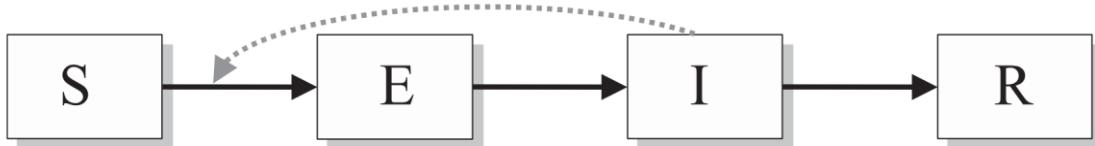


# تمرین سوی هشتم درس مدل سازی در پدیده‌های آماری

## یعقوب شاه‌ماری - ۹۸۱۰۸۸۳

توضیحات اولیه:

در این تمرین قصد داریم مدل SEIR را روی شبکه‌های مختلف شبیه‌سازی کرده و نتایج آن را به ازای جزئیات مختلف (شامل درنظر گرفتن واکسیناسیون و قرنطینه و قرنطینه درجه‌بندی شده) با هم مقایسه کنیم.



به طور کلی انواع شبکه ما داریم. شبکه‌هایی بر مبنای گراف لتیس یا گراف‌های بی‌مقیاس و اردوش رنی و غیره. ما در ابتدا نتایج را روی شبکه مشبك متناوب شبیه‌سازی کرده نتایج را تفسیر کرده و نهايتا همين کار را با دوشبكه دیگر کرده و نتایج را با هم مقایسه می‌کنیم.

به طور کل مدل SEIR در شبکه به این صورت شبیه‌سازی می‌شود که به راس‌های شبکه ویژگی "حالت" می‌دهیم. این ویژگی می‌تواند هر یک از مقادیر S یا E یا I یا R را اشغال کند. هر یک به اسامی دسته‌های موجود در مدل اشاره دارد. در عین حال ویژگی میزان زمان طی شده در دسته E را نیز اضافه می‌کنیم و در ابتدا این مقدار را برای همه صفر قرار می‌دهیم و آن را به  $T_e$  می‌شناسیم. مراحل شبیه‌سازی به این صورت است:

ابتدا در اول هر روز افراد هر دسته را سرشماری می‌کنیم آن‌ها را لیست می‌کنیم. معیار بودن یا نبودن در یک دسته را از طریق این لیست درنظر می‌گیریم.

یک راس را تصادفا انتخاب می‌کنیم. مراحل زیر را طی می‌کنیم:

- اگر حالت راس E بود اگر تعداد روزهای گذرنده در این دسته به طور متوسط بیشتر از ۵ روز (برای بررسی این حالت از توزیع پواسون و نه عدد مطلق استفاده کردیم) فرد را به دسته I منتقل می‌کنیم. در غیر این صورت عدد  $T_e$  را یک عدد افزایش می‌دهیم.

- اگر راس در دسته I بود ابتدا همسایه‌هایش را بررسی می‌کنیم آن‌هایی که در دسته S بودند را با احتمال بتا به دسته E منتقل می‌کنیم. در نهايیت با احتمال ۱ راس اولی را به دسته R منتقل کرده.

این فرایند را به تعداد راس‌های موجود ادامه می‌دهیم و نهايیتا روز را به پایان رسانده و اين چرخه را تا لحظه تعادل ادامه می‌دهیم.

جزئیاتی که در هر مرحله اضافه می‌کنیم به این صورت است:

- برای بخش واکسیناسیون دسته جدیدی ایجاد کرده و حالت  $V$  را به دسته‌هایمان اضافه می‌کنیم. هر راس انتخابی را با احتمال  $P1$  به دسته  $V$  انتقال داده و از چرخه دینامیک خارج می‌کنیم.
- برای درنظر گرفته قرنطینه یک ویژگی جدید به رئوس نسبت داده که به ما می‌گوید راس مذکور قرنطینه هست یا خیر. در بخشی که انتقال از دسته  $S$  به  $I$  انجام می‌شد شرط را دو دسته می‌کنیم. اگر راس اولی قرنطینه نبود با احتمال بتا فرد راس دوم را به دسته  $I$  منتقل می‌کند اگر قرنطینه بود با احتمال نصف بتا این کار را می‌کند. در ضمن برای هر راس  $I$  شناسایی شده این برسی به عمل می‌آید که اگر همسایه‌های این راس در دسته  $S$  بودند با احتمال  $P2$  وارد قرنطینه شوند.
- برای درنظر گرفتن قرنطینه مستقیم و غیر مستقیم مراحل فوق را با این تغییرات تکرار کرده: جای دو حالت قرنطینه و غیر قرنطینه سه حالت قرنطینه مستقیم و قرنطینه غیر مستقیم و غیر قرنطینه را درنظر می‌گیریم. در بخش انتقال از دسته  $S$  به  $I$  شرط جدیدی وارد کرده و راس‌هایی که قرنطینه غیر مستقیم هستند با احتمال سه چهارم بتا بیماری را منتقل می‌کنند. این مرحله نیز اضافه می‌شود که اگر فرد قرنطینه مستقیم بود همسایه‌های دسته  $S$  را با احتمال نصف  $P3$  وارد قرنطینه غیر مستقیم می‌کنیم.

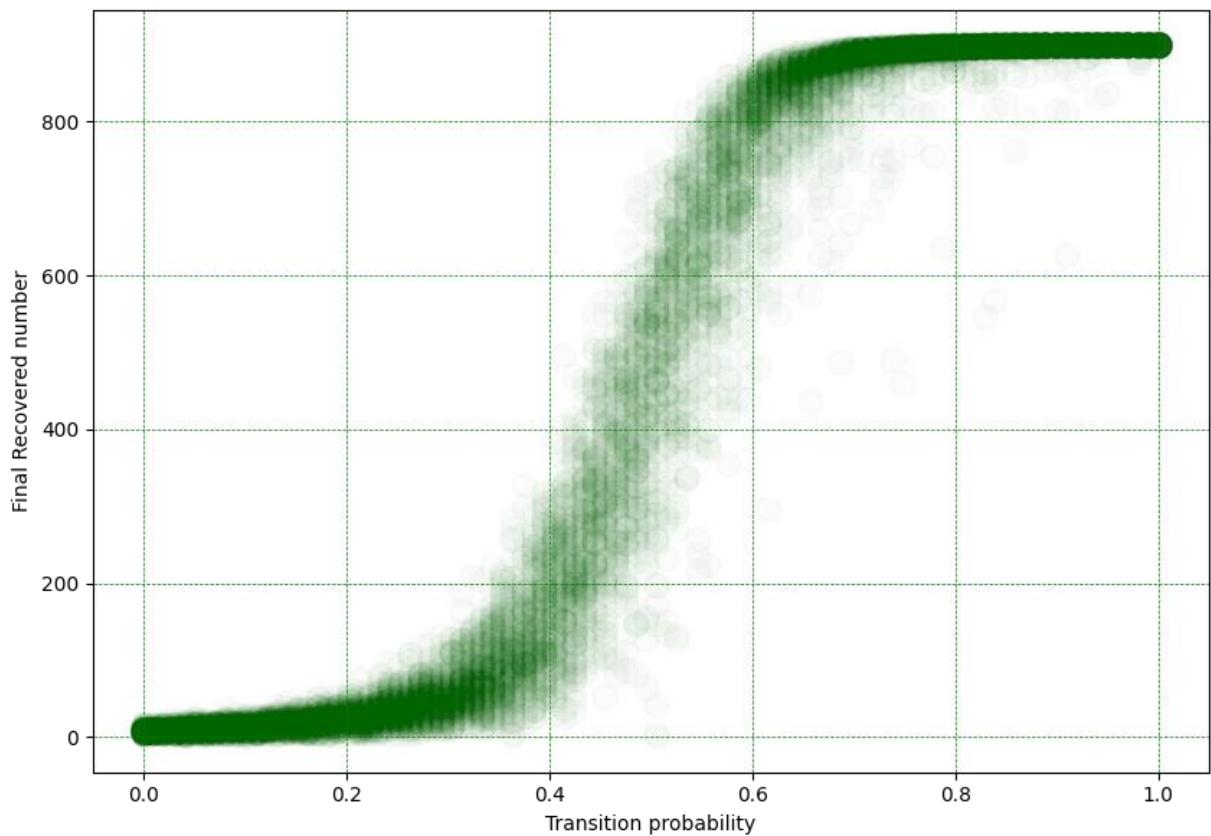
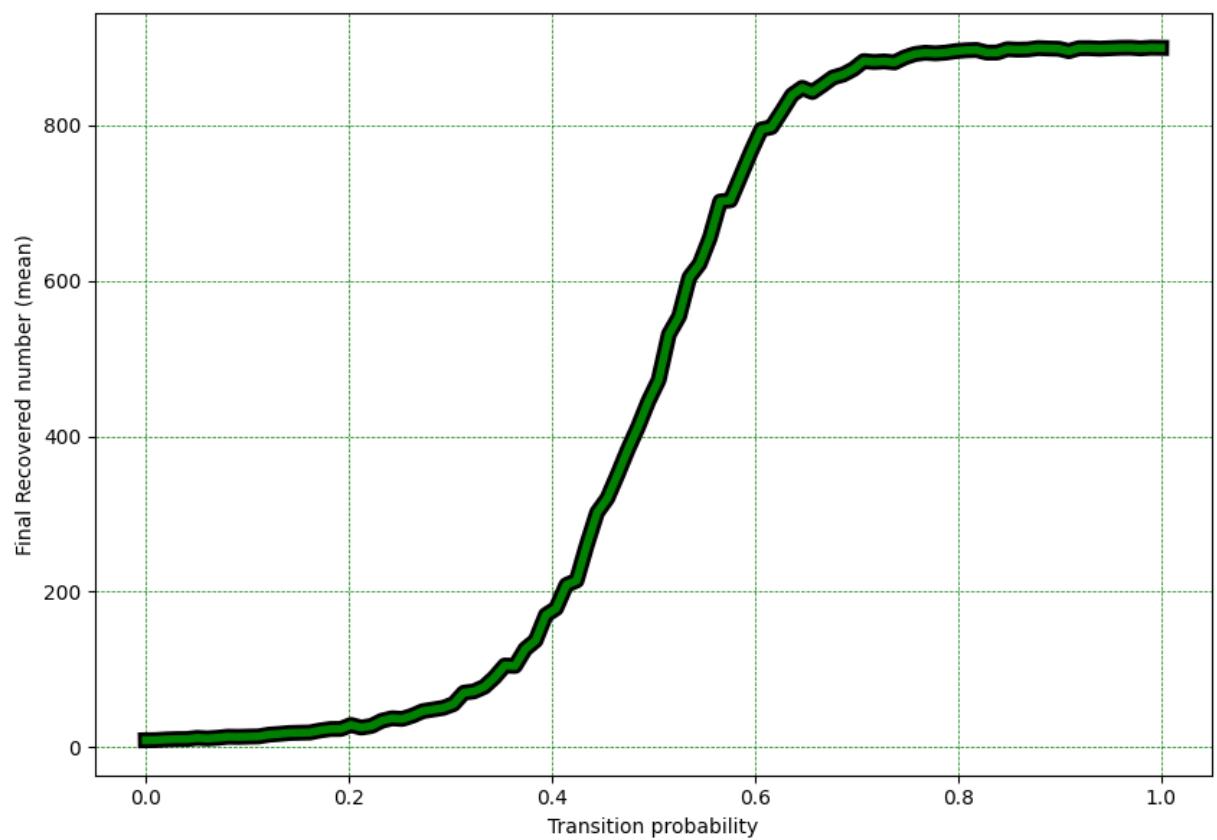
نهایت تمام شبیه‌سازی و نمودارهای خواسته شده را برای سه نوع شبکه لتیس و اردوش-رنی و بی‌مقیاس تکرار می‌کنیم.  
برای ساختن شبکه بی‌مقیاس از روش بارباست-آلبرت استفاده می‌کنیم.

### پیش‌فرض‌ها:

ما تمام شبیه‌سازی‌هارا برای تعداد شبکه ۹۰۰ راسی و چگالی بیماران اولیه ۱۰۰۰ انجام دادیم. تعداد روزهای دوره نهان ۵ روز بوده و در تمامی مواردی که قرنطینه را دخیل کردیم روزهای قرنطینه را به طور متوسط برابر ۶ روز قرار دادیم (با استفاده از توزیع پواسون). علت این مقدار این است که دوره نهان و طول مدت بیماری مجموعاً ۶ روز هستند. پس افراد به طور میانگین خود را به طور متوسط ۶ روز اگر قرنطینه کنند می‌توانند مطمئن باشند دوره بیماری را گذرانده‌اند. احتمال بهبود نیز در هر روز برابر یک است بنابراین دوره حضور در دسته  $I$  به طور متوسط یک روز است (می‌توان اینجا نیز از توزیعی غیر مطلق با میانگین یک استفاده کرد).

### نتایج:

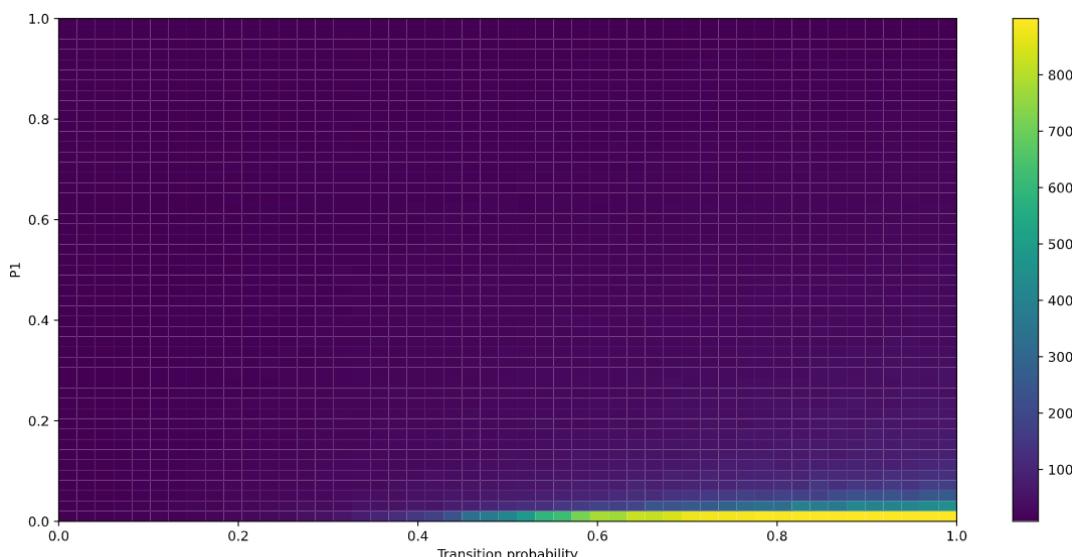
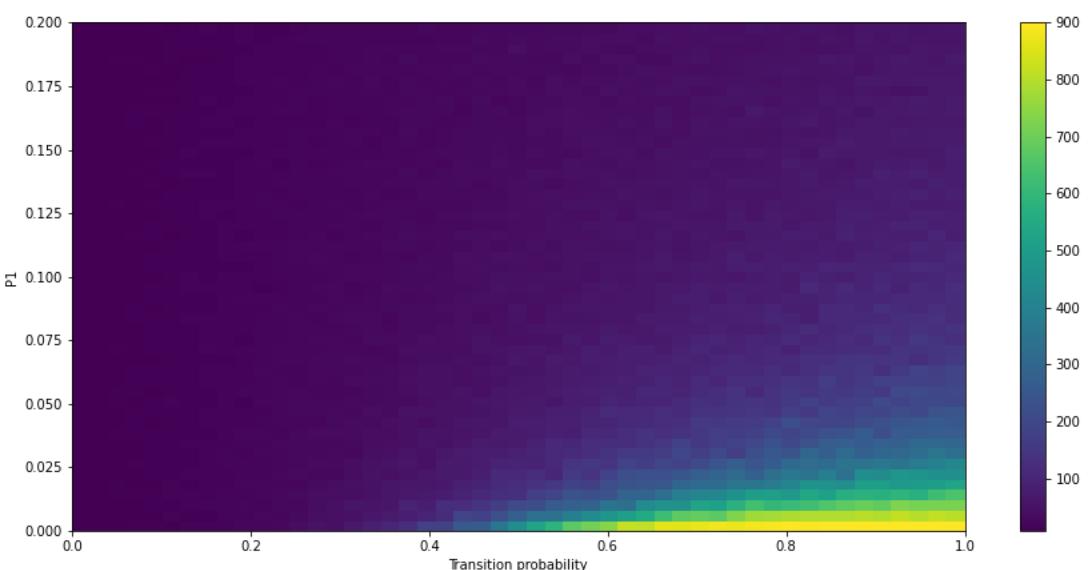
در اولین خواسته ما باید مدل SEIR را به تنها یی بر شبکه لتیس شبیه‌سازی کرده و نمودار احتمال انتقال بر حسب تعداد افراد بهبود یافته نهایی را رسم کنیم.  
نمودار حاصل به ازای تعداد صد بار اجرا و صد احتمال انتقال بین صفر تا یک در صفحه بعد آورده شده.



نمودار ۱

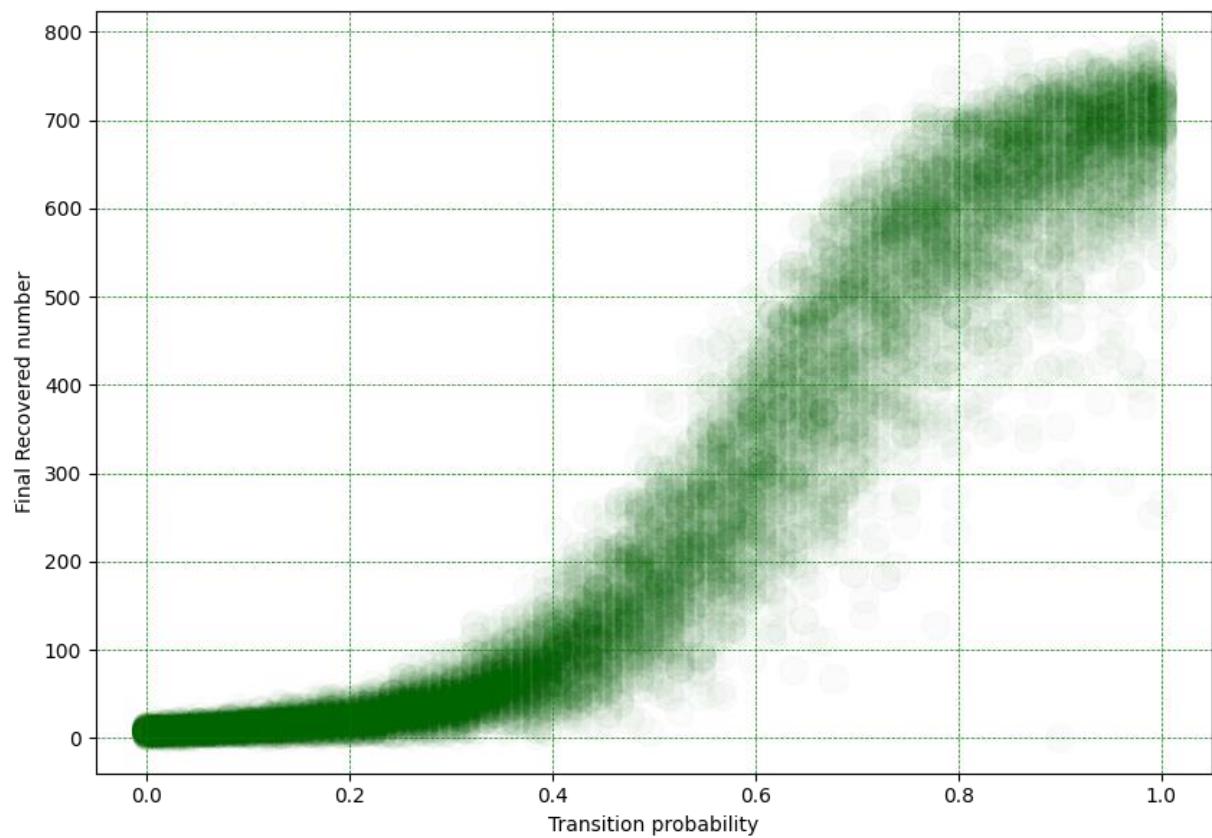
در نمودار یک ما مجموع تمام اجرا ها را در یک قاب به صورت نمودار اسکتر و میانگین آن هارا در یک قاب دیگر داریم. همانطور که قابل مشاهده است در بازه قبل احتمال انتقال  $4 \cdot 0$  و نزدیک  $3 \cdot 0$  گذر فاز رخ داده و جامعه وارد فاز ایدمی شده و تعداد افرادی که در گیر بیماری شده اند به طور نمایی رشد کرده. در نمودار اسکتر ما می بینیم که تصادفی شدن نتایج در اواسط نمودار بیشتر شده.

