., Grosch, R., Smalla, K. and Schikora, A. 2020. *Salmonella* persistence in soil depends on reciprocal interactions with indigenous microorganisms. Environmental Microbiology 22(7) : 2639-2652.
111. Schlatter, D., Kinkel, L., Thomashow, L., Weller, D. and Paulitz, T. 2017. Disease suppressive soils: new insights from the soil microbiome. Phytopathology 107(11): 1284-1297.
112. Semenov, A.M., Kuprianov, A.A. and Van Bruggen, A.H. 2010. Transfer of enteric pathogens to successive habitats as part of microbial cycles. Microbial ecology 60: 239-249.
113. Shabbir, M.A.B., Shabbir, M.Z., Wu, Q., Mahmood, S., Sajid, A., Maan, M.K., Ahmed, S., Naveed, U., Hao, H. and Yuan, Z. 2019. CRISPR-cas system: biological function in microbes and its use to treat antimicrobial resistant pathogens. Annals of clinical microbiology and antimicrobials 18:1-9.
114. Shah, J., Desai, P.T., Chen, D., Stevens, J.R. and Weimer, B.C. 2013. Preadaptation to cold stress in *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium* increases survival during subsequent acid stress exposure. Applied and environmental microbiology 79(23): 7281-7289.
115. Shahrokhian, S. and Ranjbar, S. 2018. Aptamer immobilization on amino-functionalized metal–organic frameworks: An ultrasensitive platform for the electrochemical diagnostic of *Escherichia coli* O157: H7. Analyst 143(13): 3191-3201.
116. Shahsavar, K., Hosseini, M., Shokri, E., Ganjali, M.R. and Ju, H. 2017. A sensitive colorimetric aptasensor with a triple-helix molecular switch based on peroxidase-like activity of a DNAzyme for ATP detection. Analytical Methods 9(32): 4726-4731.
117. Shams, S., Bakhshi, B., Tohidi Moghadam, T. and Behmanesh, M. 2019. A sensitive gold-nanorods-based nanobiosensor for specific detection of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli*. Journal of Nanobiotechnology 17(1): 1-13.
118. Shaw, R.K., Lasa, I., García, B.M., Pallen, M.J., Hinton, J.C., Berger, C.N. and Frankel, G. 2011. Cellulose mediates attachment of *Salmonella enterica* Serovar *Typhimurium* to tomatoes. Environmental Microbiology Reports 3(5): 569-573.
119. Shen, Y., Xu, L. and Li, Y. 2021. Biosensors for rapid detection of *Salmonella* in food: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 20(1): 149-197.
120. Shi, X., Wu, Z., Namvar, A., Kostrzynska, M., Dunfield, K. and Warriner, K. 2009. Microbial population profiles of the microflora associated with pre- and postharvest tomatoes contaminated with *Salmonella typhimurium* or *Salmonella montevideo*. Journal of applied microbiology 107(1): 329-338.

