



دانشگاه تهران
دانشکده محیط‌زیست
رشته مهندسی محیط‌زیست



تأثیر امواج رادیویی باند AM بر روی شیرابه خاکچال

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی محیط‌زیست گرایش مواد زائد جامد

جواد یاحقی

استاد راهنما:
دکتر علیرضا بازارگان

شهریور ماه ۱۳۹۹

چکیده

مدیریت و تصفیه شیرابه، همواره به عنوان یکی از چالش‌های مهم در مراکز دفن پسماند شهری مطرح بوده است. تاکنون روش‌های متنوعی از جمله روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی برای تصفیه شیرابه توسعه داده شده است. هر کدام از روش‌های موجود دارای نقاط قوت و ضعف هستند، اما هیچ یک به تنهایی نمی‌توانند مشکل تصفیه شیرابه را حل کنند. در این تحقیق تاثیر امواج رادیویی بر روی شیرابه به عنوان یک روش غیرمعارف مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده از امواج رادیویی از جمله روش‌های فیزیکی تصفیه سیالات است که تاکنون جهت تصفیه آب و پساب مورد استفاده گرفته و نتایج امیدبخشی نیز به همراه داشته است؛ با این حال، بر اساس آخرین جستجوی نگارنده در منابع علمی، تاثیر آن بر شیرابه خاکچال هنوز مورد بررسی قرار نگرفته است. در این پژوهش برای القای امواج رادیویی بر شیرابه از دستگاه هیدروفلو (HydroFlow)، ساخت شرکت هیدروپت (HydroPath) انگلستان، استفاده شده است. این دستگاه قادر است امواج رادیویی در بازه فرکانسی ۱۶۰ تا ۲۰۰ کیلوهرتز و ولتاژ تقریبی ۱۵ ولت را به سیالات درون لوله اعمال کند. در این تحقیق، آزمایشات ابتدا بر روی شیرابه‌ای ساختگی انجام شد و سپس تاثیر امواج رادیویی در ۳ زمان ماند (۱۵، ۴۵ و ۷۵ دقیقه) و pH ۳ (۶.۲، ۷.۲ و ۹.۲) مختلف، بر روی پارامترهایی چون رنگ‌زدایی از شیرابه، تشکیل و ته‌نشینی لخته درون شیرابه، و تعداد باکتری‌های شیرابه مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی نتایج آزمایشات مشخص شد که امواج رادیویی تاثیر مشهودی بر رنگ‌زدایی، و تشکیل و ته‌نشینی لخته درون شیرابه نداشتند؛ ولیکن، مشخص شد که امواج رادیویی بر تعداد باکتری‌های موجود در شیرابه تاثیر قابل توجهی می‌گذارند. طبق نتایج، در pHهای ۶.۲، ۷.۷ و ۹.۲ تعداد باکتری‌های نمونه‌هایی که تحت تاثیر امواج رادیویی قرار گرفتند، به ترتیب به مقدار ۵۵٪، ۳۰٪ و ۷۵٪ نسبت به نمونه‌هایی که تحت تاثیر امواج رادیویی قرار نگرفتند، کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: شیرابه خاکچال، امواج رادیویی، رنگ‌زدایی، تشکیل لخته، تعداد باکتری، ضدعفونی کردن

در ادامه با بررسی نتایج تاثیر امواج رادیویی بر روی تعداد باکتری‌ها، مشخص شد که امواج رادیویی می‌توانند تعداد باکتری‌های موجود در شیرابه را بطور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش دهند. در جدول ۸-۴، نتایج بدست آمده از کشت باکتری‌های هر نمونه نشان داده شده است.