در بخش الف تمرین ما واکسیناسیون را وارد شیوه سازی کرد. نمودار های کانتور برای پنجاه در پنجاه مقدار پارامتر مختلف به نمایش گذاشته شده و تعداد اجرا ها برای این نمودار ها پنجاه عدد است. پارامتر احتمال انتقال بین صفر تا یک انتخاب شده در هر دو نمودار کانتور و پارامتر  $P1$  در یکی بین صفر تا یک و در دیگری بین صفر تا  $0 \cdot 2$ . انتخاب شده. رنگ هر خانه مقیاسی از تعداد بهبود یافتنگان نهایی است. در سایر نمودار ها مابه ازای  $P1$  های مختلف محور احتمال انتقال را به صد قسمت تقسیم کردیم و به ازای هر پارامتر صد بار اجرا کردیم برنامه را و نتایج را نشان دادیم. نتایج به این صورت می باشند:

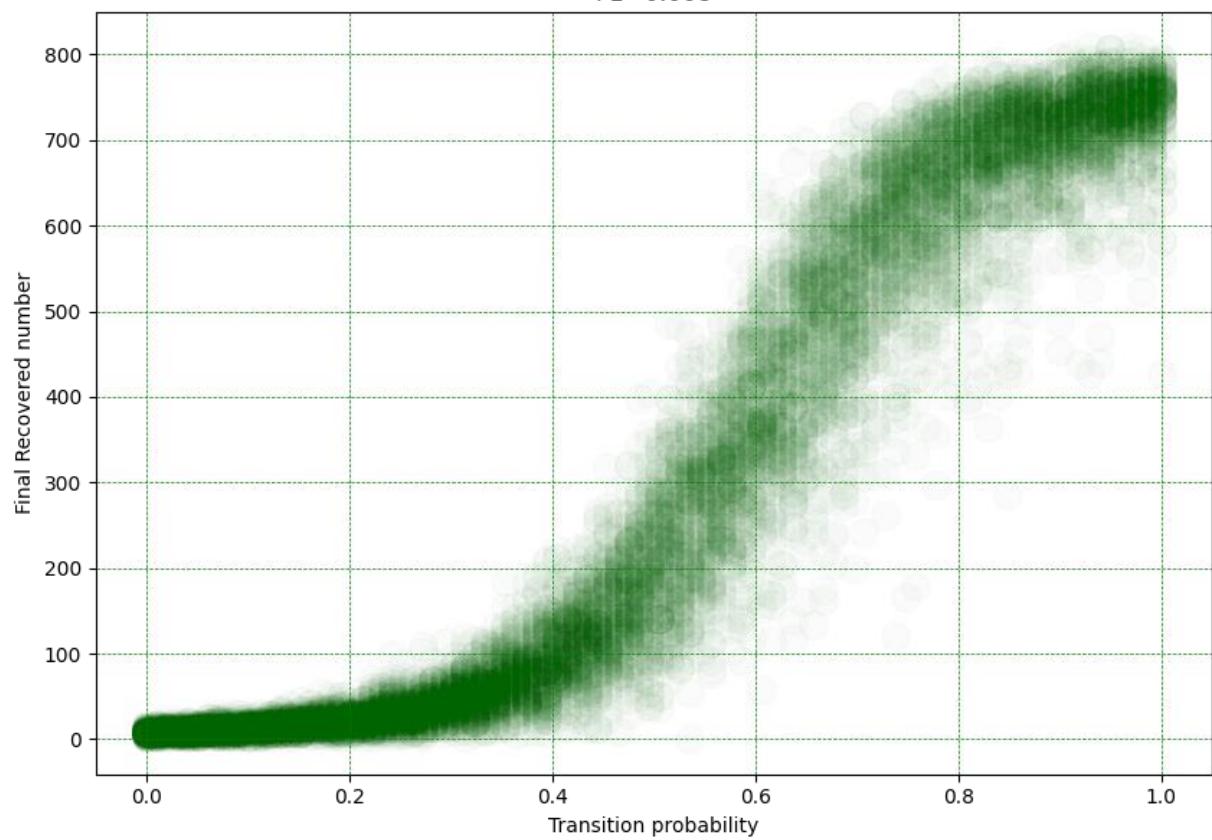


نمودار ۲

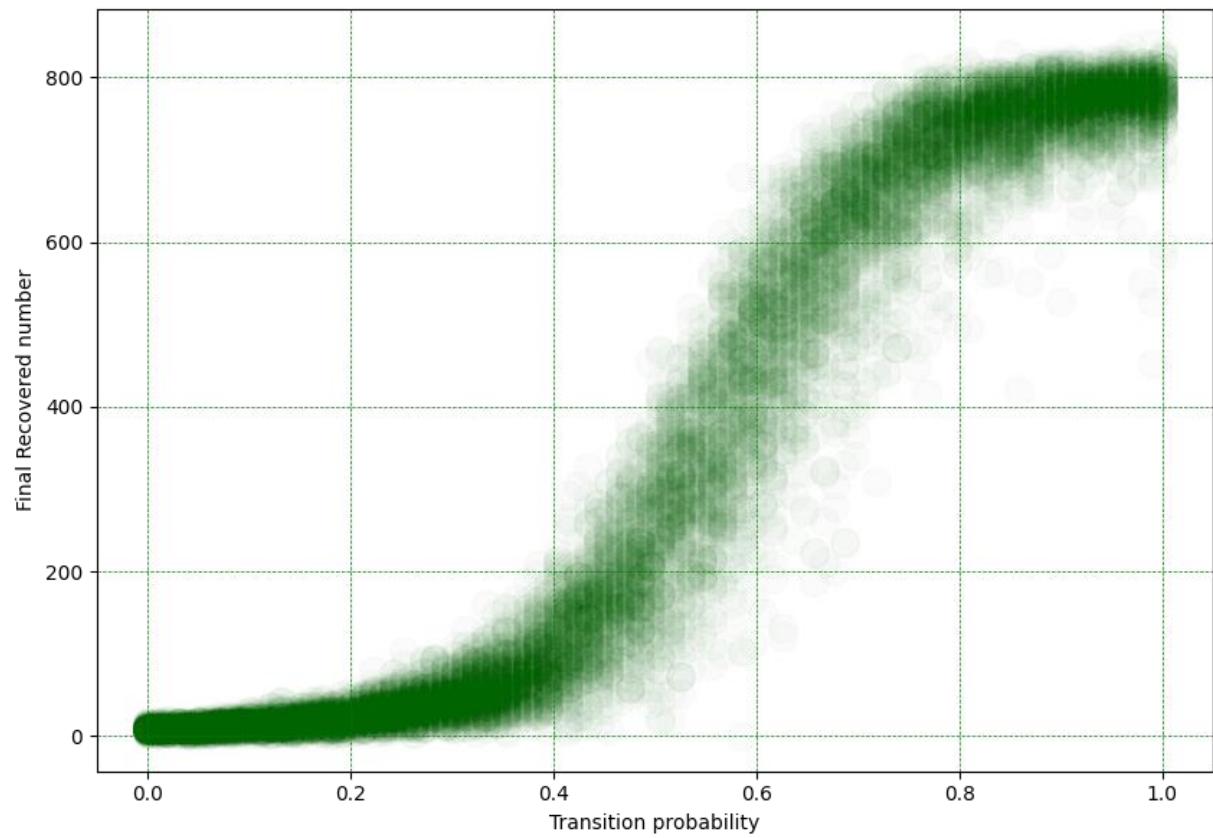
P1=0.01



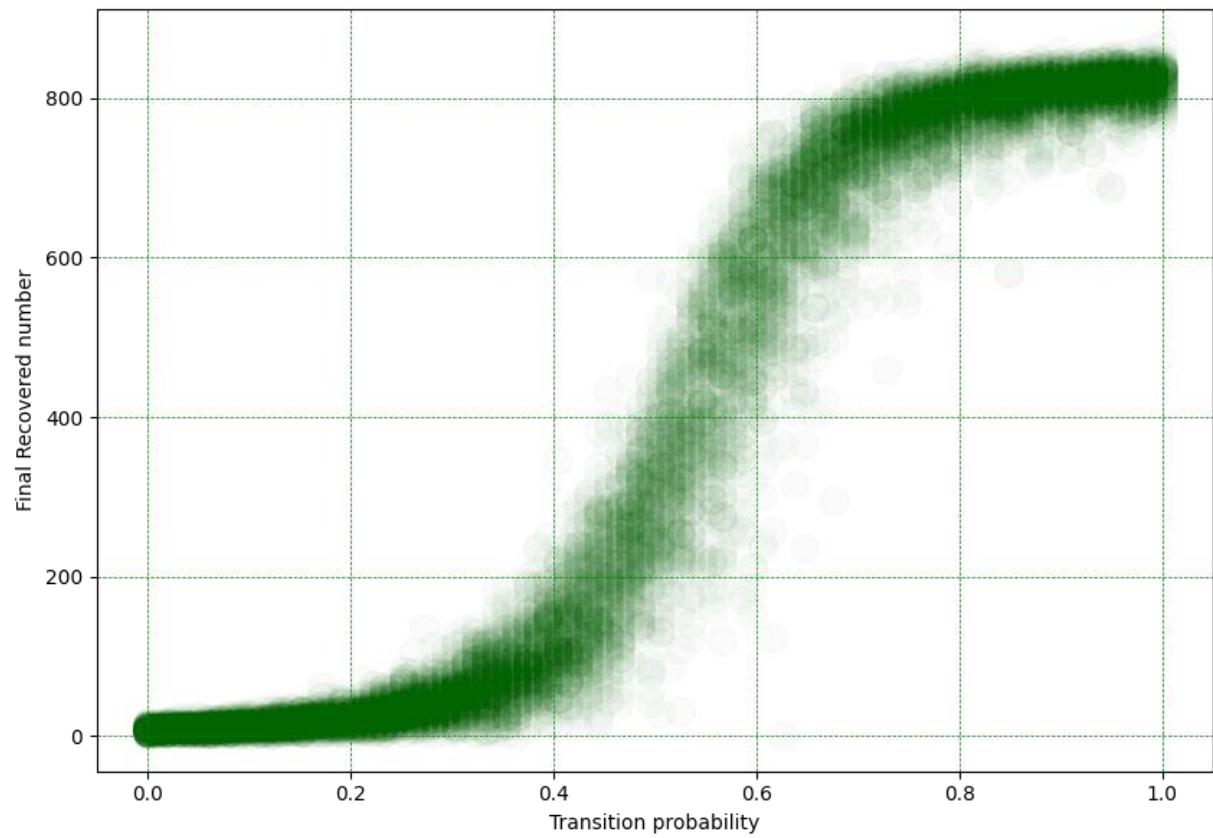
P1=0.008



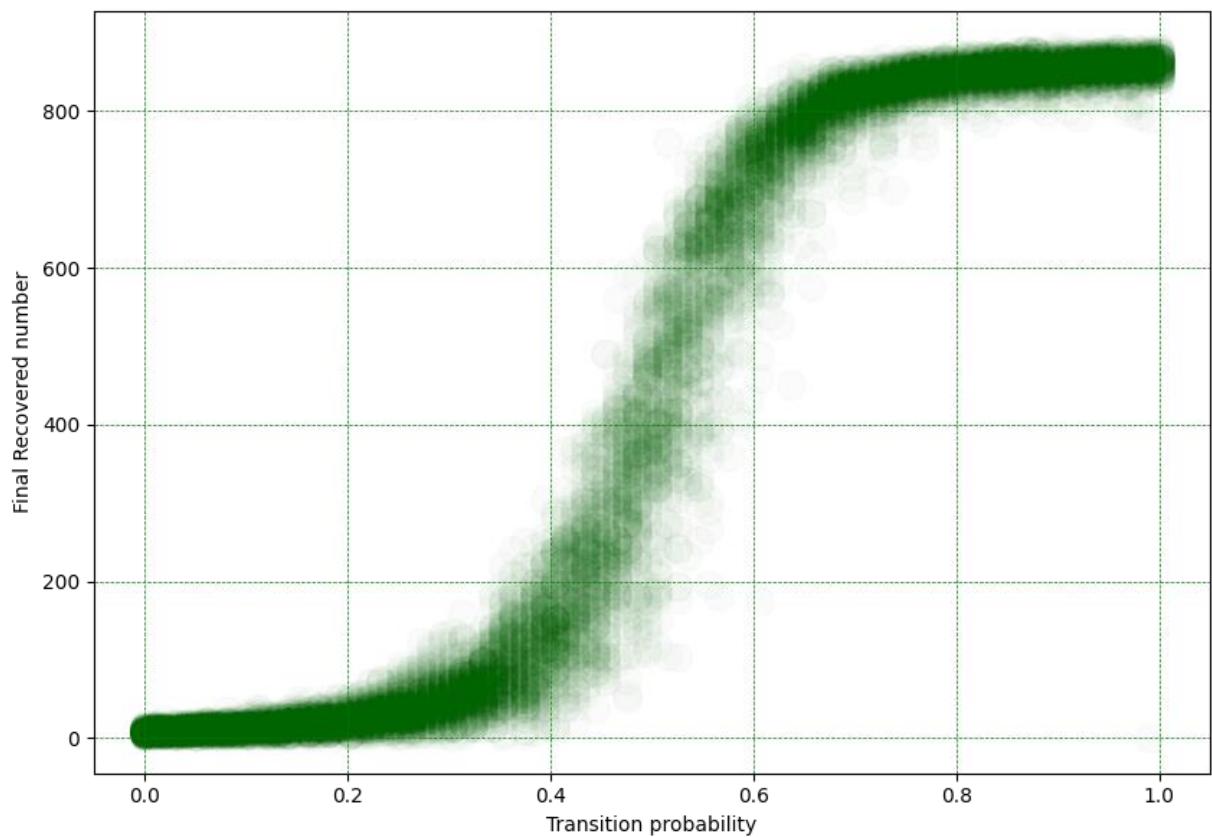
P1=0.006



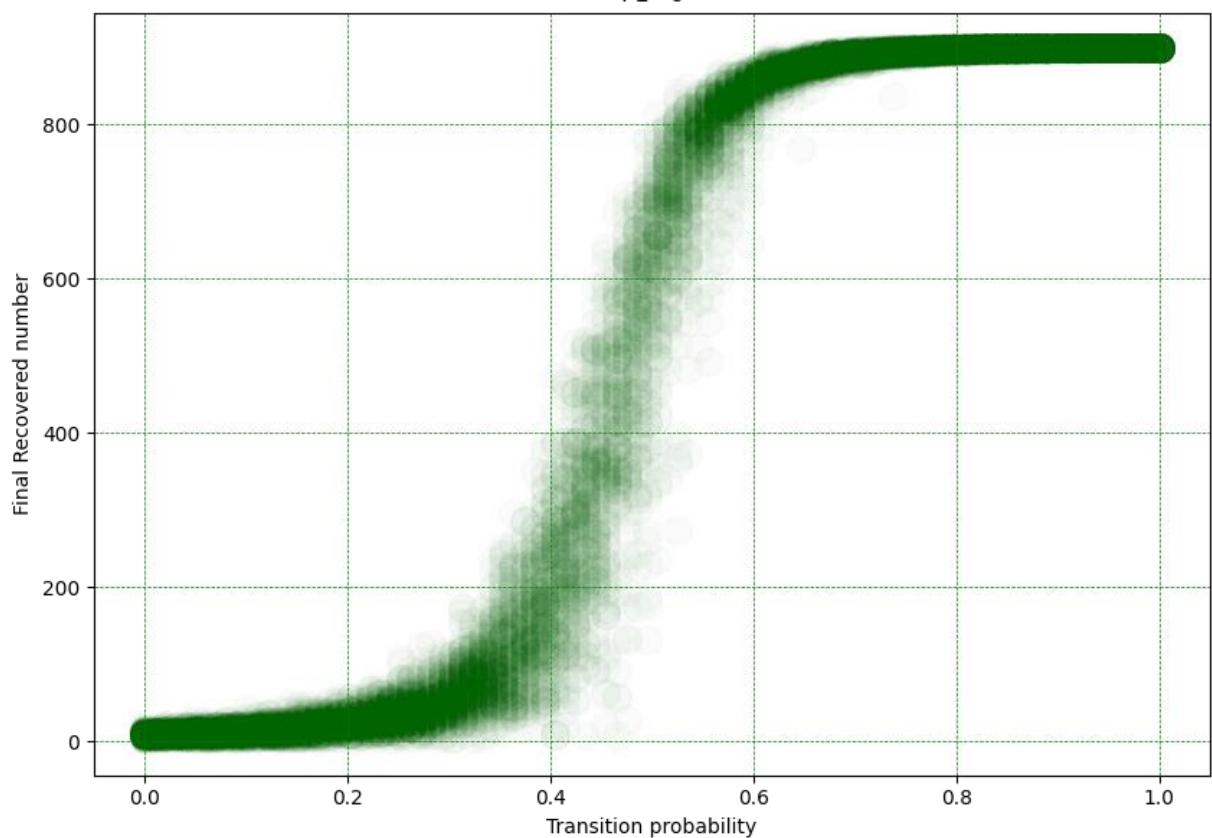
P1=0.004

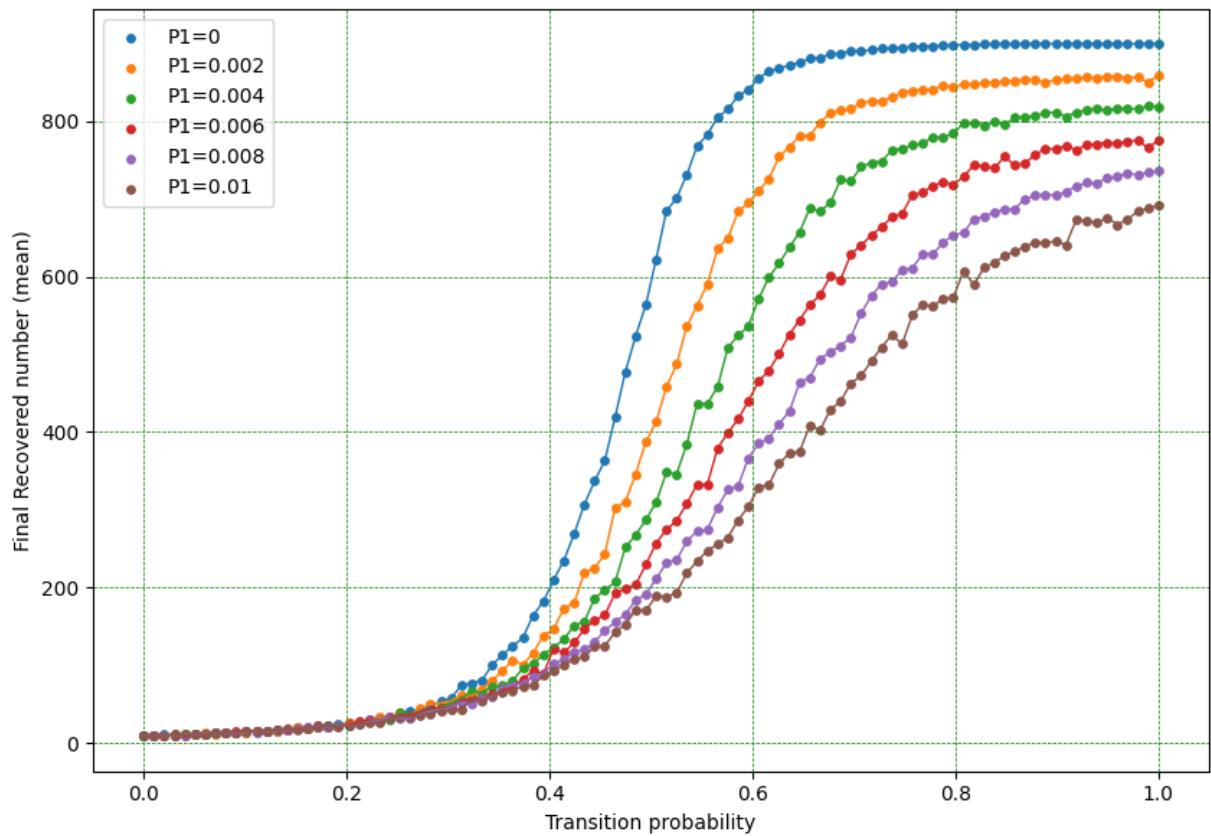


P1=0.002



P1=0



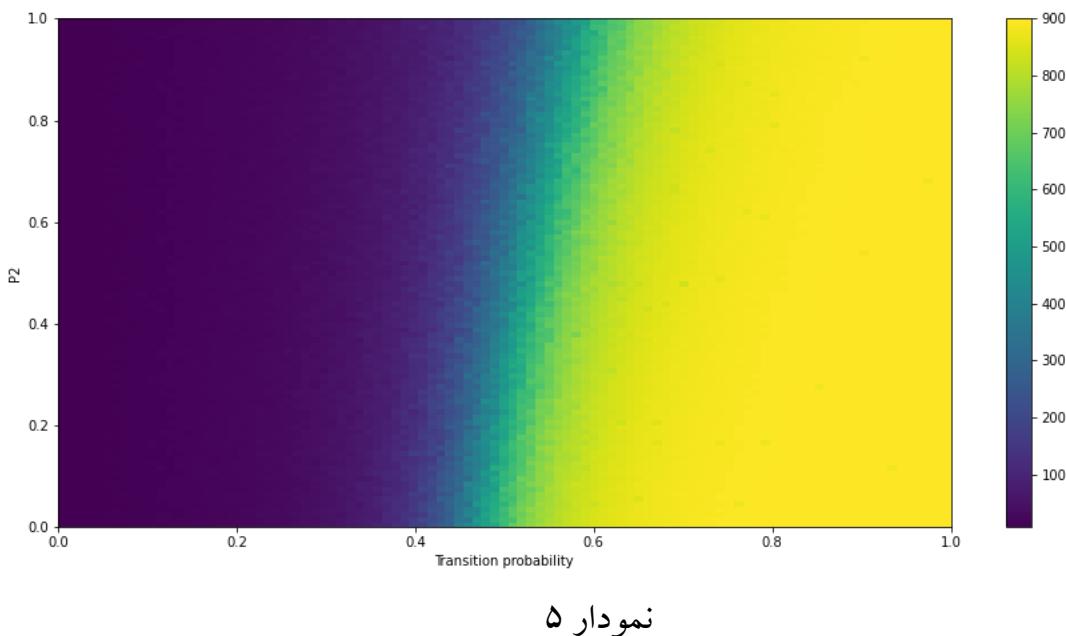


#### نمودار ۴

در نمودار دو ما در دو قاب میانگین مقادیر نهایی بهبودیافتگان را به ازای مقادیر احتمال انتقال بین صفر تا یک در دو بازه جهت بررسی بهتر به صورت کانتور رسم کردی‌ایم. همانطور که قابل مشاهده است اگر بخواهیم بازه پارامترهای آستانه و بحرانی را نشان بدهیم آنرا خطی لگاریتمی می‌توانیم نشان دهیم که در  $P_1$  برابر صفر و احتمال انتقال بعد ۰.۳ شروع می‌شود و در احتمال انتقال برابر یک و  $P_1$  کمتر از ۰.۷ پایان می‌یابد.