121. Shokri, E., Hosseini, M., Boldaji, M.N., Shahsavar, K., Nasiri, N., Bahmani, A., Ganjali, M.R. and Saboury, A.A. 2022. A novel DNA/hemin complex with enzyme-like activity selected from a hairpin DNAs library at zero H_2O_2 concentration. Molecular Catalysis, 519, 112156.
122. Shokri, E., Hosseini, M., Sadeghan, A.A., Bahmani, A., Nasiri, N. and Hosseinkhani, S. 2020. Virus-directed synthesis of emitting copper nanoclusters as an approach to simple tracer preparation for the detection of Citrus Tristeza Virus through the fluorescence anisotropy immunoassay. Sensors and Actuators B: Chemical, 321, 128634.
123. Shokri, E., Hosseini, M., Davari, M.D., Ganjali, M.R., Peppelenbosch, M.P. and Rezaee, F. 2017. Disulfide-induced self-assembled targets: a novel strategy for the label free colorimetric detection of DNAs/RNAs via unmodified gold nanoparticles. Scientific reports, 7(1), 45837.
124. Shokri, E., Hosseini, M., Faridbod, F. and Rahaie, M. 2016. Rapid pre-symptomatic recognition of tristeza viral RNA by a novel fluorescent self-dimerized DNA–silver nanocluster probe. RSC advances 6(101): 99437-99443.
125. Strawn, L.K., Gröhn, Y.T., Warchocki, S., Worobo, R.W., Bihn, E.A. and Wiedmann, M. 2013. Risk factors associated with *Salmonella* and *Listeria monocytogenes* contamination of produce fields. Applied and environmental microbiology 79(24): 7618-7627.
126. Su, H., Ma, Q., Shang, K., Liu, T., Yin, H. and Ai, S. 2012. Gold nanoparticles as colorimetric sensor: A case study on *E. coli* O157: H7 as a model for Gram-negative bacteria. Sensors and Actuators B: Chemical, 161(1): 298-303.
127. Tack, D.M., Marder, E.P., Griffin, P.M., Cieslak, P.R., Dunn, J., Hurd, S., Scallan, E., Lathrop, S., Muse, A., Ryan, P. and Smith, K. 2019. Preliminary incidence and trends of infections with pathogens transmitted commonly through food—Foodborne Diseases Active Surveillance Network, 10 US sites, 2015–2018. American Journal of Transplantation 19(6): 1859-1863.
128. Tan, L., Chen, Z., Zhang, C., Wei, X., Lou, T. and Zhao, Y. 2017. Colorimetric detection of Hg^{2+} based on the growth of aptamer- coated AuNPs: the effect of prolonging aptamer strands. Small, 13(14), 1603370.
129. Teklemariam, A.D., Al-Hindi, R.R., Albiheyri, R.S., Alharbi, M.G., Alghamdi, M.A., Filimban, A.A., Al Mutiri, A.S., Al-Alyani, A.M., Alseghayer, M.S., Almaneea, A.M. and Albar, A.H. 2023. Human Salmonellosis: A Continuous Global Threat in the Farm-to-Fork Food Safety Continuum. Foods, 12(9),1756.
130. Van Elsas, J.D., Chiurazzi, M., Mallon, C.A., Elhottovā, D., Krištůfek, V. and Salles, J.F. 2012. Microbial diversity determines the invasion of soil by a bacterial pathogen. Proceedings of the National Academy of Sciences 109(4): 1159-1164.
131. Villanueva, J.A., Crooks, A.L., Nagy, T.A., Quintana, J.L., Dalebroux, Z.D. and Detweiler, C.S. 2022. *Salmonella enterica* Infections Are Disrupted by Two Small Molecules That Accumulate within Phagosomes and Differentially Damage Bacterial Inner Membranes. Mbio, 13(5),01790-22.
132. Wang, M., Zhang, Y., Tian, F., Liu, X., Du, S. and Ren, G., 2021. Overview of rapid detection methods for *Salmonella* in foods: Progress and challenges. Foods, 10(10), p.2402.
133. Wattiau, P., Boland, C. and Bertrand, S. 2011. Methodologies for *Salmonella enterica* subsp. *enterica* subtyping: gold standards and alternatives. Applied and environmental microbiology 77(22): 7877-7885.
134. Woldetsadik, D., Drechsel, P., Keraita, B., Itanna, F. and Gebrekidan, H. 2017. Heavy metal accumulation and health risk assessment in wastewater-irrigated urban vegetable farming sites of Addis Ababa, Ethiopia. International Journal of Food Contamination 4: 1-13.