جدول ۸-۴- نتایج تست‌های شمارش کلونی جهت تعیین تعداد باکتری در نمونه شیرابه حاصل از آزمایش‌های مختلف، اعداد بر حسب تعداد کلونی در یک میلی‌لیتر (cfu/ml)

تعداد باکتری در میلی‌لیتر (cfu/ml)		زمان (دقیقه)	pH
حالت تصفیه	(حالت پایه)		
7×10^4	9.2×10^4	۱۵	۷.۷
6.4×10^4	9.2×10^4	۴۵	
6×10^4	9.2×10^4	۷۵	
2×10^4	6.4×10^4	۱۵	۹.۲
1.5×10^4	6×10^4	۴۵	
1.4×10^4	5.6×10^4	۷۵	
1.44×10^4	2.8×10^4	۱۵	۶.۲
1.16×10^4	2.6×10^4	۴۵	
1.02×10^4	2.4×10^4	۷۵	

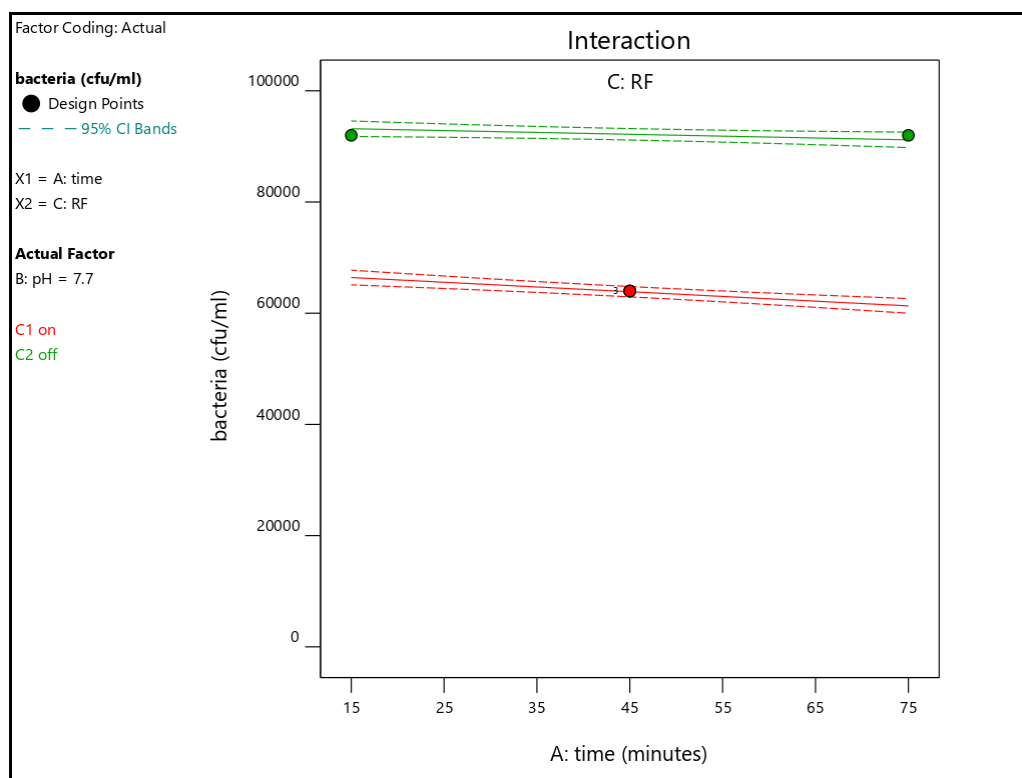
جدول ۹-۴- درصد کاهش تعداد باکتری نسبت به شیرابه نمونه برداری شده

درصد کاهش تعداد باکتری در یک میلی‌لیتر شیرابه		زمان (دقیقه)	pH
حالت تصفیه	(حالت پایه)		
۲۴٪	۰	۱۵	۷.۷
۳۰٪	۰	۴۵	
۳۵٪	۰	۷۵	
۷۸٪	۳۰٪	۱۵	۹.۲
۸۳.۶٪	۳۵٪	۴۵	
۸۵٪	۳۹٪	۷۵	
۸۴٪	۶۹.۵٪	۱۵	۶.۲
۸۷٪	۷۲٪	۴۵	
۸۹٪	۷۴٪	۷۵	