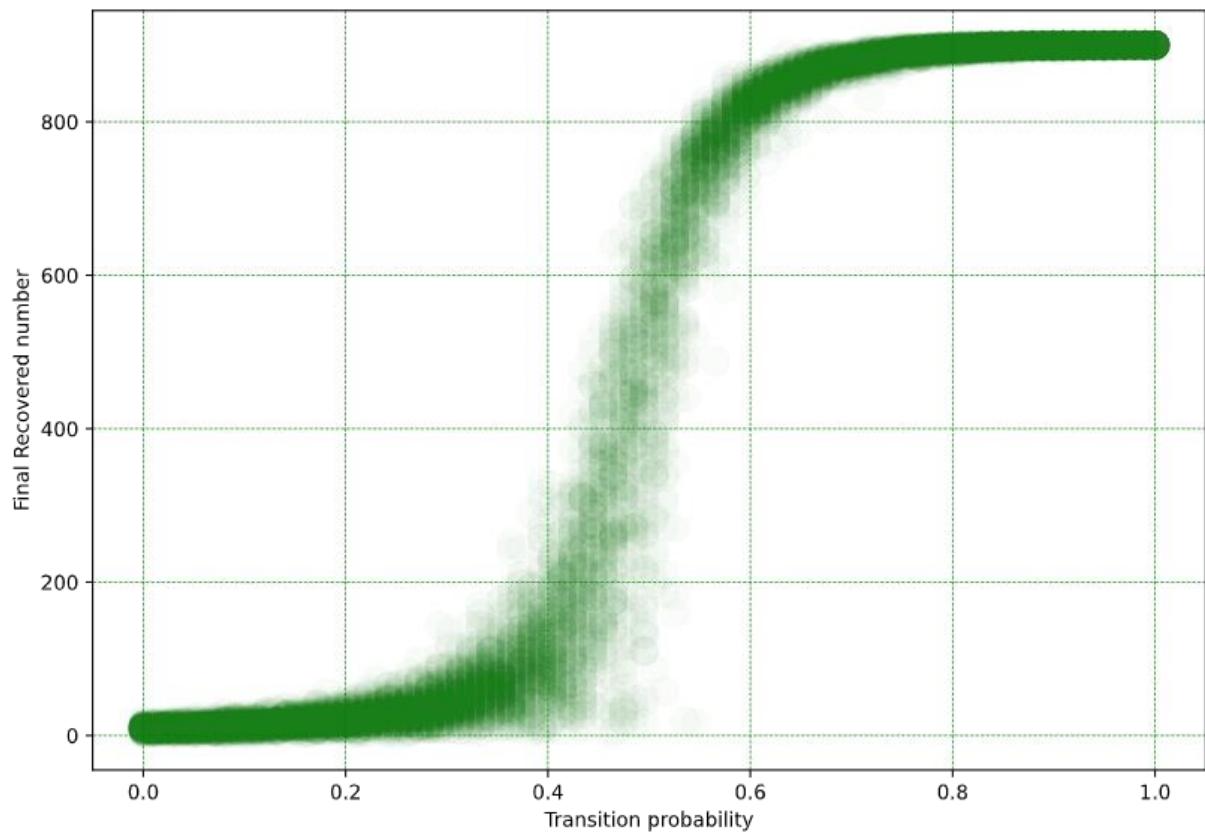
در نمودار سه و چهار ما به ازای مقادیر ثابت و مختلف  $P_1$  اقدام به ترسیم نمودار بهبودیافتگان نهایی بر حسب احتمال انتقال کرده ایم. نمودار سه اسکلت تمام اجرایها است و نشان‌دهنده پراکندگی و تصادفی بودن شبیه‌سازی و بازه‌های قابل اطمینان است. نمودار چهار میانگین تمام اجرایها را به ازای پارامترهای مختلف در یک قاب نشان داده. بر اساس نتایج ما درمی‌یابیم که به تاثیر افزایش نرخ واکسن در مقادیر کمتر موثرتر است زیرا اگر احتمال انتقال آستانه بر حسب  $P_1$  را در نظر بگیریم (که از نمودار دو قابل برداشت است) شبیه این نمودار در مقادیر کمتر  $P_1$  و احتمال انتقال بیشتر است. و در مقادیر بیشتر اثر آن کمتر می‌شود و نهایتاً از مقادیری بالاتر از ۰.۲ برای  $P_1$  ما می‌بینیم که تعداد بهبودیافتگان تغییری نخواهد کرد و نزدیک صفر هستند. در نمودارهای به دست آمده با توجه به پراکندگی به خوبی نقطه بحرانی قابل اشاره نیست ولی می‌توان گفت تغییرات چنان بوده که به ازای  $P_1$  برابر صفر نقطه بحرانی در بازه کمتر از ۰.۴ احتمال انتقال و نزدیک ۰.۳ ذره ذره به مقدار بعد ۰.۴ احتمال انتقال و نزدیک ۰.۵ در  $P_1$  برابر ۰.۰۱ منتقل شده و می‌دانیم (از نمودار دو) که بعد این بازه آستانه شدیداً جلوتر خواهد رفت.

در بخش ب ما قرنطینه را وارد شبیه‌سازی کرده و اثر آن را بررسی می‌کنیم. در نمودار کانتور ما به ازای صد درصد پارامتر که مقادیر احتمال انتقال و  $P_2$  را بین صفر تا یک پوشش می‌دادند هر کدام را صد بار اجرا کردیم. رنگ هر خانه مقیاسی از مقدار نهایی بهبود یافته‌گان است. سایر نمودارها به ازای  $P_2$  ذکر شده مقدار صد پارامتر احتمال انتقال بین مقادیر صفر الی یک را به تعداد صد بار اجرا رسم کردیم. در چندین قاب نمودار اسکتر تمام اجرا هارا و در یک قاب میانگین اجرا هارا نشان دادیم. تعداد روزهای قرنطینه و سایر پارامترهای ثابت در بخش پیش‌فرضها آمده. نمودارهای اسکتر همانطور که ذکر شد به ما بازه‌های قابل اطمینان و پراکندگی و میزان تصادفی بودن اجرا هارا نشان می‌دهد.

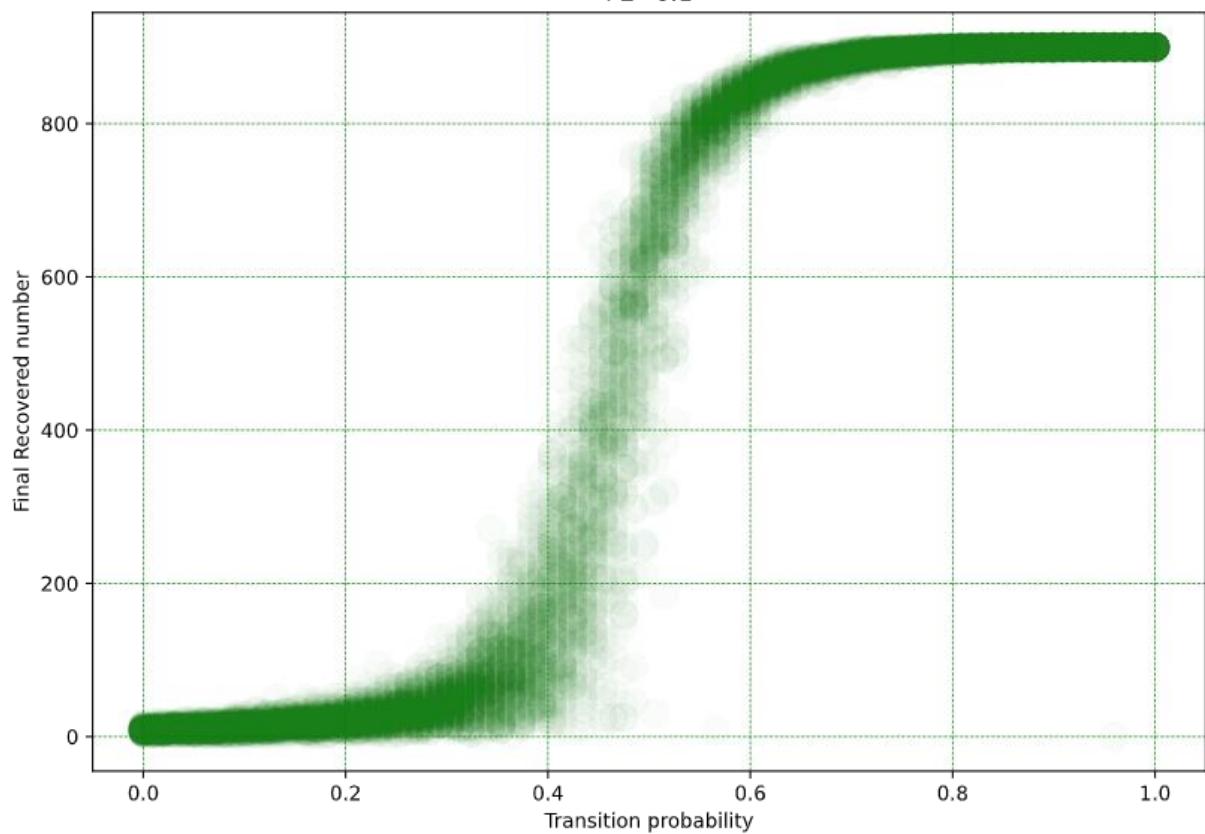


همانطور که قابل مشاهده است اثر افزایش مقدار  $P_2$  بر پارامترهای آستانه نسبتا به صورت خطی است. و اثر افزایش این پارامتر بر کاهش بهبود یافته‌گان نهایی را نمی‌توان خیلی مقدار قابل توجهی دانست. با افزایش  $P_2$  از صفر به یک تقریبا مقدار پارامتر آستانه احتمال انتقال نهایتاً یک دهم جایه‌جا شده است.