135. Wu, W.H., Li, M., Wang, Y., Ouyang, H.X., Wang, L., Li, C.X., Cao, Y.C., Meng, Q.H. and Lu, J.X. 2012. Aptasensors for rapid detection of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella typhimurium*. Nanoscale research letters 7: 1-7.
136. Wu, Y., Wu, M., Liu, C., Tian, Y., Fang, S., Yang, H., Li, B. and Liu, Q., 2021. Colloidal gold immunochromatographic test strips for broad-spectrum detection of *Salmonella*. Food Control, 126, p.108052.
137. Xu, Y., Wang, H., Luan, C., Liu, Y., Chen, B. and Zhao, Y. 2018. Aptamer-based hydrogel barcodes for the capture and detection of multiple types of pathogenic bacteria. Biosensors and Bioelectronics 100: 404-410.
138. Yaron, S. and Römling, U. 2014. Biofilm formation by enteric pathogens and its role in plant colonization and persistence. Microbial biotechnology 7(6): 496-516.
139. Yüce, M., Kurt, H., Hussain, B., Ow- Yang, C.W. and Budak, H. 2018. Exploiting Stokes and anti- Stokes type emission profiles of aptamer-functionalized luminescent nanoprobes for multiplex sensing applications. ChemistrySelect 3(21): 5814-5823.
140. Zarkani, A.A. and Schikora, A., 2021. Mechanisms adopted by *Salmonella* to colonize plant hosts. Food Microbiology, 99, p.103833.
141. Zarkani, A.A., López-Pagán, N., Grimm, M., Sánchez-Romero, M.A., Ruiz-Albert, J., Beuzón, C.R. and Schikora, A., 2020. *Salmonella* heterogeneously expresses flagellin during colonization of plants. Microorganisms, 8(6), p. 815.
142. Zarkani, A.A., Schierstaedt, J., Becker, M., Krumwiede, J., Grimm, M., Grosch, R., Jechalke, S. and Schikora, A. 2019. *Salmonella* adapts to plants and their environment during colonization of tomatoes. FEMS Microbiology Ecology, 95(11), 152.
143. Zhang, D., Liu, Y., Ding, J., Hayat, K., Zhan, X., Zhou, P. and Zhang, D. 2021. Label-free colorimetric assay for arsenic (III) determination based on a truncated short ssDNA and gold nanoparticles. Microchimica Acta 188: 1-9.
144. Zhang, Y., Nandakumar, R., Bartelt- Hunt, S.L., Snow, D.D., Hodges, L. and Li, X. 2014. Quantitative proteomic analysis of the *Salmonella- lettuce* interaction. Microbial biotechnology 7(6): 630-637.

The threat of Salmonella in soil and the necessity of its continuous tracking with novel diagnostic approaches

M. Abedinzadeh, N.Enayatizamir, E. Shokri* and Sh.Kian Amiri

PhD student, Department of Soil science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran; motahhare.abedin@ut.ac.ir
Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran; n.enayatzamir@scu.ac.ir
Assistant Professor, Department of Nanotechnology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; e.shokri62@gmail.com, e.shokri@abrii.ac.ir
Assistant Professor, Department of Nanotechnology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; Nano-biotechnology Department, Faculty of Biological Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran; kianamiry@yahoo.com

Received: August 20, 2023 and Accepted: February 28, 2024

Abstract

Salmonella is a common and persistent pathogen in soil environments, posing a significant threat to safe food production worldwide. Given the vital role of soil in agriculture, it is crucial to be cautious about the spread of Salmonella in soil and to employ effective methods for its detection and control. The increasing prevalence of Salmonella can be attributed to the rapid expansion of agriculture and industry, leading to the contamination of fertilizers and water sources with the bacterium. The survival of Salmonella in soil is influenced by various physical, chemical, and biological factors, leading to the continuous colonization of plant organs. Consequently, given the importance of healthy agricultural products, there is an increasing demand for new methods to investigate and identify bacteria in these foods. Several techniques exist for the identification of harmful bacteria in soil. However, using nanosensors as an advanced tool for bacterial detection is very promising, as it can effectively overcome the limitations of other methods. This review study examines the mechanisms of *Salmonella* contamination in soil and its interaction with plants, highlighting the importance of using biosensors for faster and more accurate detection of this bacterium in soil.

Keywords: *Salmonella* bacteria, agricultural healthy products, soil microbiome, nano-biosensors

* Corresponding author's email: e.shokri62@gmail.com