همانطور که در جدول ۴-۸ بیان شده است، تعداد کلونی‌های باکتریایی موجود در یک میلی‌لیتر از شیرابه خام و دست‌نخورده در حدود 9.2×10^4 عدد می‌باشد. این مقدار پس از قرار گرفتن در معرض امواج رادیویی در زمان ماندهای ۱۵، ۴۵ و ۷۵ دقیقه، به ترتیب به مقادیر 7×10^4 ، 6.4×10^4 و 6×10^4 کاهش پیدا کرده است. به عبارت دیگر، غلظت کلونی‌های باکتری در شیرابه خام پس از قرار گرفتن در معرض امواج رادیویی، در ۱۵ دقیقه اول ۲۴٪، در ۴۵ دقیقه ۳۰٪ و در ۷۵ دقیقه ۳۵٪ نسبت به حالت اولیه کاهش پیدا کرده است.

با بررسی این نتایج می‌توان گفت که تاثیر امواج رادیویی بر روی باکتری‌ها عمدتاً بصورت دفعی بوده است؛ به این معنی که در ۱۵ دقیقه ابتدایی آزمایش، جمعیت زیادی از باکتری‌ها تحت تاثیر امواج قرار گرفته و از بین رفته‌اند. اگر چه این روند کاهشی متوقف نشده و با آهنگ ملایم‌تری همچنان ادامه پیدا کرده است، ولی چه بسا تاثیر عمده امواج در همان ثانیه‌ها یا دقیق اولیه رخ داده باشد. در توجیه چرایی این اتفاق می‌توان به این موضوع اشاره کرد که با قرار گرفتن شیرابه در معرض امواج رادیویی، ناحیه‌هایی در جریان پایین دست هسته مرکزی دستگاه هیدروفلو تشکیل ایجاد می‌شود که در آن ذرات و باکتری‌ها متناوباً با بارهای مثبت و منفی باردار می‌شوند [۱۳]. این امر باعث می‌شود تا میکروارگانسیم‌ها به ویژه باکتری‌ها، قارچ‌ها و کلیه تک‌سلولی‌های دارای سیتوپلاسم، در لحظه عبور از زیر دستگاه هیدروفلو، تحت بار القایی الکتریکی قدرتمندی قرار گرفته و یک لایه خالص از سیال باکتری‌ها را آبیوشی کند. این اتفاق باعث ایجاد فشار اسمزی بر سیتوپلاسم میکروارگانسیم‌ها شده و تغییر مداوم این فشار در اثر تغییر مداوم بار القایی، در نهایت باعث متلاشی شدن سیتوپلاسم و مرگ میکروارگانسیم خواهد شد [۱۳]. در شکل ۴-۷، نمودار تغییرات غلظت باکتری‌های موجود در شیرابه خام با pH طبیعی بر اثر القای امواج رادیویی به تصویر کشیده شده است.