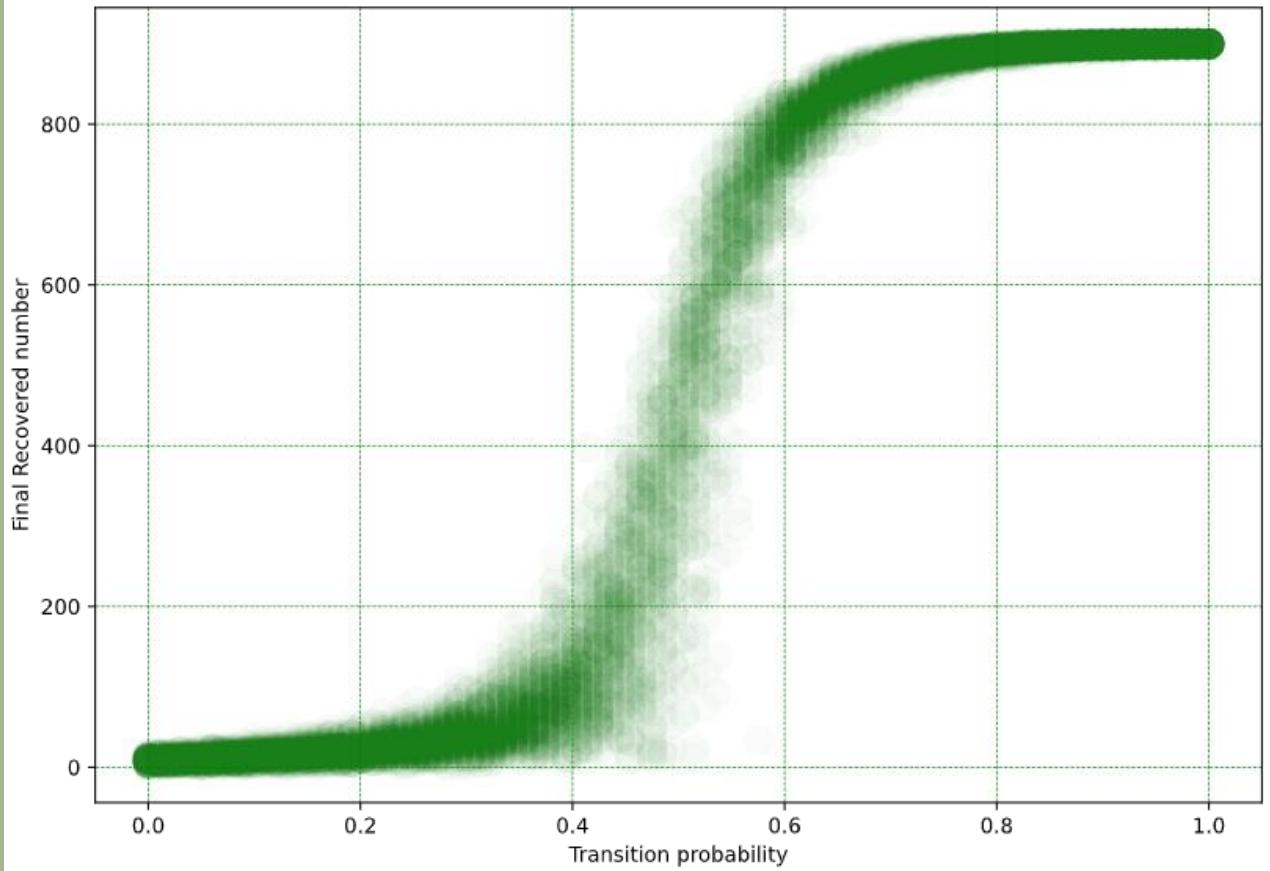
P2=0.3



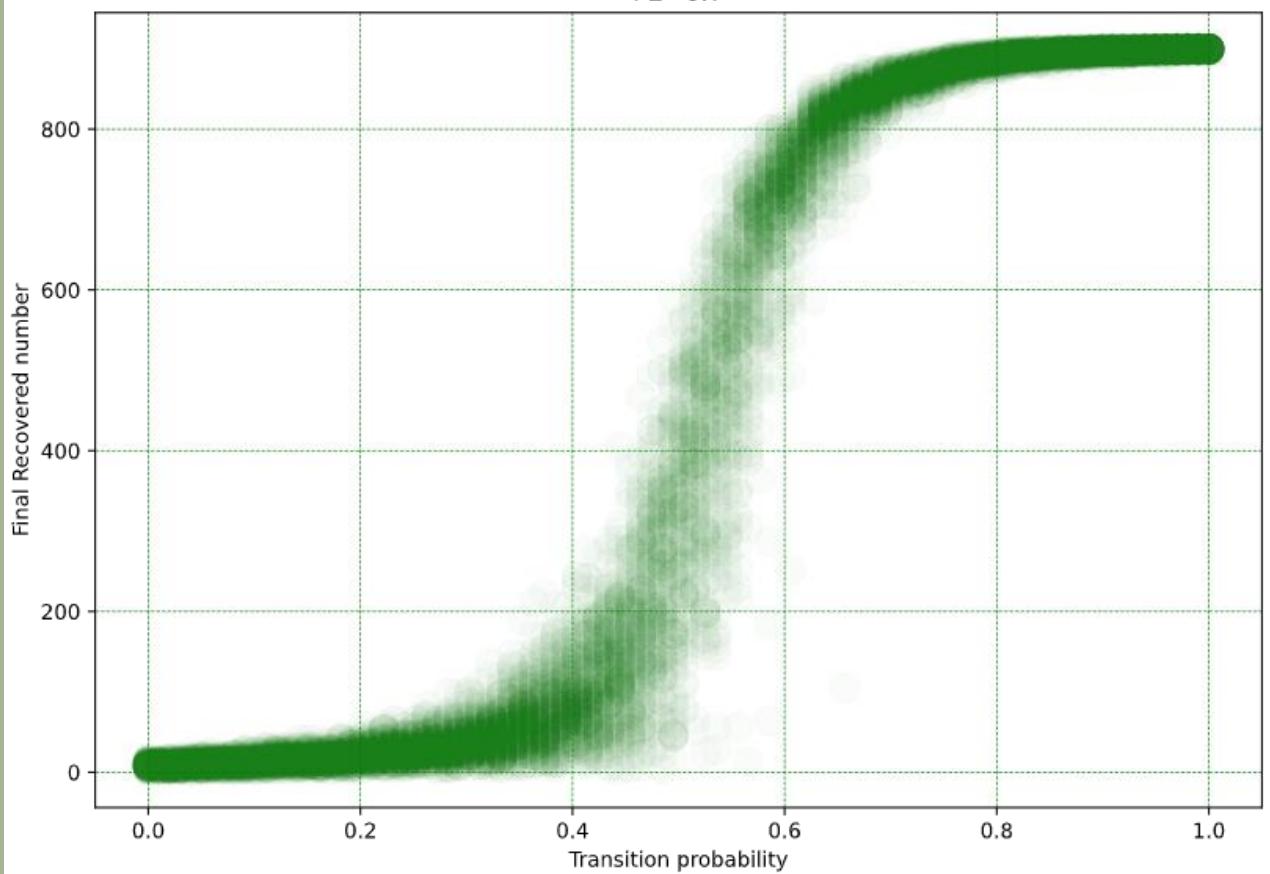
P2=0.1



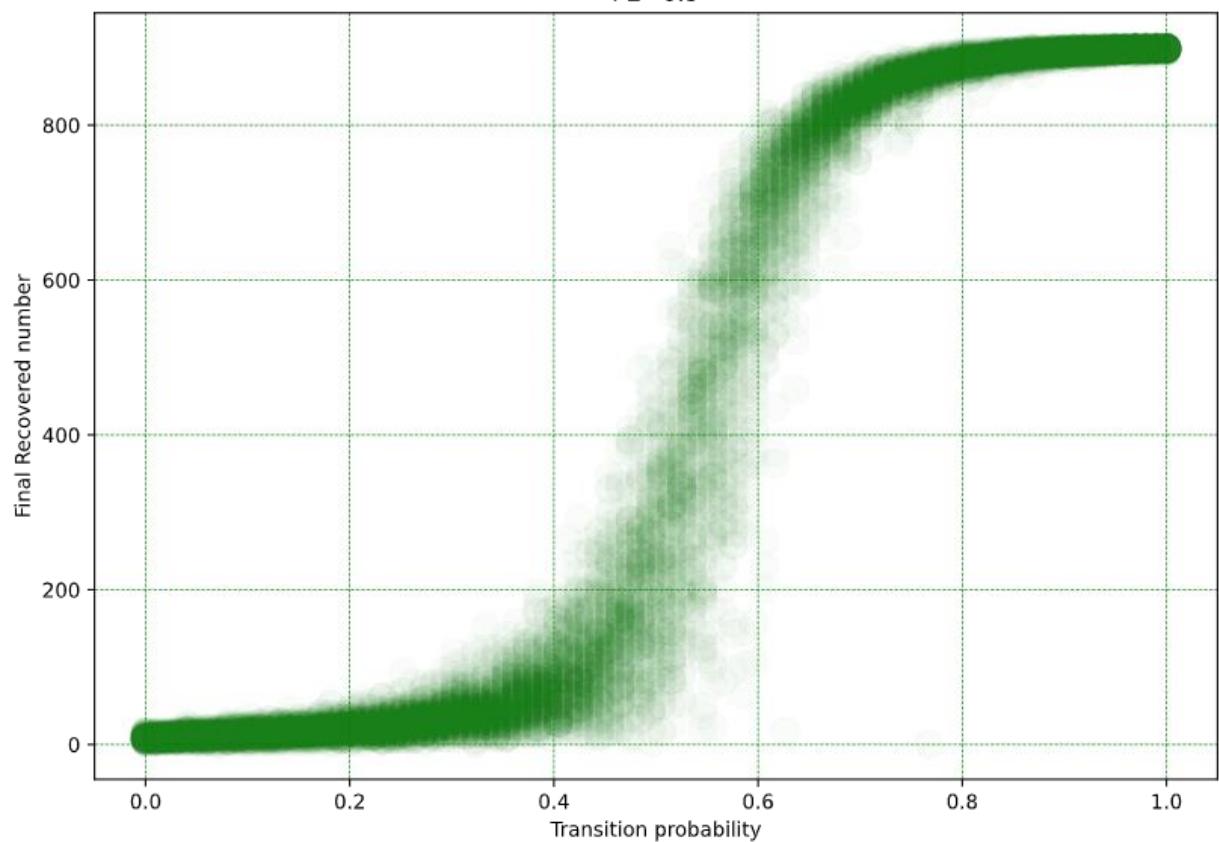
P2=0.5



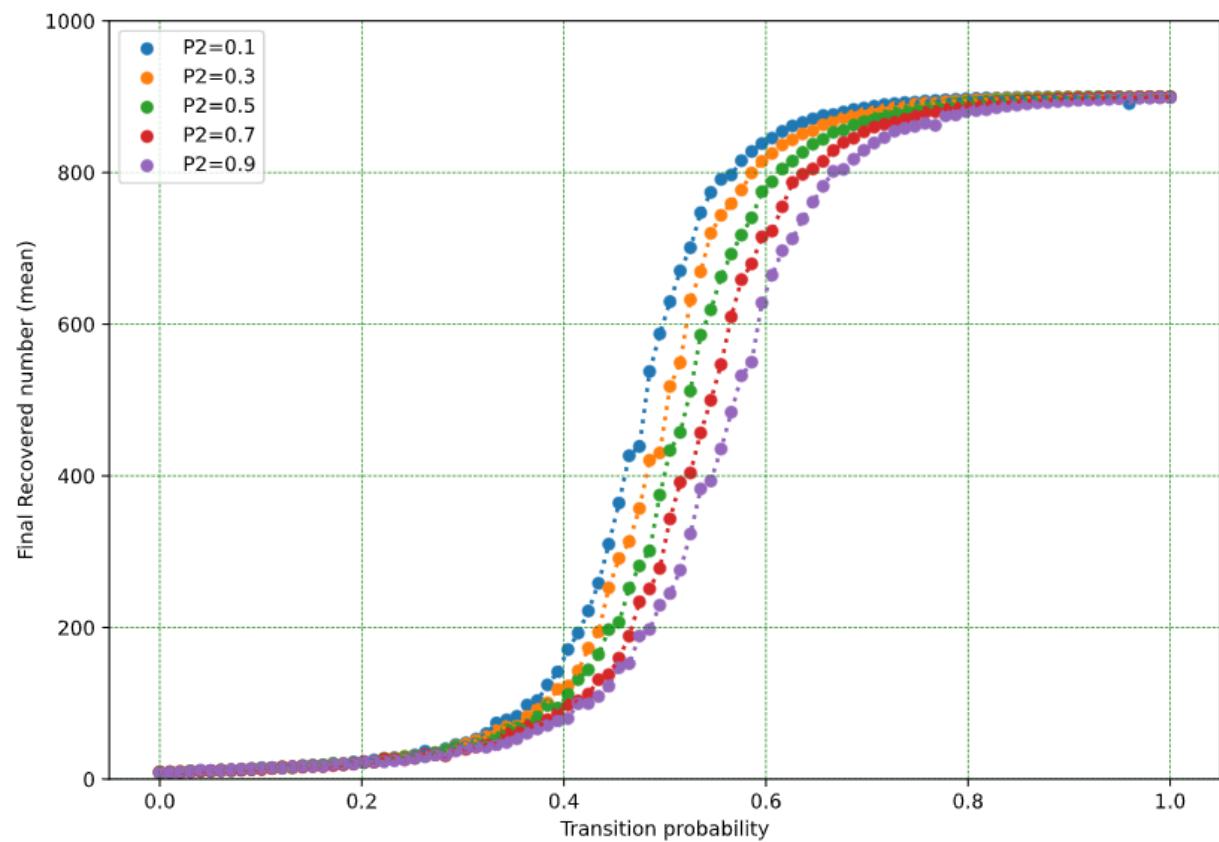
P2=0.7



P2=0.9



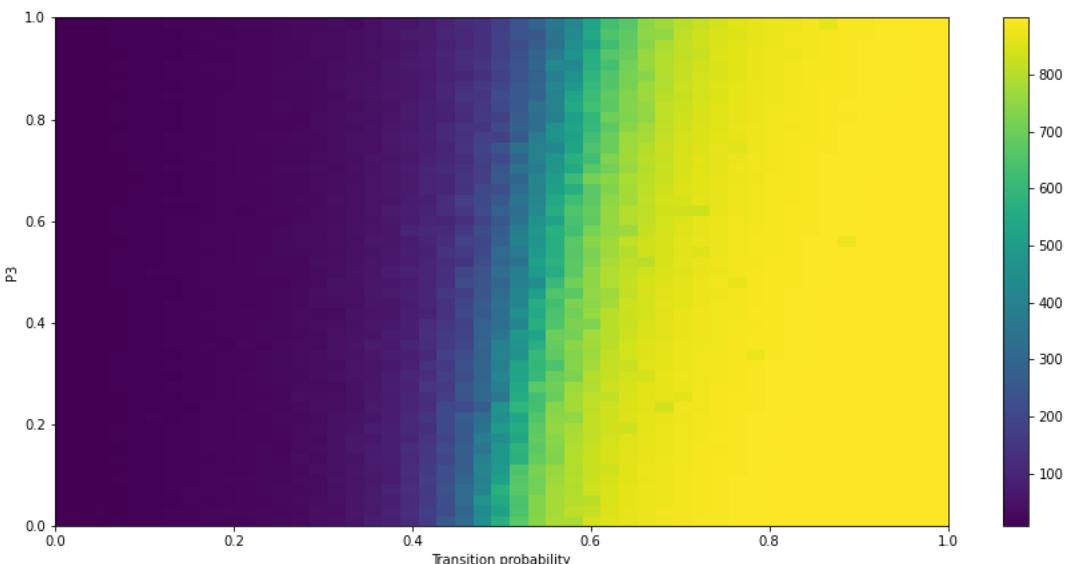
نمودار ۶



نمودار ۷

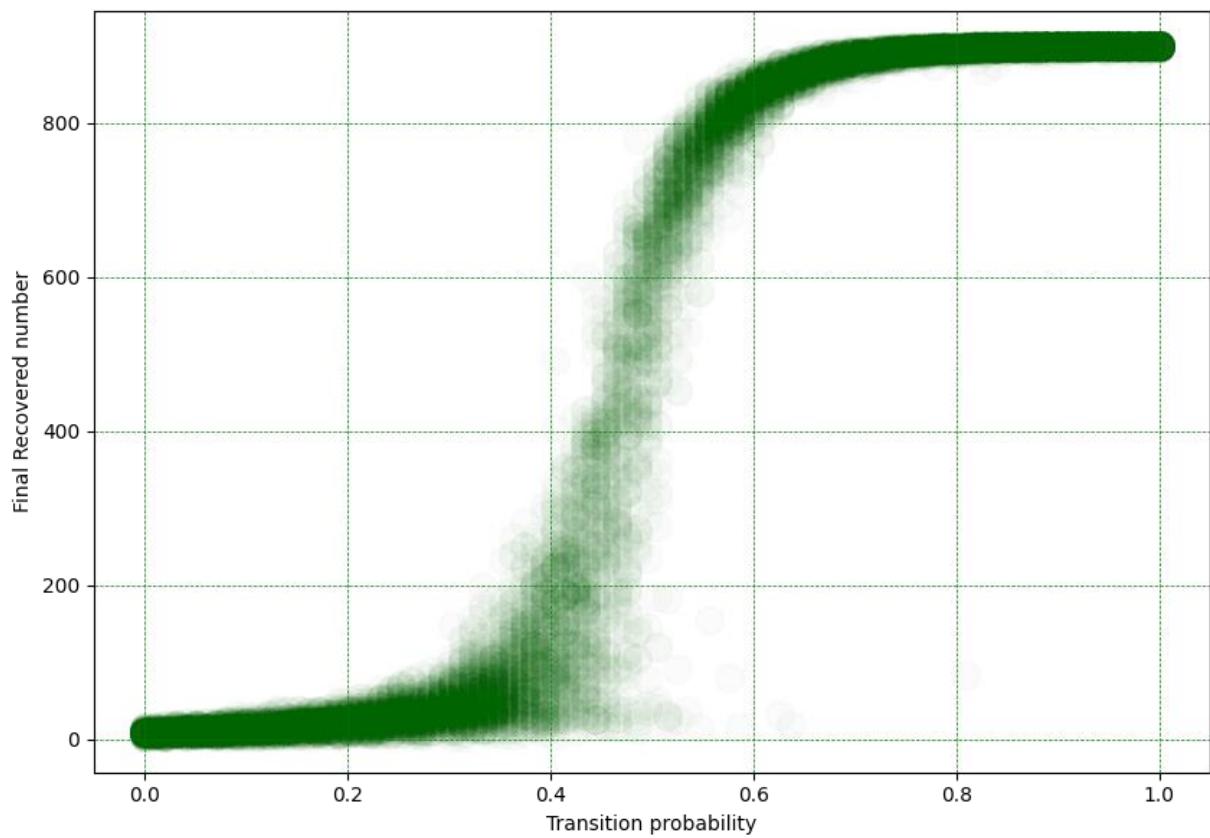
همانند بخش های قبل در شکل شش ما در چند قاب به ازای مقادیر  $P_2$  مختلف اسکتر تمام اجرا هارا رسم کرده و در یک قاب میانگین همه آن هارا رسم کرده ایم. برخلاف واکسیناسیون که تغییرات کوچک سبب تغییر قابل توجه تعداد بهبود یافتنگان نهایی می شد اینجا ما شاهد هستیم گرچه تاثیرات قابل صرف نظر کردن نیستند ولی مقدار آنها چشم گیر نیست. بسته به هزینه قرنطینه و واکسیناسیون می توان گفت احتمالاً حداقل برای بازه طولانی مدت تکیه کردن بر واکسیناسیون معقول تر و کم هزینه تر خواهد بود. برای مقدار احتمال انتقال  $0.6$  اگر ما روزانه یک درصد جمعیت را واکسینه کنیم تعداد افراد در گیر بیماری تقریباً نصف تعدادی خواهد شد که هیچ کنترلی بر بیماری وجود ندارد ولی اگر افراد همسایه با بیماران با احتمال پنجاه درصد قرنطینه شوند اثر نهایت کاهش ده درصدی افراد در گیر بیماری خواهد بود. اگر به نقاط آستانه نمودار شش و هفت نگاه کنیم طی تغییرات  $P_2$  احتمال انتقال آستانه و بحرانی از بعد از  $0.3$  به بعد از  $0.4$  تغییر می کند نهایتاً.

برای بخش ج ما علاوه بر قرنطینه مستقیم افراد در تماس بیماران افرادی که با این اشخاص نیز در تماس بودند را نیز قرنطینه می کنیم و افراد قرنطینه شده را در دو دسته قرنطینه مستقیم و قرنطینه غیر مستقیم قرار می دهیم. سبک نمودارهای ما همانند بخش های پیش است و تعداد پارامترهای ما در نمودار کانتور پنجاه در پنجاه به ازای مقادیر احتمال انتقال و  $P_3$  بین صفر تا یک است و تعداد اجراءها به ازای هر جفت پارامتر پنجاه عدد است. برای سایر نمودارها به ازای هر مقدار  $P_3$  صد عدد احتمال انتقال بین صفر تا یک در نظر گرفته شده و هر پارامتر را صد بار اجرا کرده ایم. نمودار اسکتر تمام اجرا هارا در چند قاب برای هر پارامتر و نمودار میانگین همگی آن هارا در یک قاب نشان می دهد.