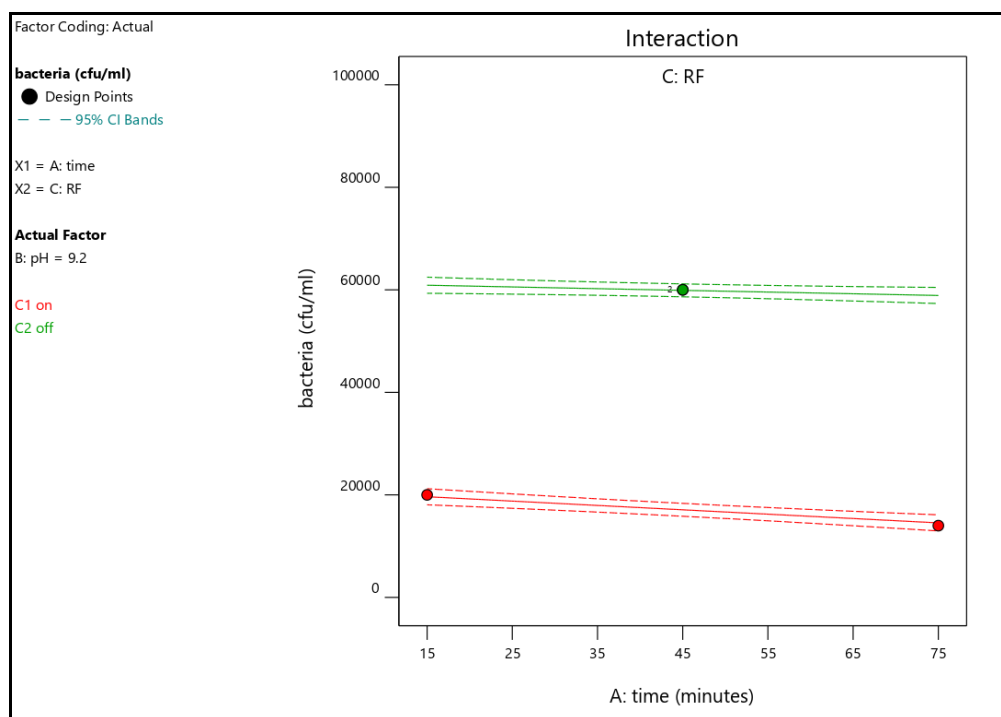
در پژوهشی که توسط کیم و همکاران (۲۰۱۱) انجام شد نیز این اثر تایید شده است (شکل ۲-۱۹)؛ به این صورت که با اعمال مستقیم میدان الکتریکی به آب خنک‌کننده یک سیستم حرارتی، لایه‌های زیستی موجود در آن از بین رفته و غلظت باکتری‌های موجود در آب به طرز قابل توجهی کاهش یافت [۶].



شکل ۴-۷- نمودار تغییرات تعداد باکتری در آزمایش بر روی شیرابه خام (pH = ۷.۷)

در آزمایش سری دوم که در آن از ۳۰ میلی لیتر سودمایع با درصد خلوص ۲۵٪ برای افزایش pH شیرابه از ۷.۷ به ۹.۲ استفاده شد (شکل ۴-۸)، نتایج متفاوتی نسبت به آزمایش سری اول مشاهده شد. در این آزمایش با افزایش pH از ۷.۷ به ۹.۲ در حالت پایه، تعداد کلونی‌های باکتری از ۹.۲×۱۰^۴ در میلی لیتر، پس از زمان مانده‌های ۱۵، ۴۵ و ۷۵ دقیقه به ترتیب به ۶.۴×۱۰^۴ ، ۶×۱۰^۴ و ۵.۶×۱۰^۴ در میلی لیتر کاهش پیدا کرد. در حقیقت گروهی از باکتری‌ها نسبت افزایش pH حساسیت نشان داده و از بین رفته‌اند، اما این اثر نیز متوقف نشده و کاهش تعداد باکتری‌ها بر اثر افزایش pH در طول زمان آزمایش، همچنان با شیب بسیار ملایمی ادامه پیدا کرده است.

دلیل این اتفاق را می‌توان به تغییر شرایط ایده‌آل و بهینه برای باکتری‌های موجود در شیرابه نسبت داد. اکسیژن‌خواهی، دما، رطوبت و pH عوامل اصلی و تاثیرگذار بر متابولیسم میکروبی است [۲۶]. همانند حساسیت به دما، میکروارگانیسم‌های مختلف، دارای محدوده pH ایده‌آل نیز هستند. بسیاری از محیط‌های رشد دارای pH در محدوده ۵ تا ۹ بوده و بسیاری از میکروارگانیسم نیز قادر به تحمل pH در این محدوده هستند. در خاکچال‌ها، محیط اسیدی از رشد باکتری‌های متان‌ساز جلوگیری می‌کند [۲۶].