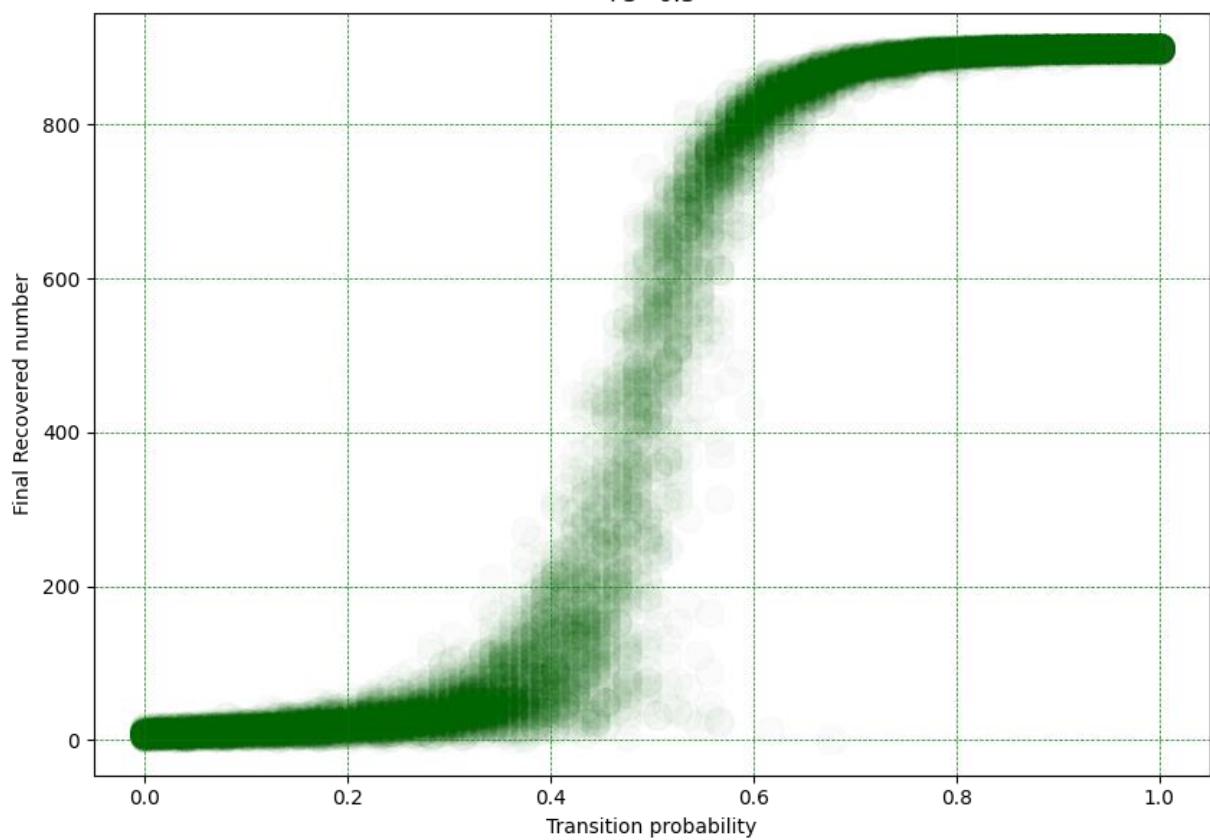


نمودار ۸

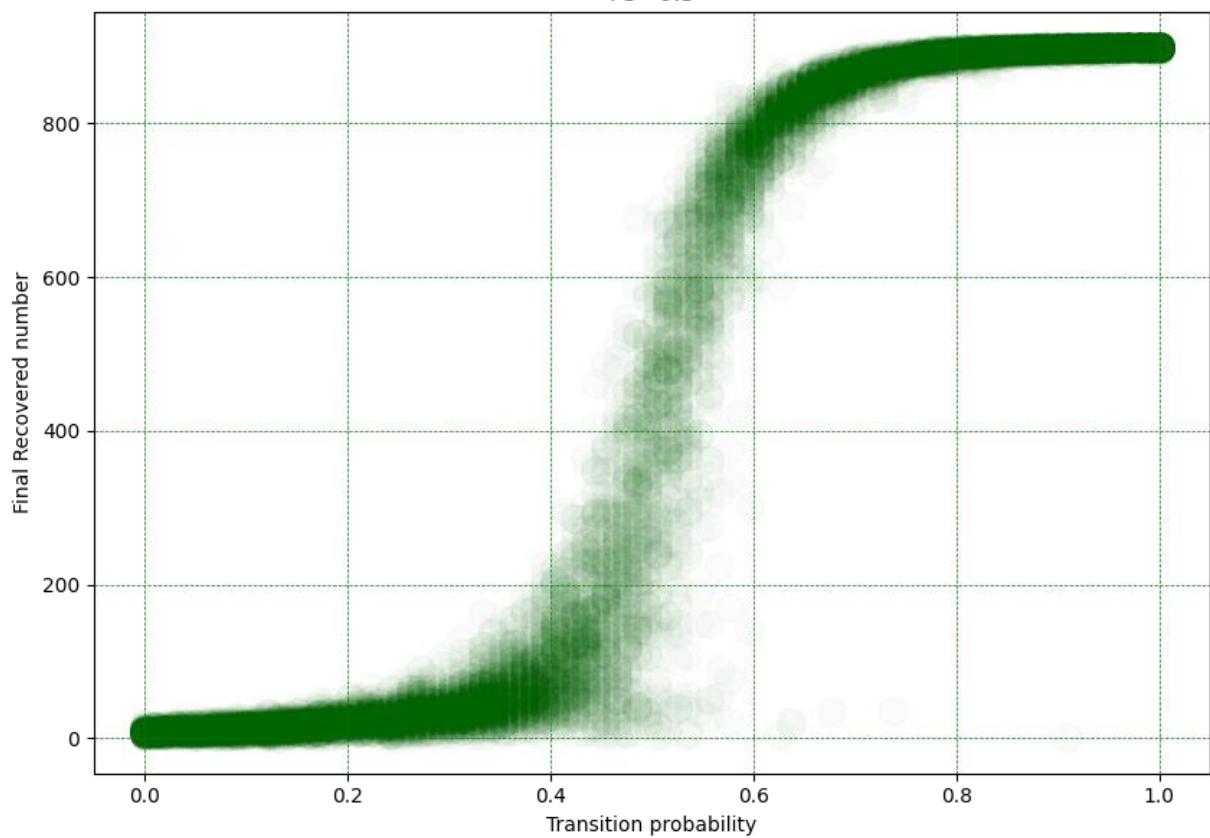
P3=0.1



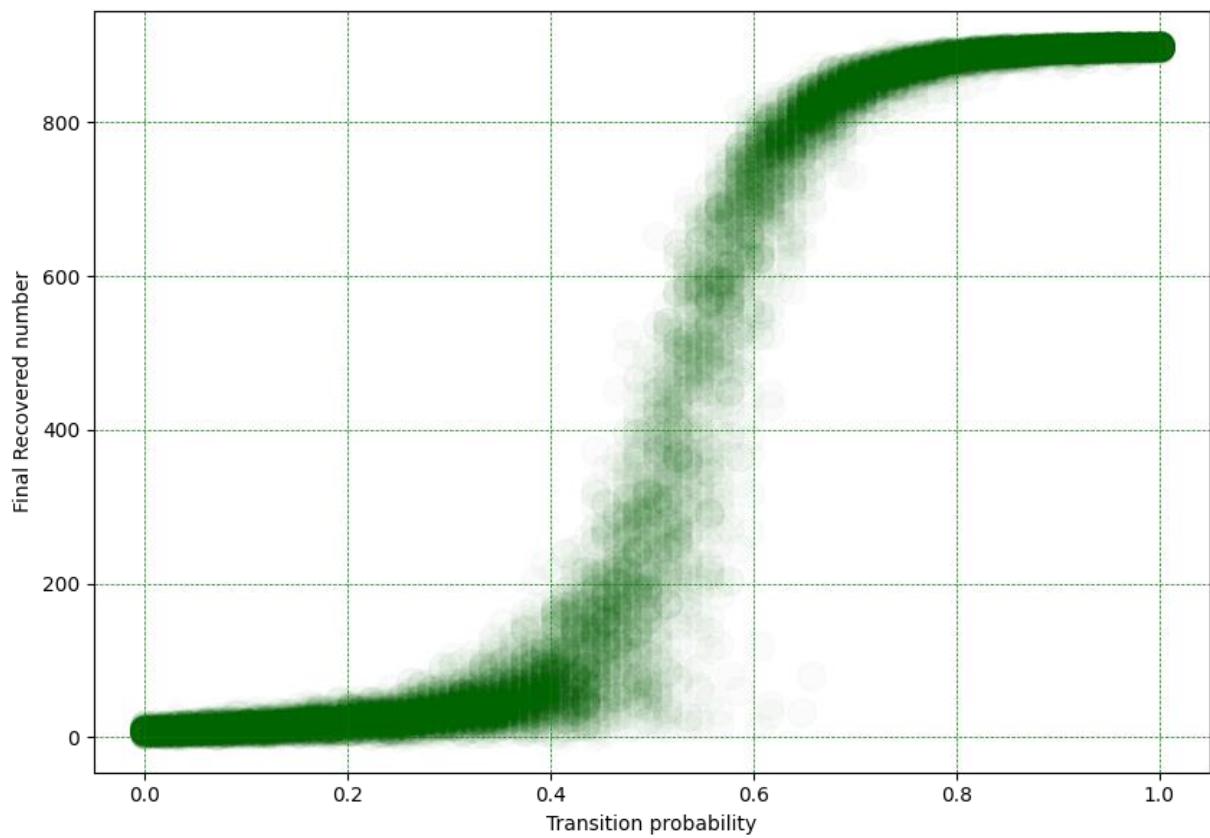
P3=0.3

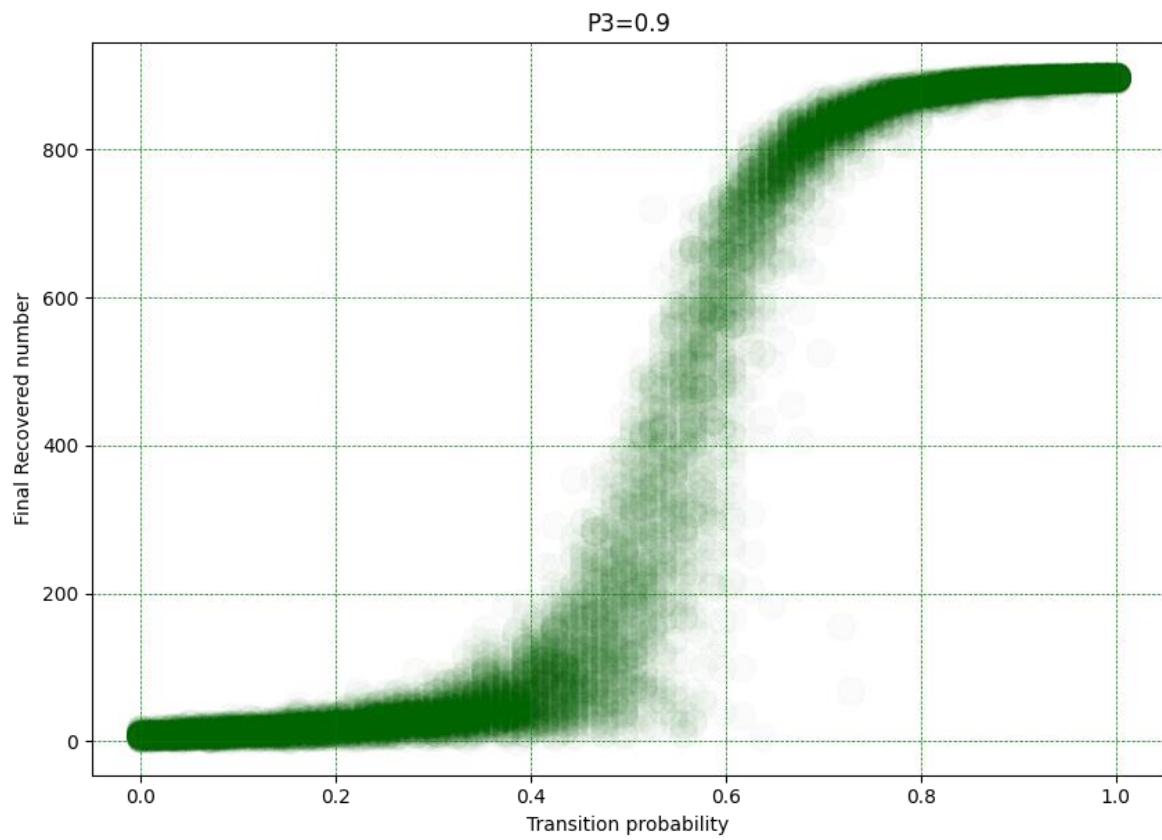


P3=0.5

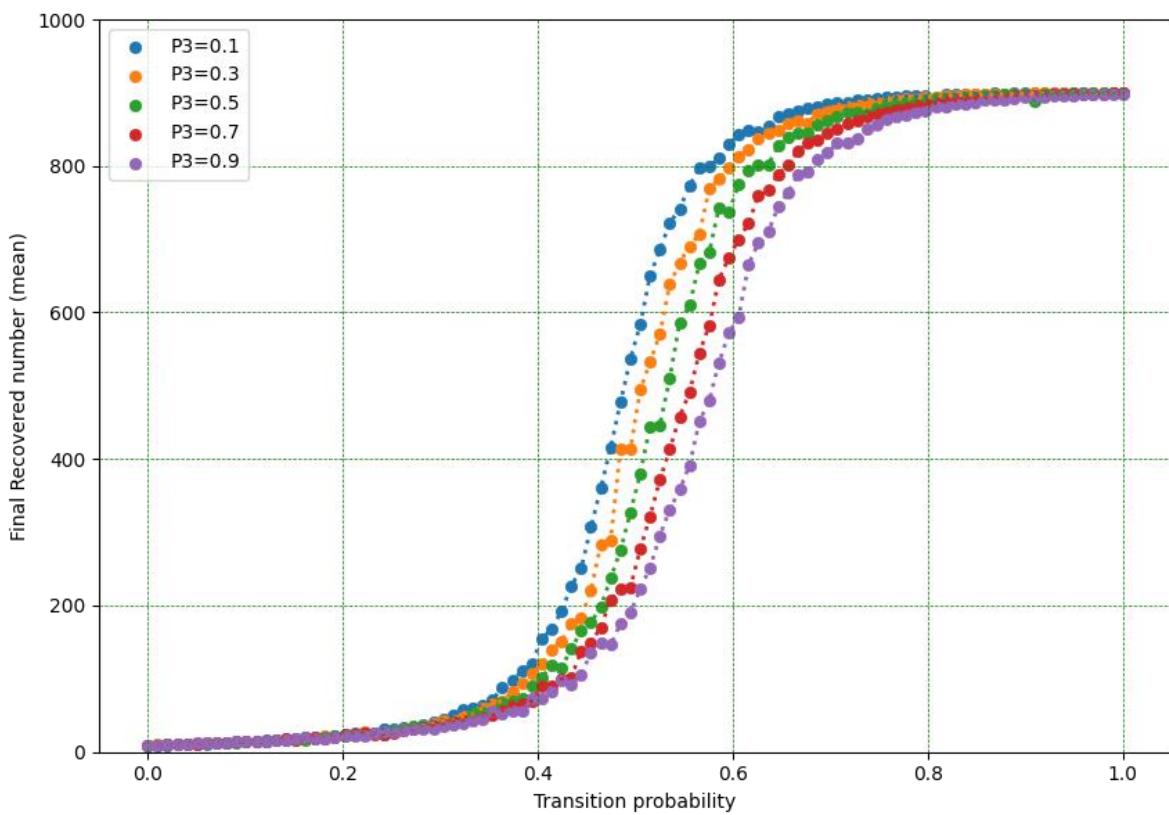


P3=0.7





نمودار ۹

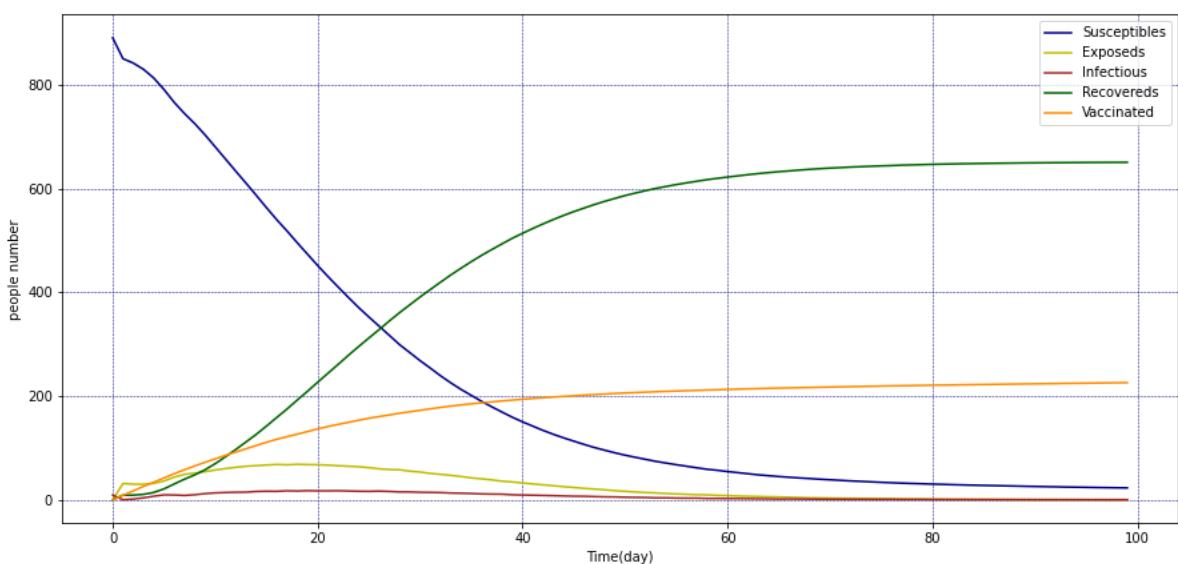


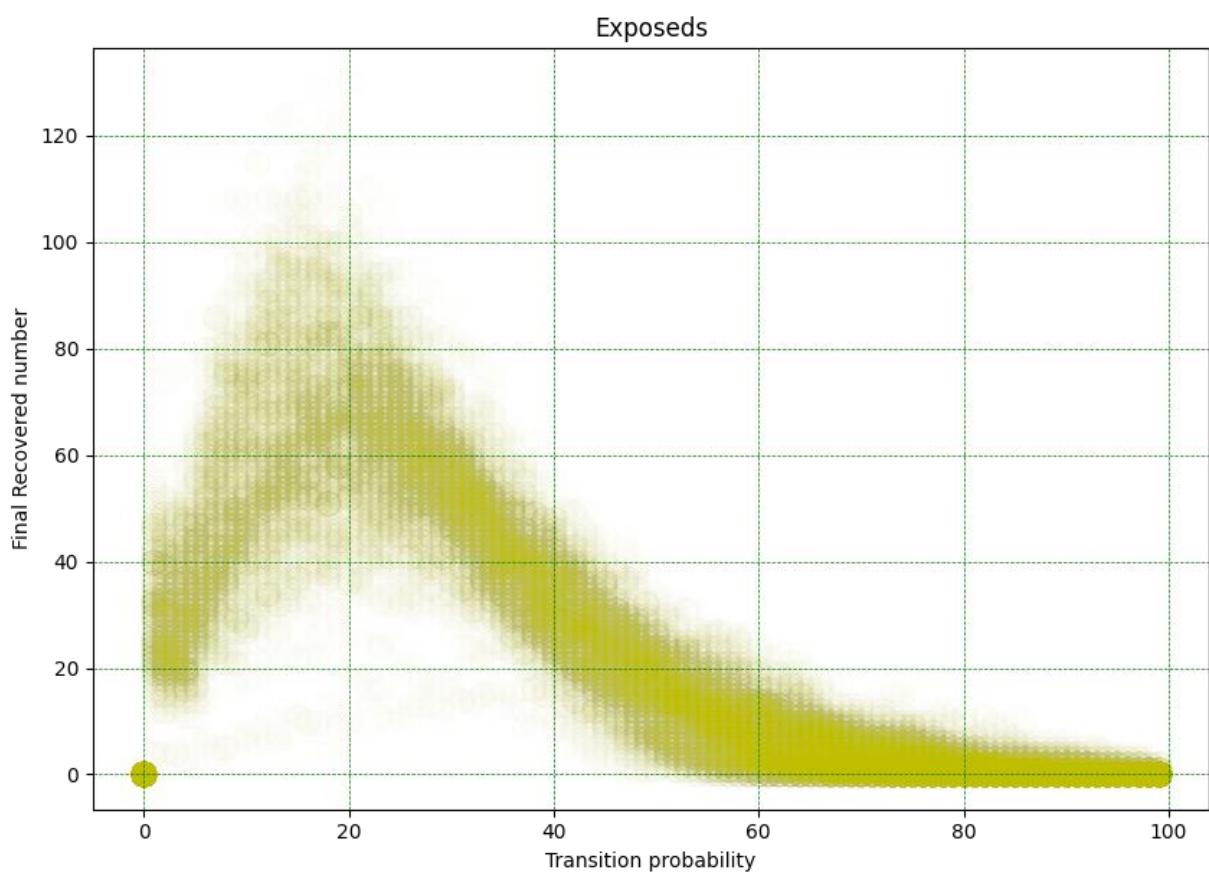
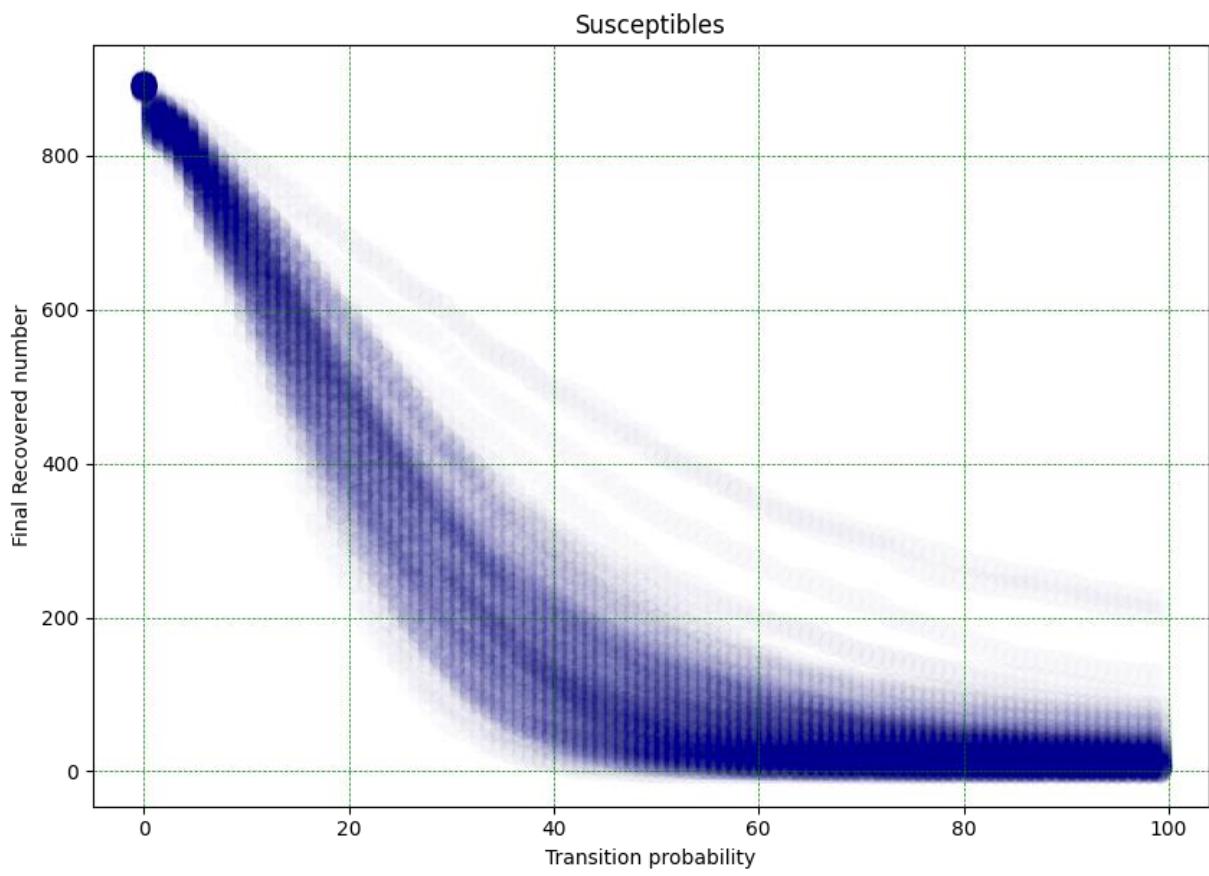
نمودار ۱۰

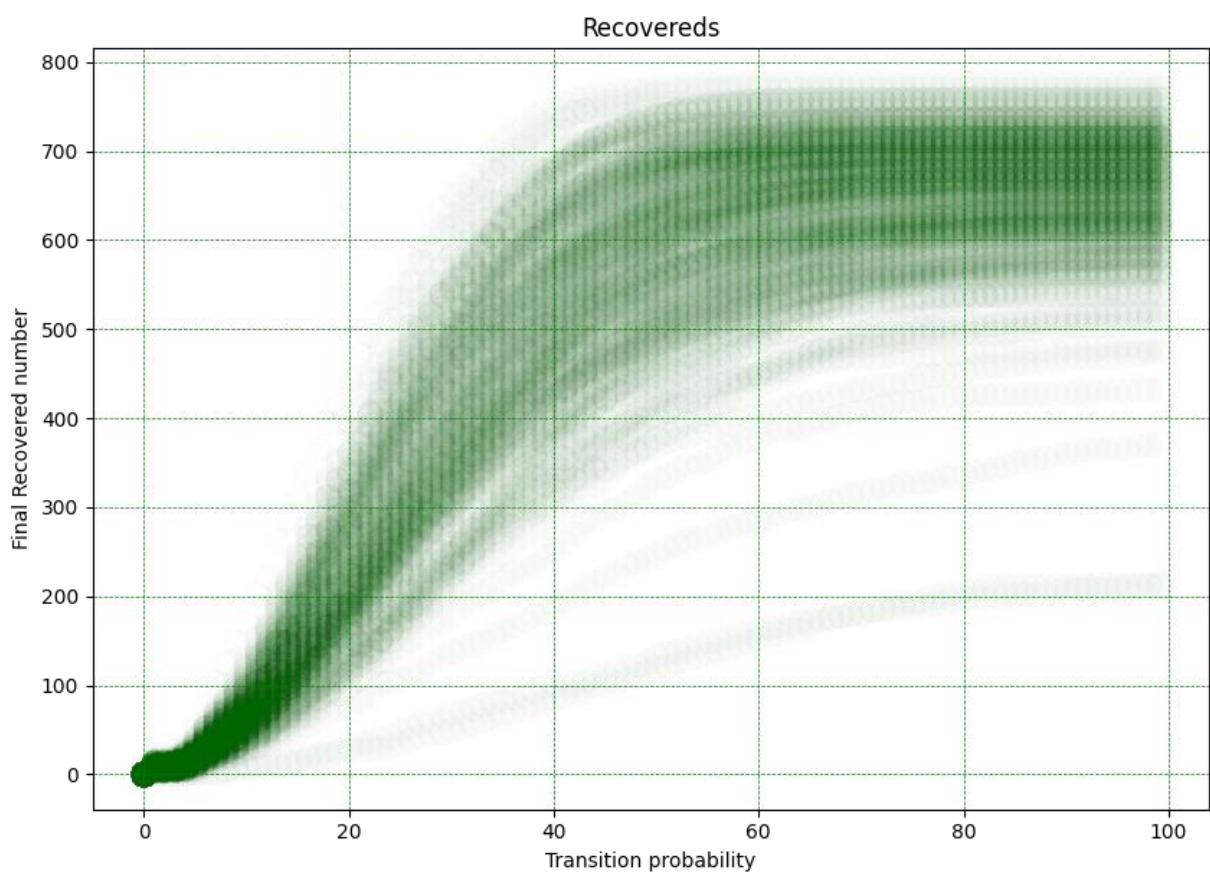
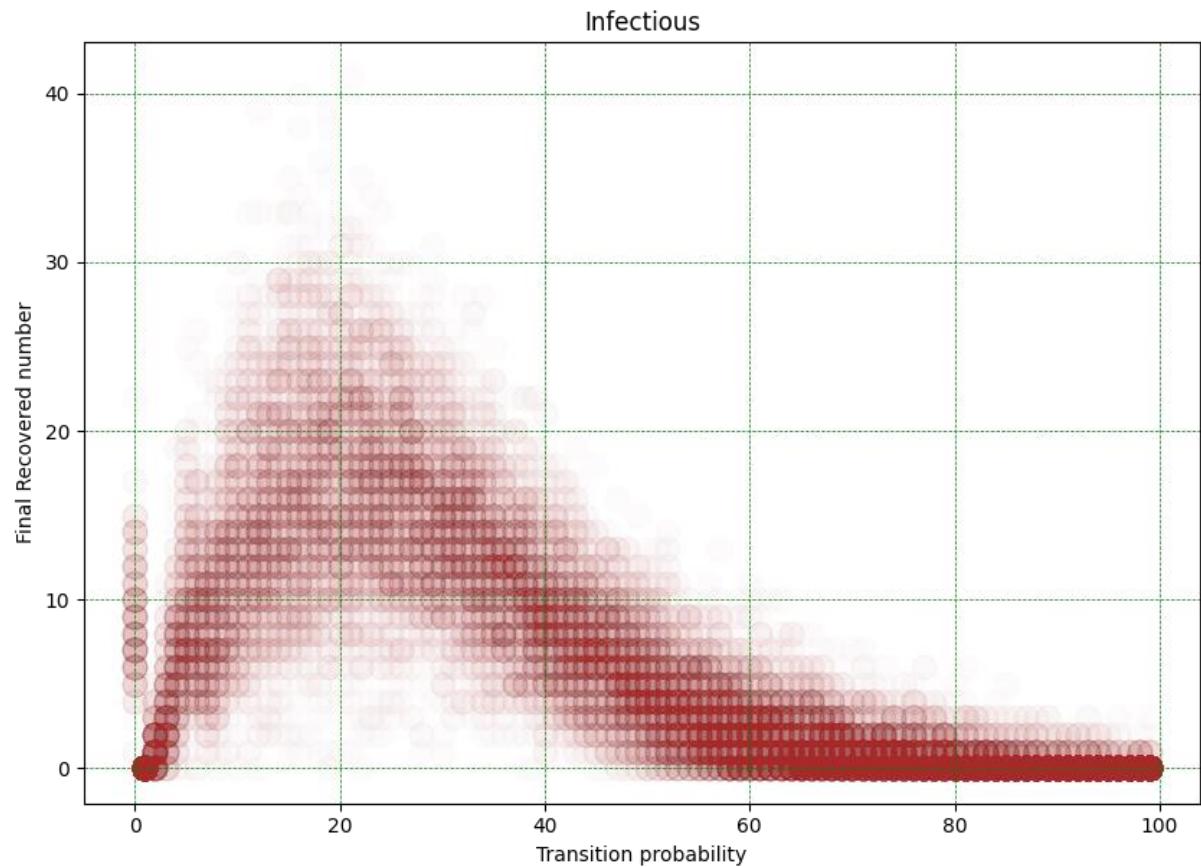
همانطور که قابل مشاهده است تفاوت قابل درنظر گرفتنی میان نتایج این نمودارها با نتایج نمودار قبلی وجود ندارد. تغییرات نقاط بحرانی و محل قرارگیری شان همگی شبیه به حالتی است که ما قرنطینه طبقه‌بندی شده نداشته‌ایم. منطقی نیز است زیرا احتمال قرنطینه شدن غیر مستقیم نصف حالت مستقیم است و اثر آن کاهش بیست و پنج درصدی احتمال انتقال است. نمی‌توان با چنین سناریو انتظار تغییر جدی داشت. در هر حال می‌بینیم که اثر P3 به صورت خطی و مقدار اثر آن بر رو بهبود یافتن نهایی کم است. در ضمن جایه‌جایی نقطه بحرانی در ابتدا که بعد از احتمال انتقال  $30\%$  است در قاب نهایی نمودار  $9$  کمتر از یک دهم جایه‌جایی است. اثر کم پارامتر P3 را در نمودار  $10$  نیز می‌توان مشاهده کرد.

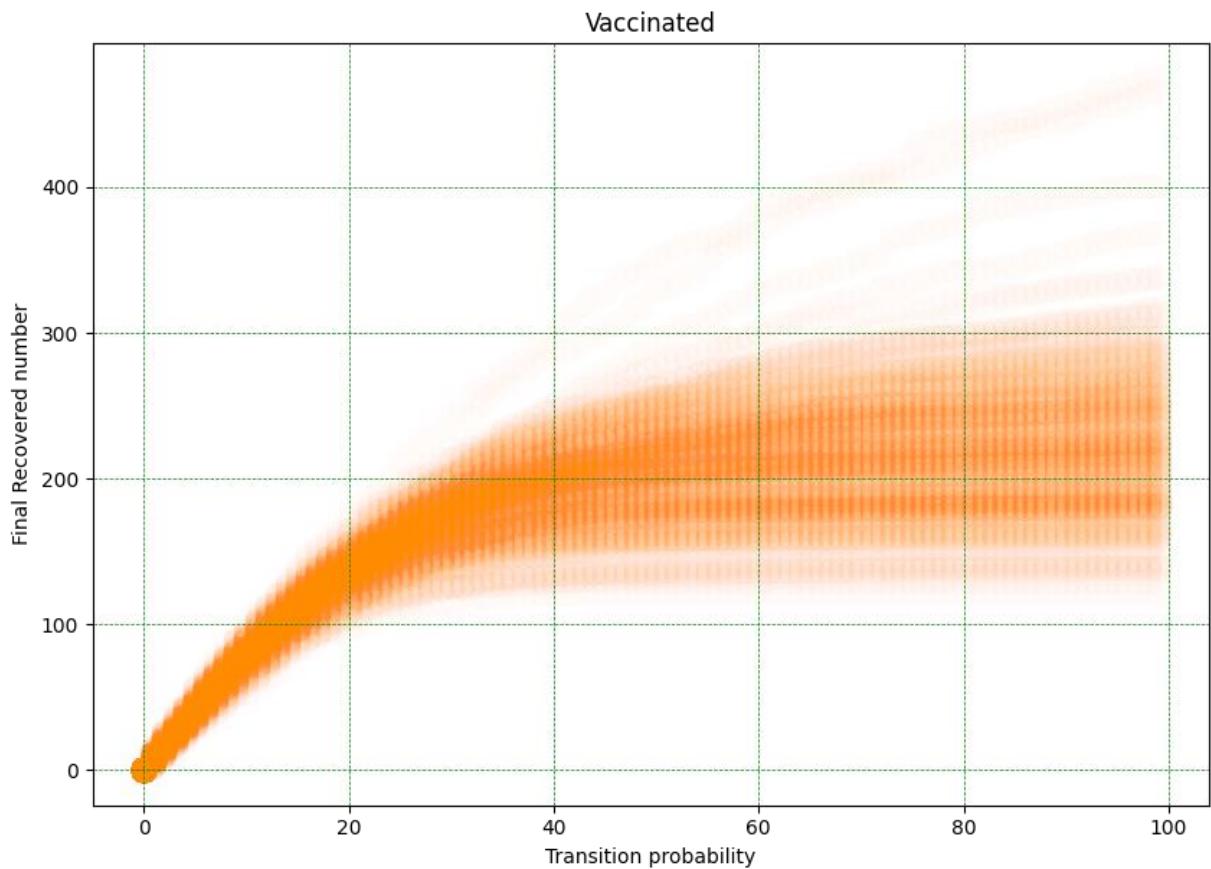
هم‌اکنون اقدام به رسم نمودار تاریخچه زمانی سناریوهای فوق می‌کنیم. توجه کنید احتمال انتقال برای تمام اجراء  $0.9$  درنظر گرفته شده در ضمن برای سناریو واکسیناسیون روزانه یک درصد جامعه مستعد بیماری را واکسینه می‌کنیم. برای قرنطینه نیز مقادیر P2 و P3 را برابر نیم قرار داده. برای هر سناریو دینامیک را دویست بار اجرا کرده و نمودار اسکریپت تمام داده‌ها و میانگین آن‌ها رسم می‌کنیم.