شکل ۴-۸- نمودار تغییرات تعداد باکتری در آزمایش بر روی شیرابه با pH بازی (pH = ۹.۲)

مندونکا و همکاران (۱۹۹۴) [۲۷] در پژوهش خود، تاثیر pHهای بالا بر نابودی غشای سیتوپلاسمی میکرووب‌های گرم-منفی^۱ غذایی را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش تاثیر pHهای ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ بر روی باکتری‌هایی از جمله اشرشیاکلی^۲ و سالمونلا^۳ مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت مشخص شد که با حل شدن غشای پروتئینی و لیپیدی این باکتری‌های در pHهای بالا، غشای سیتوپلاسمی آنها تضعیف شده و این امر موجب از بین رفتن باکتری‌ها می‌شود. البته لازم به ذکر است که این موضوع در مورد تمامی باکتری‌ها صدق نکرده و برخی باکتری‌ها در برابر pHهای بسیار بالا نیز از خود مقاومت نشان می‌دهند [۲۷]. در پژوهشی که شوتز و کیلدسن^۴ (۲۰۰۴) انجام دادند نیز، pH بهینه برای باکتری‌های موجود در خاکچال بین ۶.۵ و ۷.۵ معرفی شد. آنها همچنین نشان دادند که باکتری‌های متان‌ساز موجود در خاک پوششی خاکچال، خود را با pH محیط که ۶.۹ بود، سازگار کردند [۲۸]. همچنین در تحقیقات دیگری که پیرامون شرایط مناسب و بهینه برای رشد

^۱ Gram-negative

^۲ Escherichia coli

^۳ Salmonella enteritidis

^۴ Schuetz & Kjeldsen

باکتری‌های موجود در خاکچال‌ها انجام شده بود، pH مناسب از عوامل اصلی بیان شده بود. در جدول شماره ۴-۱۰، خلاصه‌ای از نتایج این تحقیقات نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۰- pH بهینه برای باکتری‌های موجود در خاکچال با توجه به مرحله متابولیسی آن [۲۶]

منبع	pH بهینه	مرحله متابولیسی خاکچال	ردیف
Cardinalirezende et al., 2009	۶.۵ - ۷.۵	به مرحله خاصی اشاره نشده است	۱
Chen et al., 2003	۸.۳ - ۸.۵	متان سازی	۲
Huang et al., 2002	۶.۸ - ۸.۶	متان سازی	۳
Huang et al., 2003	۸ - ۸.۴	متان سازی	۴
Lalouicarpentier et al., 2006	۷.۵ - ۸.۰	متان سازی	۵
Perez-leblic et al., 2012	۷.۶ - ۷.۸	به مرحله خاصی اشاره نشده است	۶
Pourcher et al., 2001	۷.۵ - ۸.۲	هیدرولیز	۷

نکته دیگری که در این آزمایش جالب توجه است، این است که با اعمال امواج رادیویی همزمان با افزایش pH از ۷.۷ به ۹.۲، تعداد باکتری‌ها در زمان ماندهای ۱۵، ۴۵ و ۷۵ دقیقه به ترتیب به ۲×10^4 ، ۱.۵×10^4 و ۱.۴×10^4 cfu/ml کاهش پیدا کرده است. این مقادیر نسبت به مقادیر متناظر با شیرابه خام و حالت پایه آزمایش سری دوم، به ترتیب کاهشی در حدود ۸۰٪ و ۷۰٪ از خود نشان دادند. در حقیقت، همزمانی تأثیر امواج رادیویی بر روی غشای سیتوپلاسمی باکتری‌ها و تأثیر تغییر pH بر شرایط بهینه و مناسب برای رشد باکتری‌ها، موجب بوجود آمدن اثری مرکب بر روی غلظت باکتری‌ها در شیرابه و کاهش بیشتر آنها شده است.

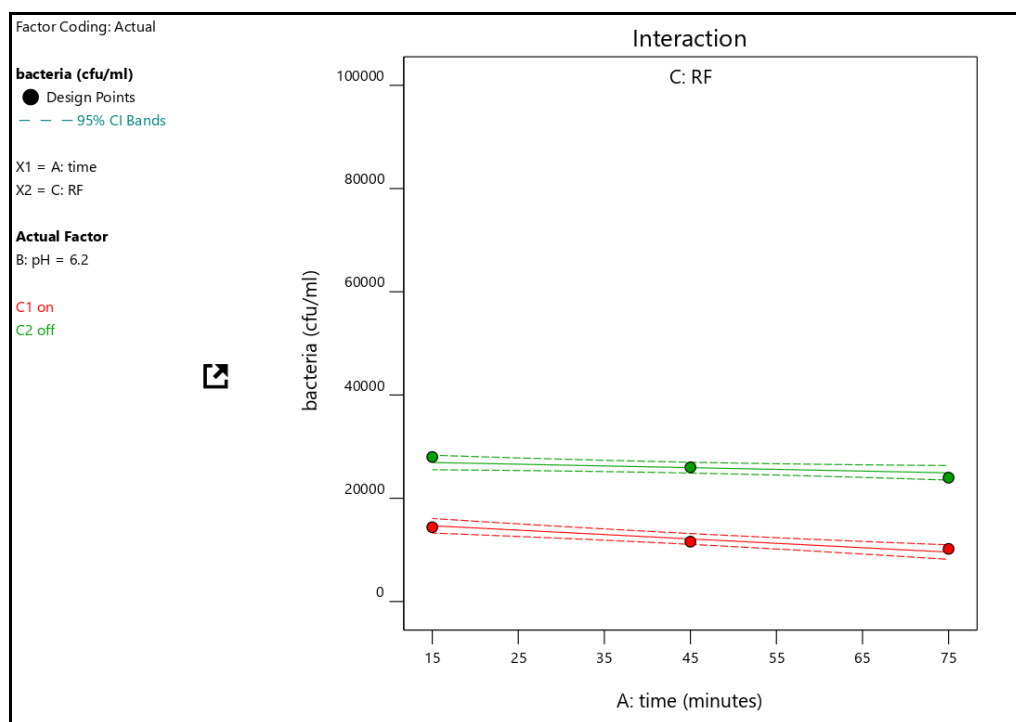
جدول ۴-۱۱- درصد کاهش تعداد باکتری‌ها ناشی از هر یک از پارامترهای آزمایش (pH = ۹.۲)

درصد کاهش تعداد باکتری در یک میلی‌لیتر شیرابه			زمان (دقیقه)
pH و امواج رادیویی	فقط pH	فقط امواج رادیویی	
۷۸٪	۳۰٪	۲۴٪	۱۵
۸۳.۶٪	۳۵٪	۳۰٪	۴۵
۸۵٪	۳۹٪	۳۵٪	۷۵

با توجه به تعداد پایین مطالعات مربوط به موضوع مورد بحث، توجیه علمی سازوکار این هم‌افزایی در کاهش تعداد باکتری‌ها نیازمند مطالعات وسیع و فهم عمیق از مشخصه‌های باکتری‌ها، امواج رادیویی و چگونگی تاثیر امواج بر روی باکتری‌هاست. با این حال، کاوبت و همکاران (۲۰۰۴) [۹] نیز در پژوهش خود نتایج مشابهی بدست آوردند. در این پژوهش مشخص شد که تزریق آنتی‌بیوتیک به مایع حاوی لایه‌های زیستی باکتریایی، در حین القای میدان الکتریکی حاصل از امواج رادیویی، بازدهی آنتی‌بیوتیک‌ها را در از بین بردن باکتری‌ها بطور چشمگیری افزایش می‌دهد. دلیل احتمالی این هم‌افزایی نیز به این صورت بیان شد که امواج رادیویی با تاثیرگذاری بر بخش قطبی باکتری‌ها و با تضعیف ساختار آنها، میزان تبادل این باکتری‌ها با مایع اطراف خود را افزایش داده و در نتیجه آنتی-بیوتیک‌ها با سهولت بیشتری به ساختار باکتری‌ها نفوذ می‌کنند [۹].