نمودار تاریخچه زمانی سناریو الف:



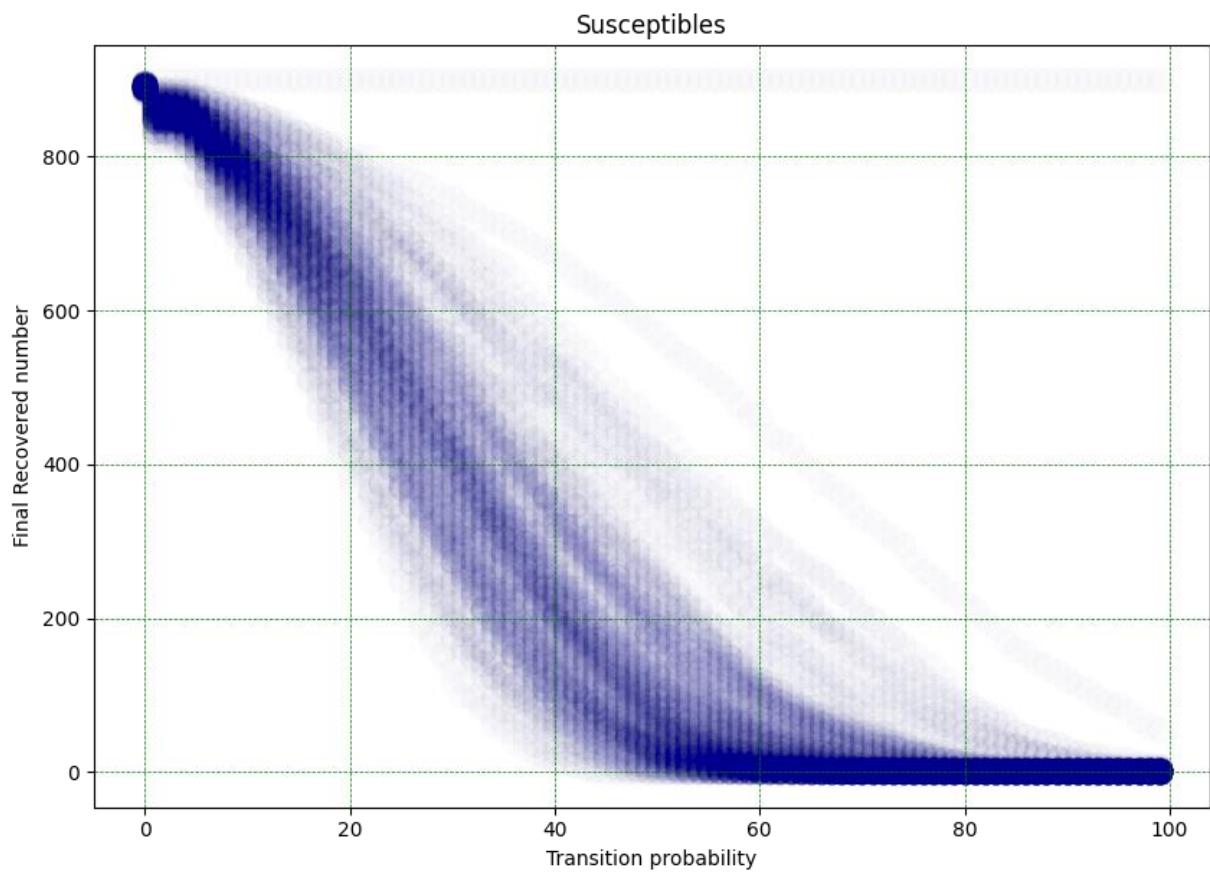
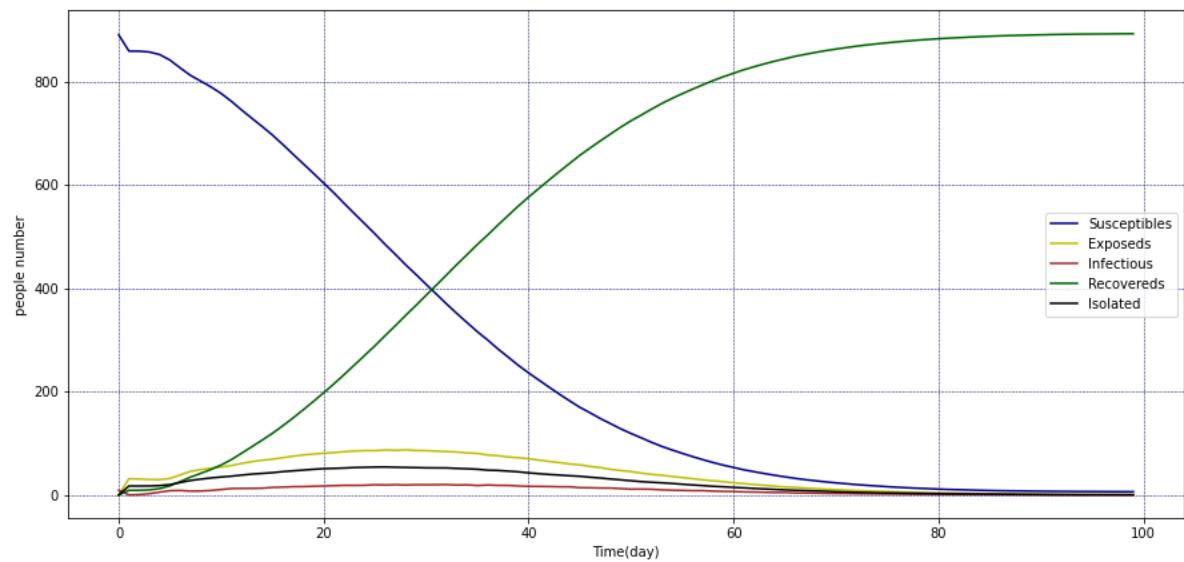


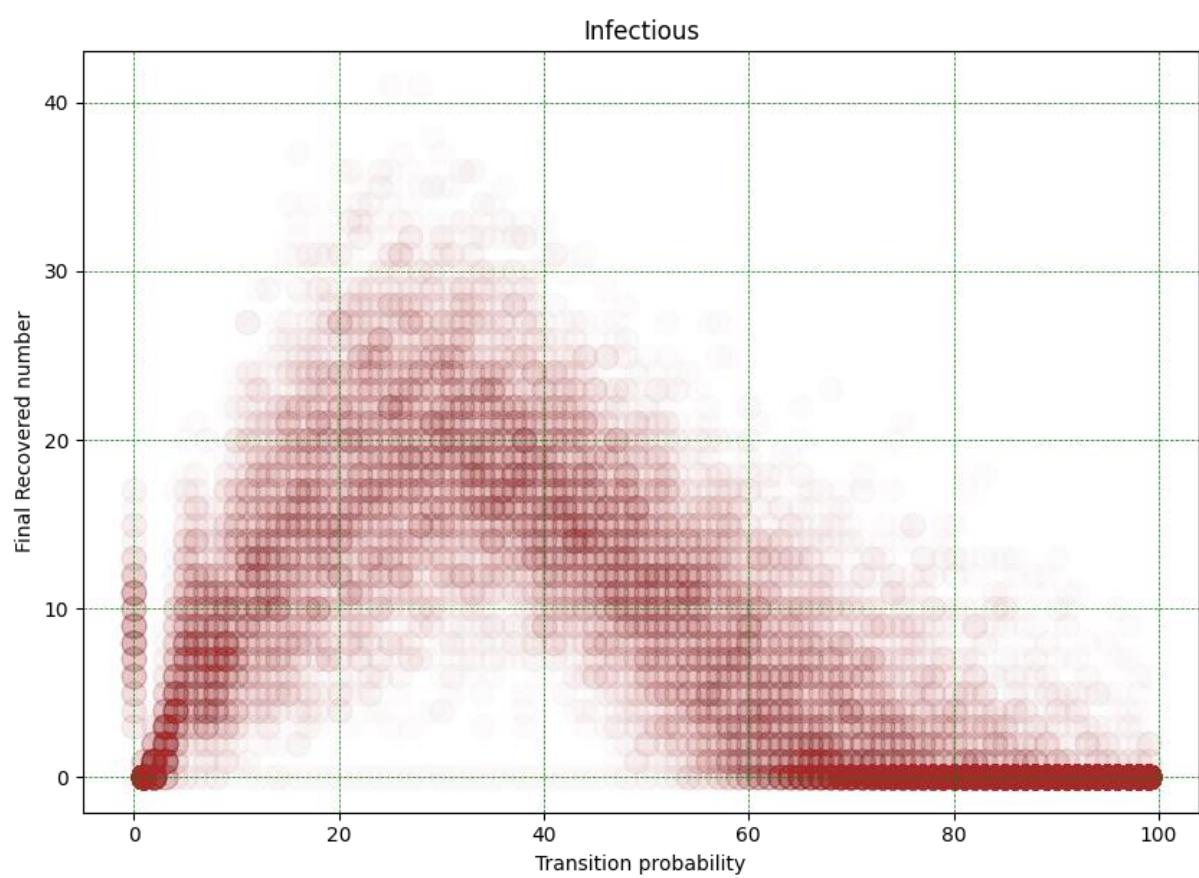
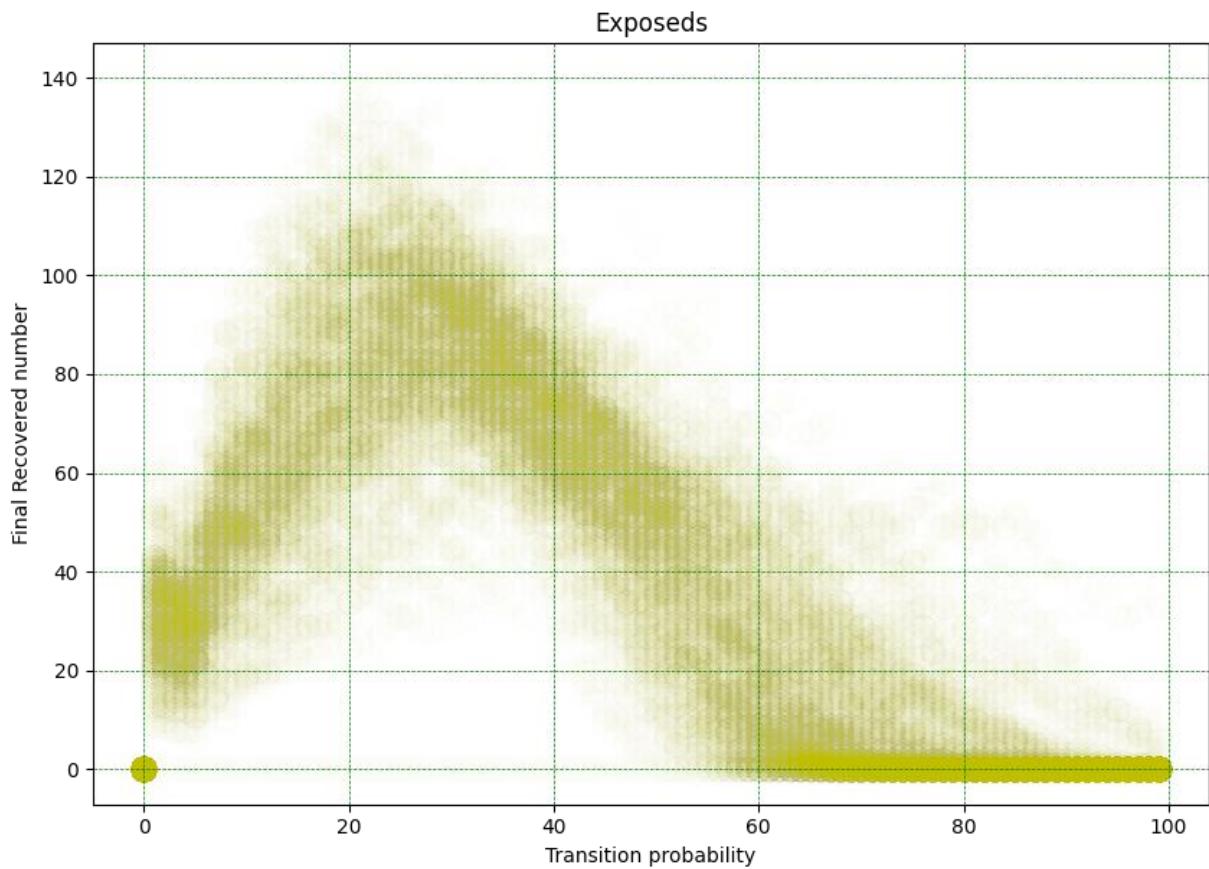


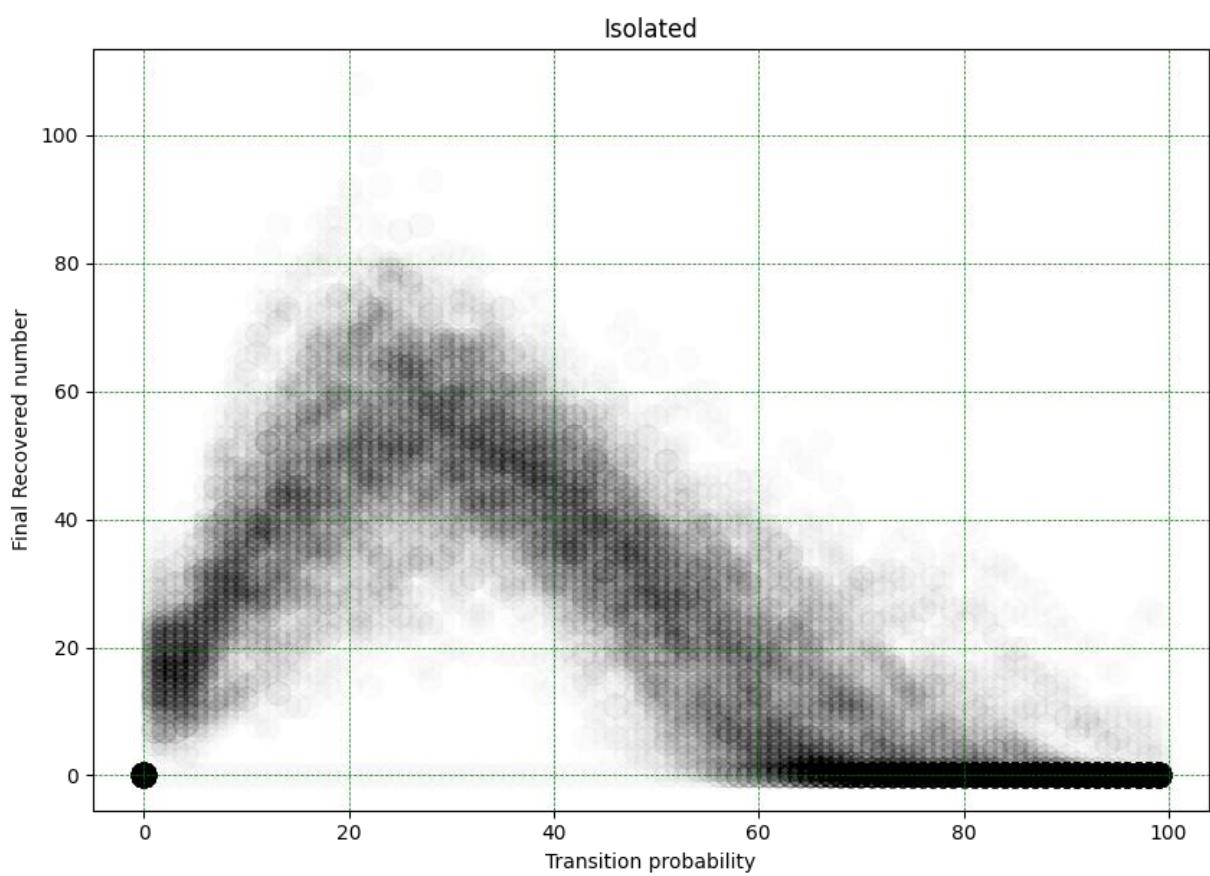
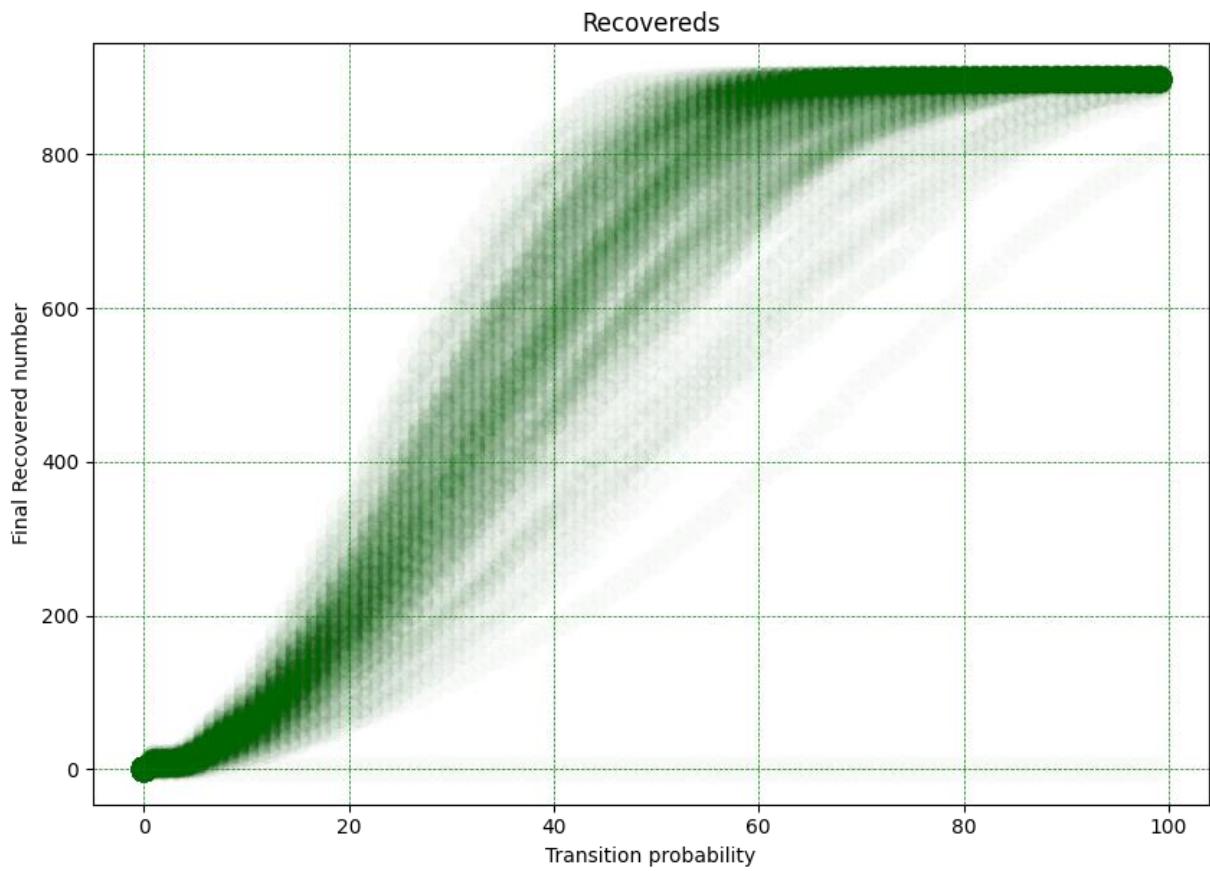


همانطور که قابل مشاهده است به علت نبود ورودی به دسته  $I$  در روز اول تعداد این افراد سقوط شدیدی می‌کند. همچنین چند روز اول بیشترین نرخ خروج از دسته  $S$  وجود دارد و تعداد افراد دسته  $E$  و  $R$  با رشد شدیدی روبرو هستند. علت این مسئله تاخیر زمانی میان ورود افراد از دسته  $S$  به دسته  $I$  به علت وجود دوره نهان پنج روزه است. تعداد افراد واکسینه شده نیز به صورت لگاریتمی افزایش پیدا می‌کند به این صورت که شب افزایش این دسته در ابتدا بیشترین مقدار و به تدریج کاهش یافته. در ضمن مقداری دلیلی بین قله دسته  $E$  و  $I$  وجود دارد که این مقدار حدود چند روز و نزدیک ۵ روز است. به علت نرخ بهبود بالا افراد دسته‌های  $E$  و  $I$  هیچ وقت درصد زیادی از جمعیت را تشکیل نمی‌دهند. ولی در طول زمان باعث افزایش درگیری بیشتر جامعه با بیماری می‌شوند.