در آزمایش سری سوم اما نتایجی مشابه با نتایج آزمایش سری دوم بدست آمد. همانطور که در جدول ۴-۸ نیز بیان شده است، در این آزمایش پس از کاهش میزان pH از ۷.۷ به ۶.۲، تعداد کلونی‌های باکتری در حالت پایه پس از زمان ماندهای ۱۵، ۴۵ و ۷۵ دقیقه به ترتیب به ۲.۸×10^4 ، ۲.۶×10^4 و ۲.۴×10^4 در یک میلی‌لیتر تقلیل پیدا کردند. کاهش تعداد کلونی‌ها در آزمایش سری سوم با pH اسیدی، نسبت به مقادیر مشابه در آزمایش سری دوم با pH بازی، در حدود ۴۰٪ بیشتر بود. دلیل احتمالی این اتفاق را می‌توان به این صورت بیان کرد که با توجه به این که خاکچال موردنظر در مرحله متان‌سازی قرار دارد و با توجه به این که باکتری‌های متان‌ساز توانایی رشد در محیط اسیدی را دارا نمی‌باشند [۲۶]؛ بنابراین جمعیت زیادی از باکتری‌های موجود در شیرابه به اسیدی شدن محیط و کاهش pH واکنش نشان داده و از بین رفته‌اند. در شکل ۴-۹ نتایج آزمایش سری سوم نشان داده شده است.

همانند آزمایش سری دوم، در این آزمایش نیز جمعیت کلونی‌های باکتری در حالت تصفیه (القای امواج رادیویی) نسبت به حالت پایه آزمایش (عدم القای امواج رادیویی) کاهش یافت و در زمان ماندهای ۱۵، ۴۵ و ۷۵ دقیقه به ترتیب به مقادیر ۱.۴×10^4 ، ۱.۱۶×10^4 و ۱.۰۲×10^4 تقلیل پیدا کرد. این مقادیر نسبت به مقادیر متناظر با شیرابه خام و حالت پایه آزمایش سری سوم، به ترتیب کاهشی در حدود ۸۶٪ و ۵۲٪ از خود نشان دادند. در این آزمایش نیز تاثیر مرکب امواج رادیویی و تغییر pH محیط بر باکتری‌های شیرابه مشاهده شد.

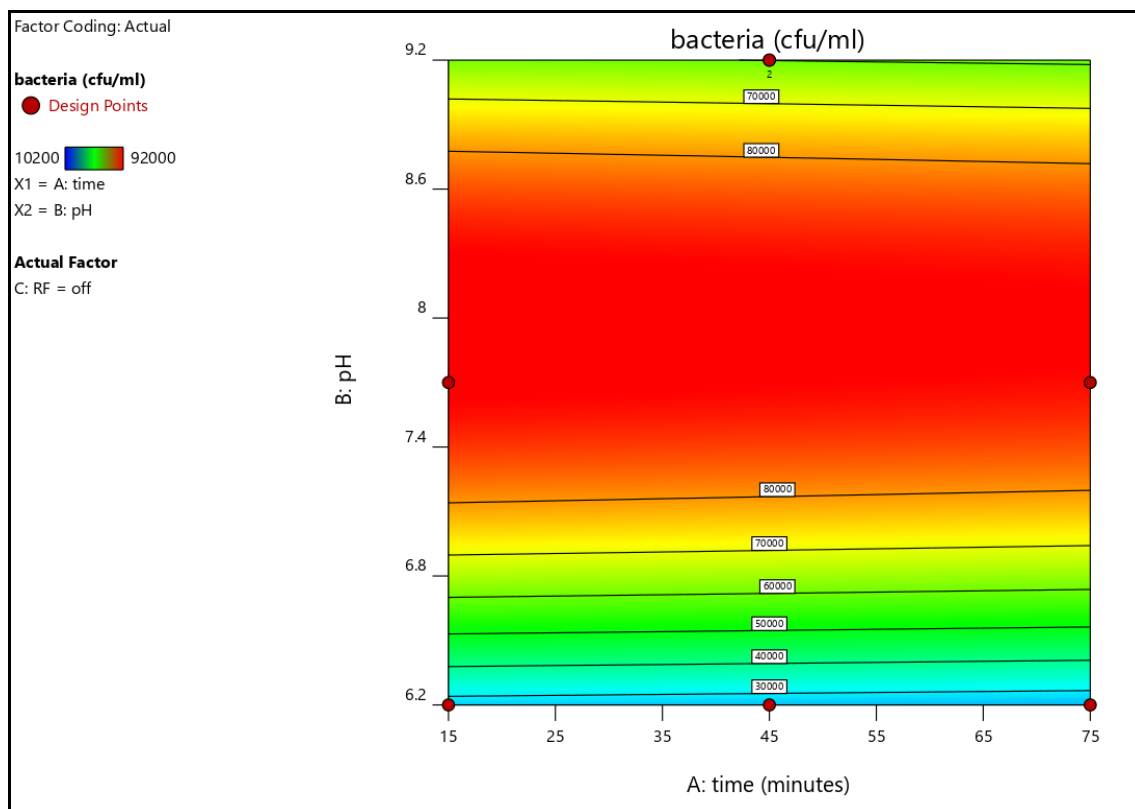


شکل ۴-۹- نمودار تغییرات تعداد باکتری در آزمایش بر روی شیرابه با pH اسیدی (pH = ۶.۲)

جدول ۴-۱۲- درصد کاهش تعداد باکتری ناشی از هر یک از پارامترهای آزمایش (pH = ۶.۲)

درصد کاهش تعداد باکتری در یک میلی‌لیتر شیرابه			زمان (دقیقه)
pH و امواج رادیویی	فقط pH	فقط امواج رادیویی	
۸۴٪	۶۹.۵٪	۲۴٪	۱۵
۸۷٪	۷۲٪	۳۰٪	۴۵
۸۹٪	۷۴٪	۳۵٪	۷۵

از نتایج جالب توجهی که در تمامی آزمایشات مشاهده می‌شود، این است که گذر زمان تأثیر چشمگیری در کاهش غلظت باکتری‌ها ندارد. در حقیقت، حضور یا عدم حضور امواج رادیویی، و یا تغییر pH تأثیری ناگهانی بر غلظت باکتری‌ها دارند؛ اما این تأثیر در طول زمان آزمایش تداوم پیدا نکرده و بسیار ملایم‌تر شده است. مزیت این اتفاق این است که در صورت نیاز به استفاده از امواج رادیویی در فرآیند تصفیه شیرابه، نیاز به متوقف کردن جریان شیرابه جهت تأثیر امواج نبوده و زمان ماند آن نزدیک به صفر است.



شکل ۴-۱۰- تغییرات تعداد باکتری‌ها بر اثر تغییر pH (عدم حضور امواج رادیویی)

از دیگر نتایجی که از آزمایش‌های انجام شده بدست آمد، بازه pH بهینه برای باکتری‌های درون شیرابه است. بر اساس مدل‌سازی انجام‌شده توسط نرم‌افزار Design Expert 12 (شکل ۴-۱۰)، pH بهینه برای باکتری‌های درون شیرابه نمونه‌برداری‌شده از خاکچال، در حالت پایه (عدم القای امواج رادیویی) بین ۷.۱ تا ۸.۸ می‌باشد. بر این اساس، باکتری‌ها در pHهای بازی مقاومت بیشتری نسبت به pHهای اسیدی از خود نشان دادند. این نتایج با نتایج بدست آمده در مطالعات انجام‌شده توسط دیگر محققان قابل مقایسه است (جدول ۴-۱۰).