## نمودار تاریخچه زمانی سناریو ب:

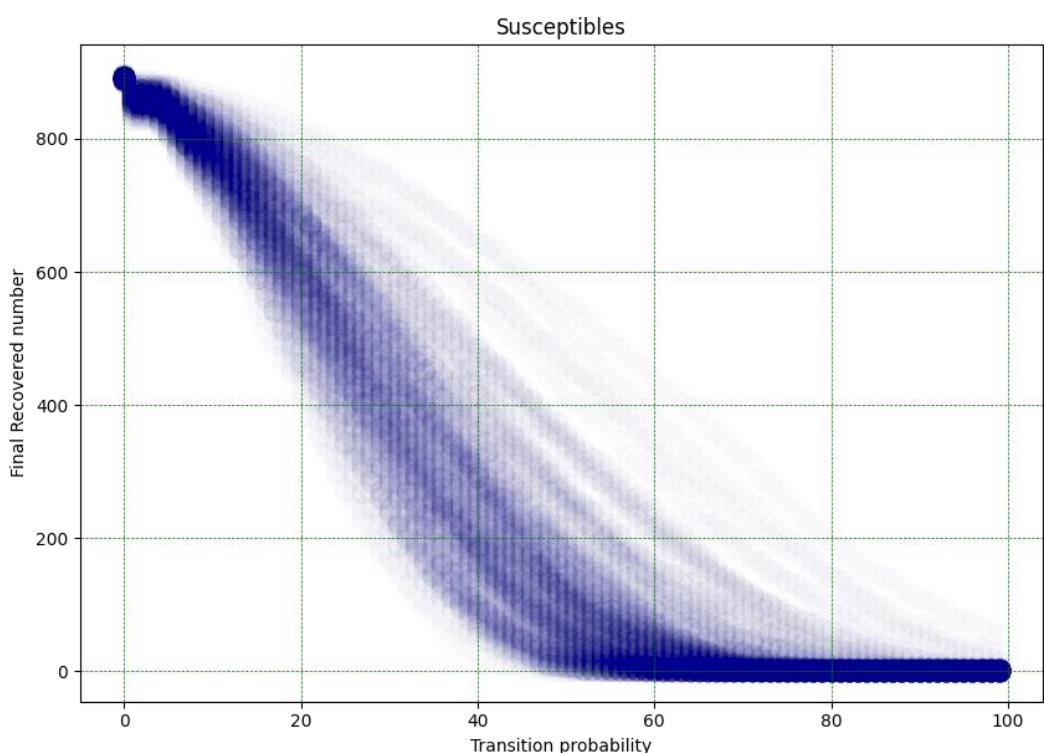
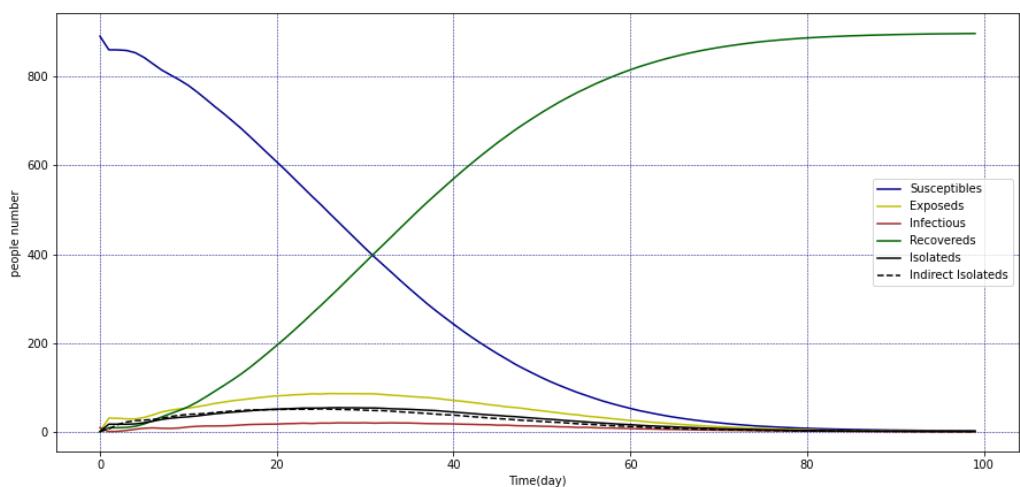


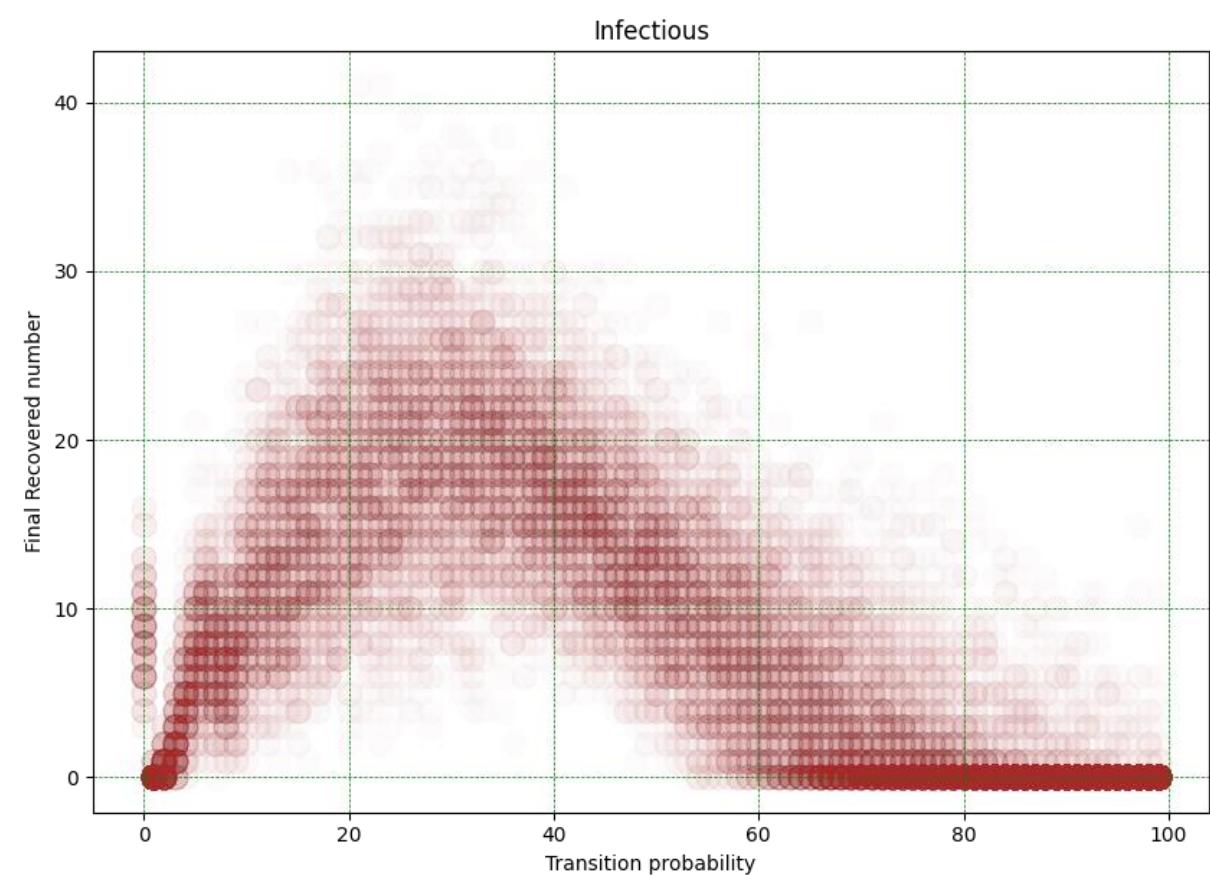
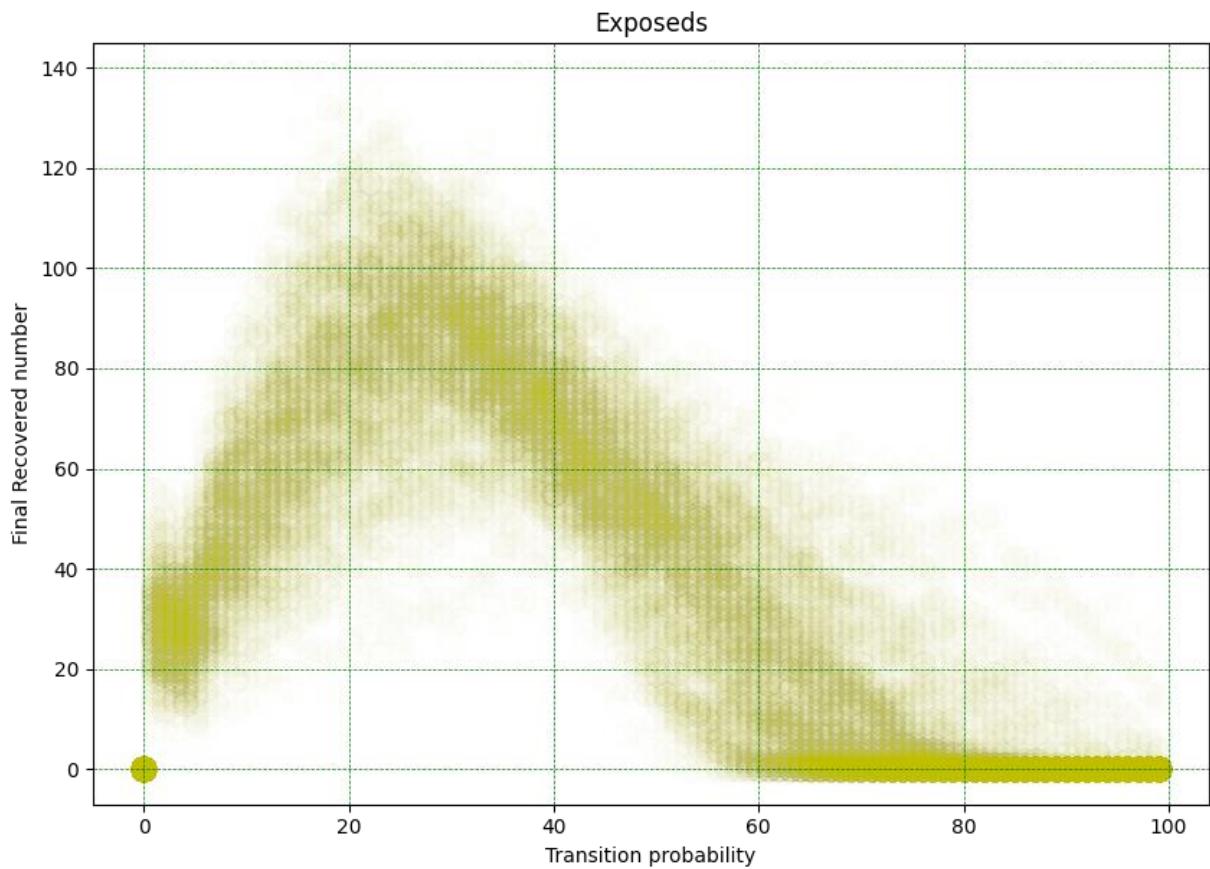




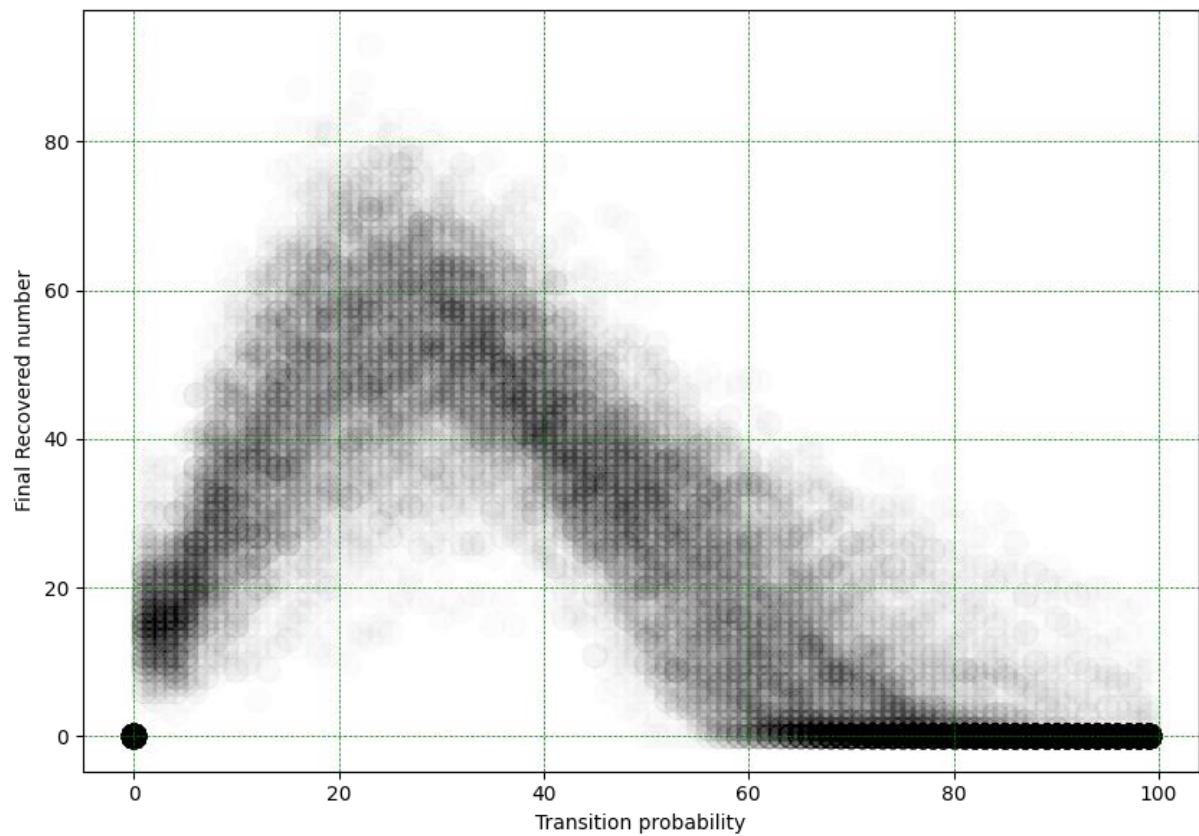
در این نمودار کلیات تغییرات نیز همانند سناریو قبل بوده. تمام افت و خیزها برای دسته‌های S و E و I و R تکرار شده است با همان شمايل قبلی فقط این نکته قابل اضافه کردن است که از آنجا که تعداد افراد قرنطینه شده وابسته به تعداد افراد دسته I است پس تعداد افراد قرنطینه شده نیز نتوانسته در هیچ بازه‌ای درصد خیلی خوبی از جامعه را بگیرد. و اینکه تعداد این افراد تقریباً دوبرابر افراد دسته I است در بیشتر بازه و این نیز قابل پیش‌بینی بوده زیرا به ازای هر فرد بیمار در بیشتر بازه بین سه الی چهار همسایه قابل قرنطینه شدن وجود داشته و احتمال قرنطینه شدن این افراد نیز یک دوم بوده پس حدوداً تعداد افراد قرنطینه شده باید دوبرابر افراد بیمار باشد.

نمودار سناریو ج:

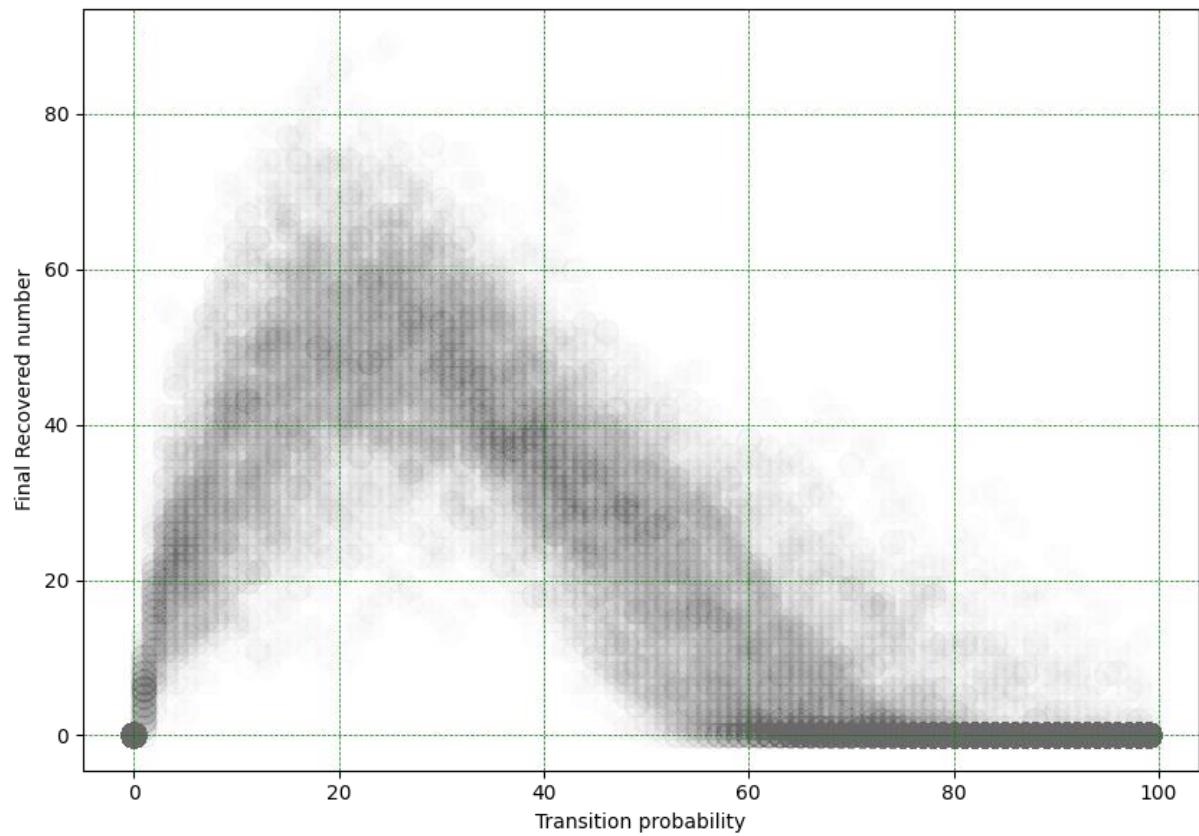


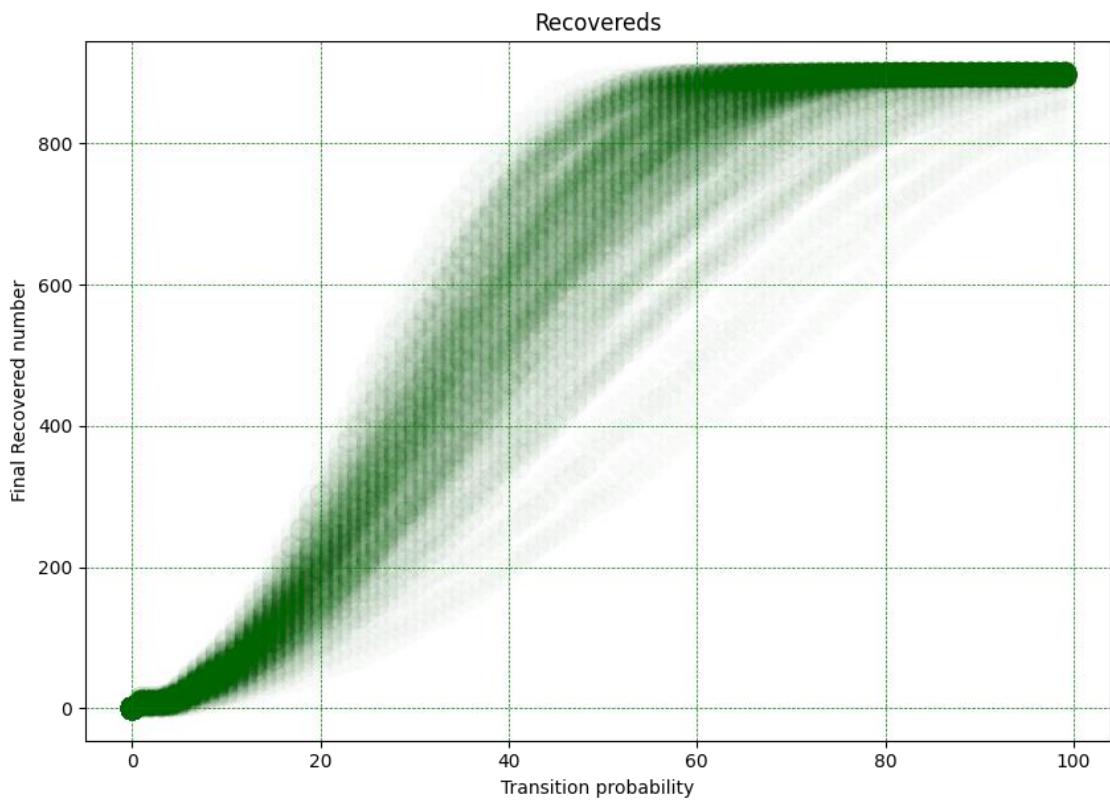


Isolates



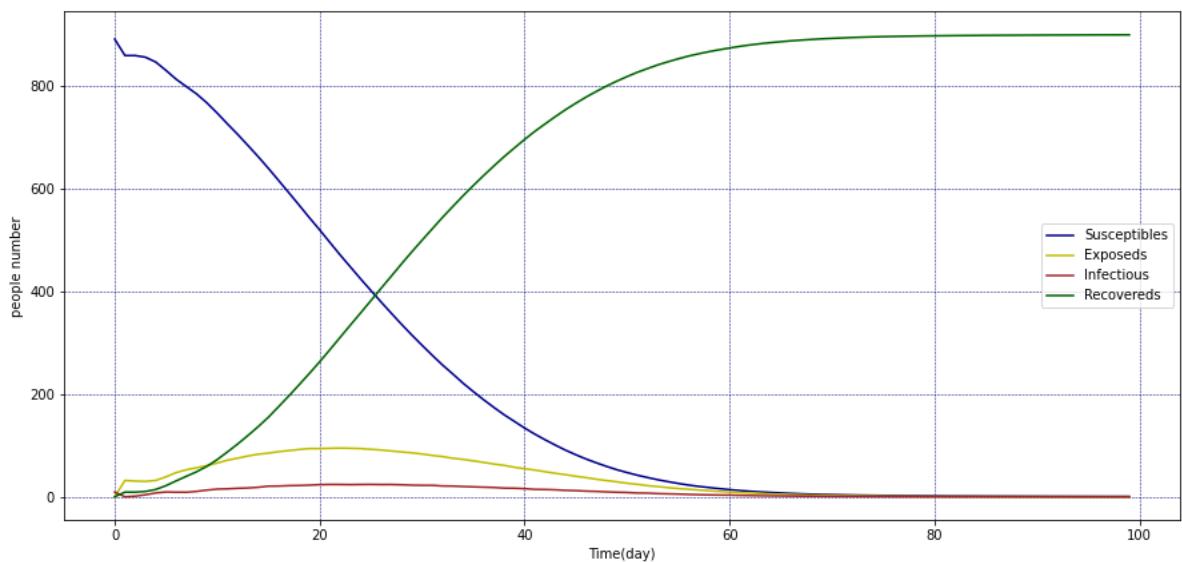
Indirect Isolates

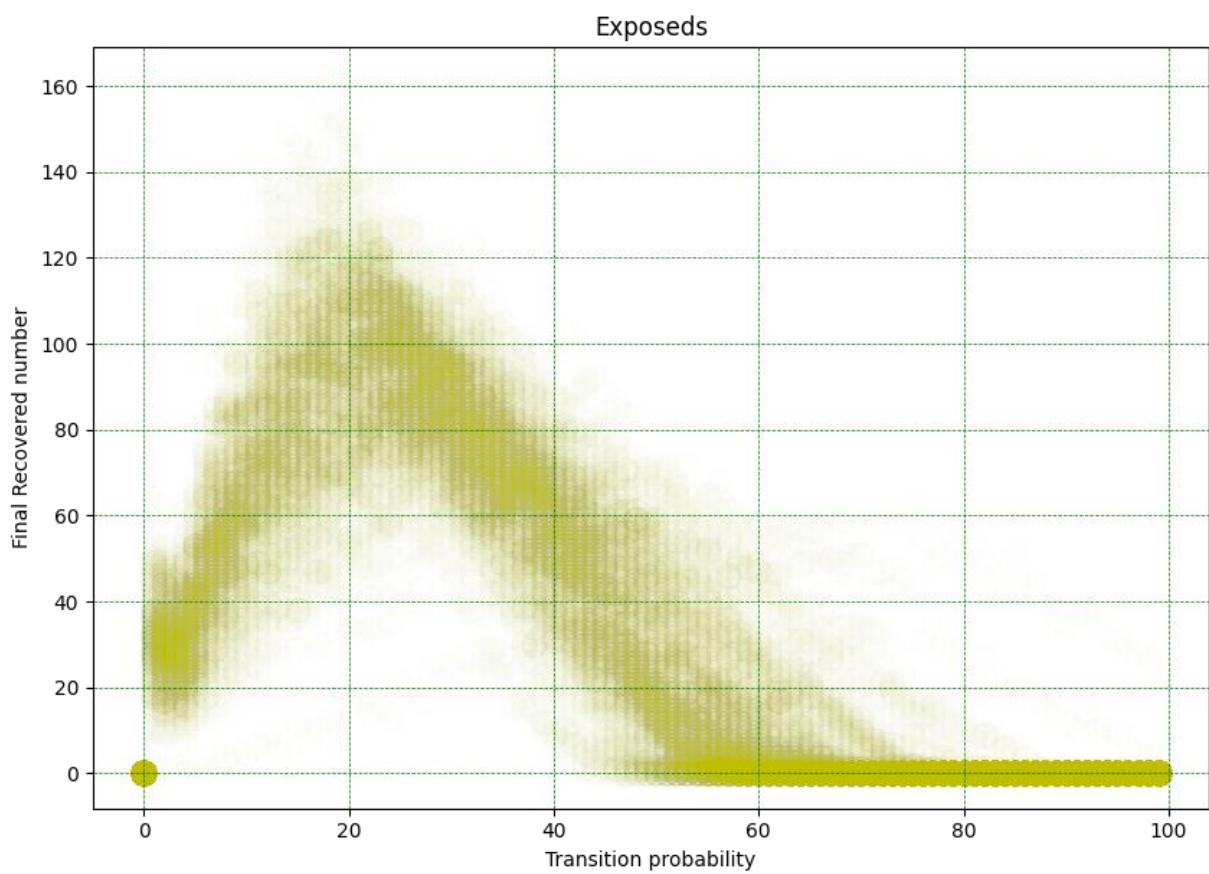
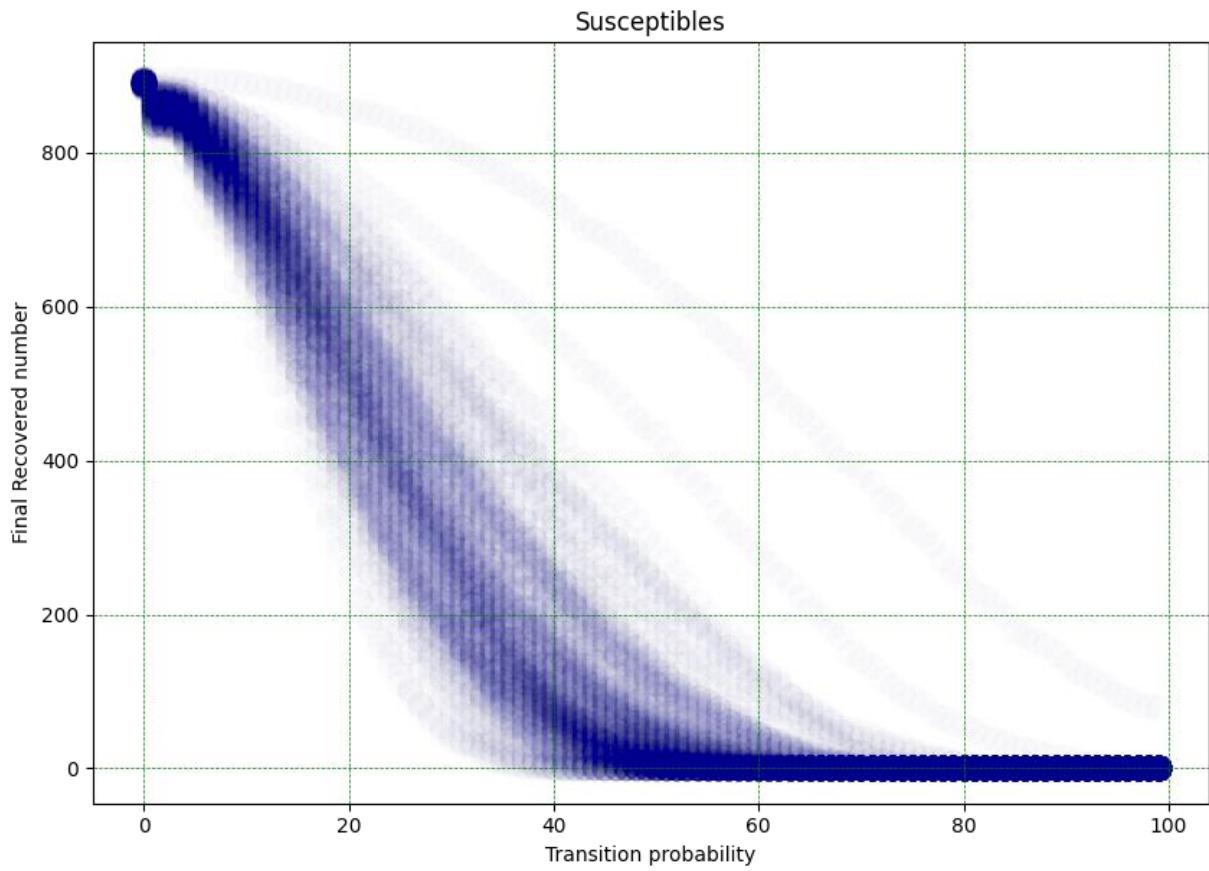




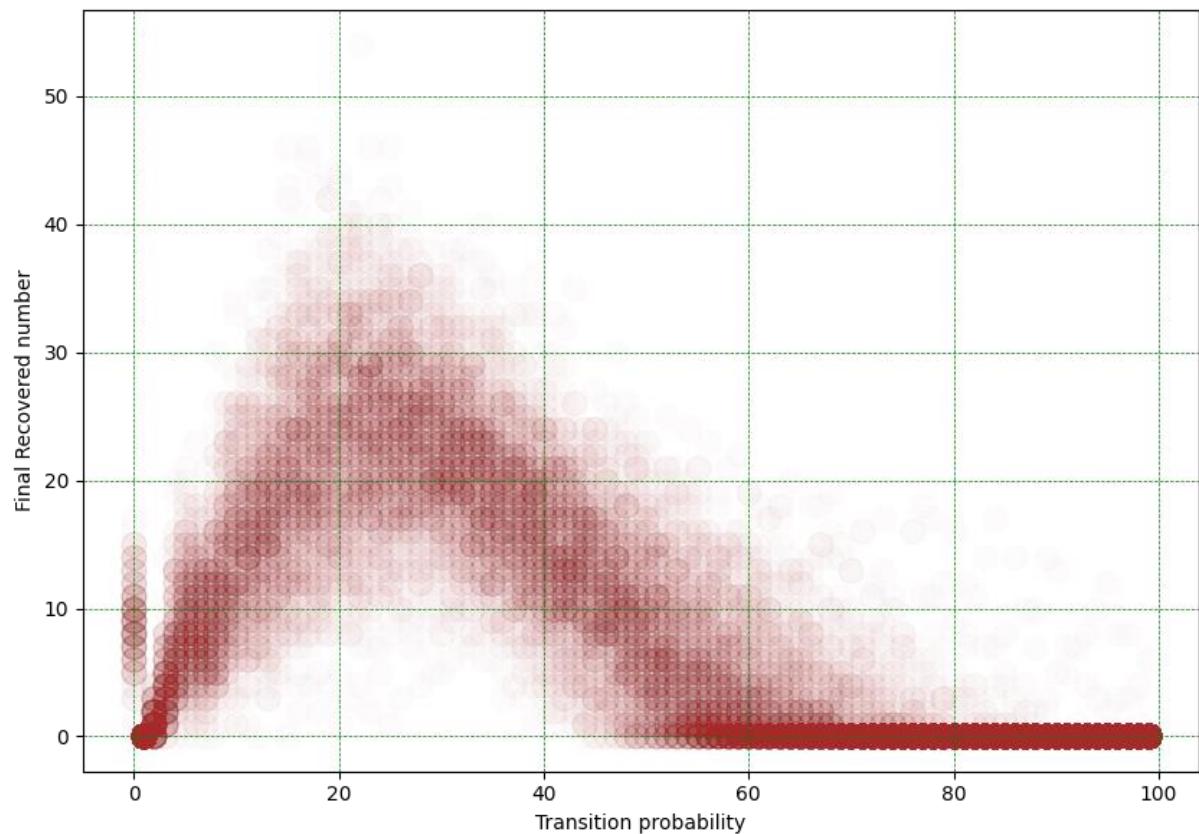
این سناریو نیز رفتارهای نمودار سناریو قبل را با دقت بسیار خوبی تکرار کرده است. تمام نکات مشابها اینجا نیز قابل استفاده‌اند این نکته نیز قابل اضافه کردن است که در بیشتر مسیر با دقت خوبی تعداد افراد قرنطینه شده به طور مستقیم با غیر مستقیم برابری می‌کند زیرا در بیشتر مسیر در اطراف هر خانه قرنطینه شده حدودا ۴ خانه با قابلیت قرنطینه شدن وجود دارد و این خانه‌ها با احتمال نصف ۰.۵ قرنطینه غیر مستقیم می‌شوند که یعنی به طور متوسط به ازای هر فرد قرنطینه شده مستقیم یک فرد نیز غیر مستقیم قرنطینه می‌شود. سایر افت و خیز‌ها مشابه حالات قبل و با دلایل قبلی رخ می‌دهد.

نمودارهای شبیه‌سازی SEIR خالی:

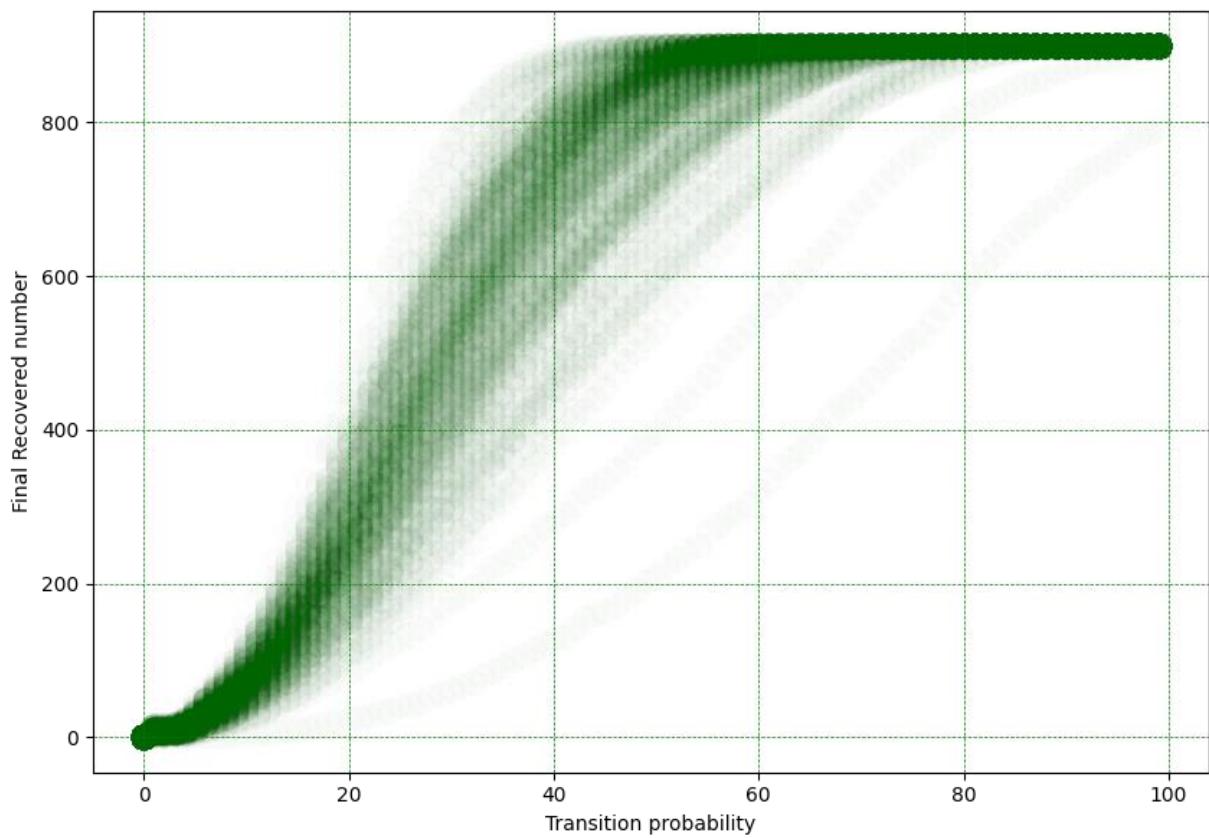




Infectious



Recovereds

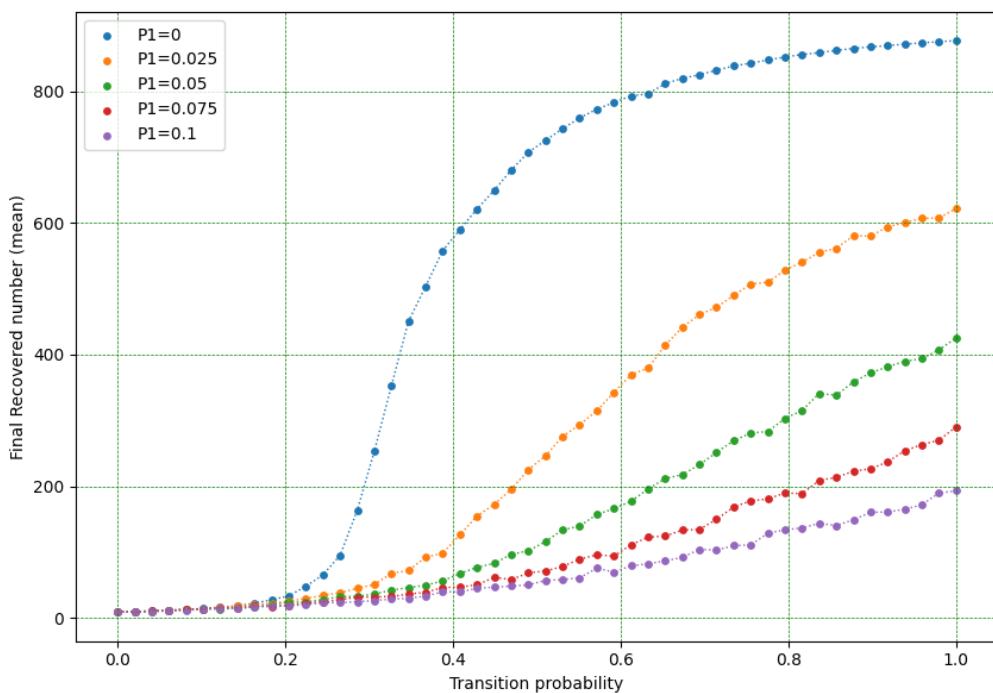
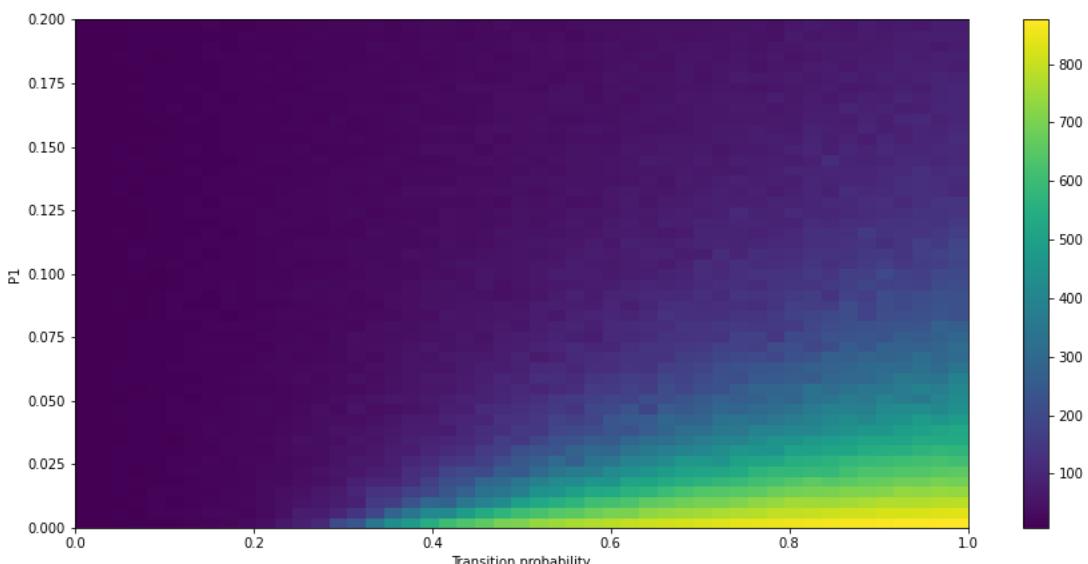


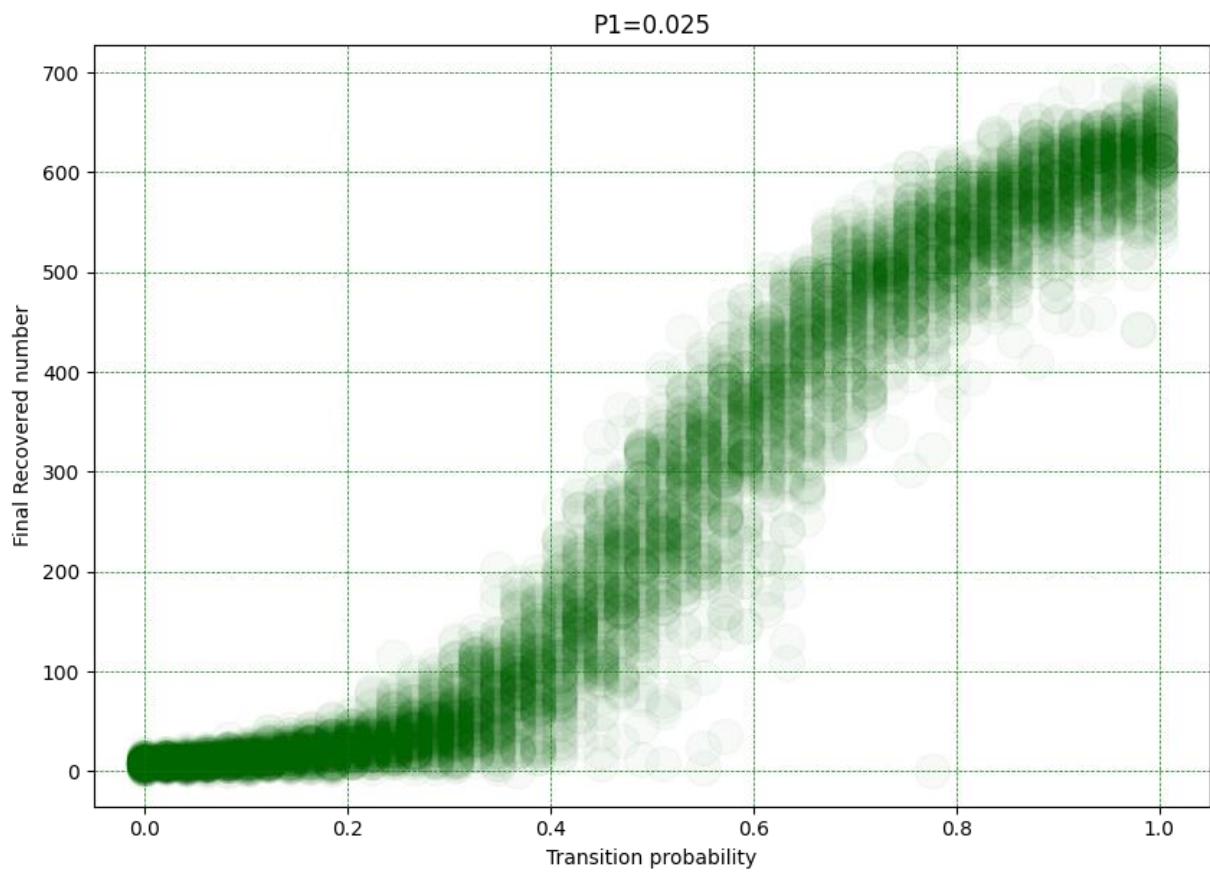
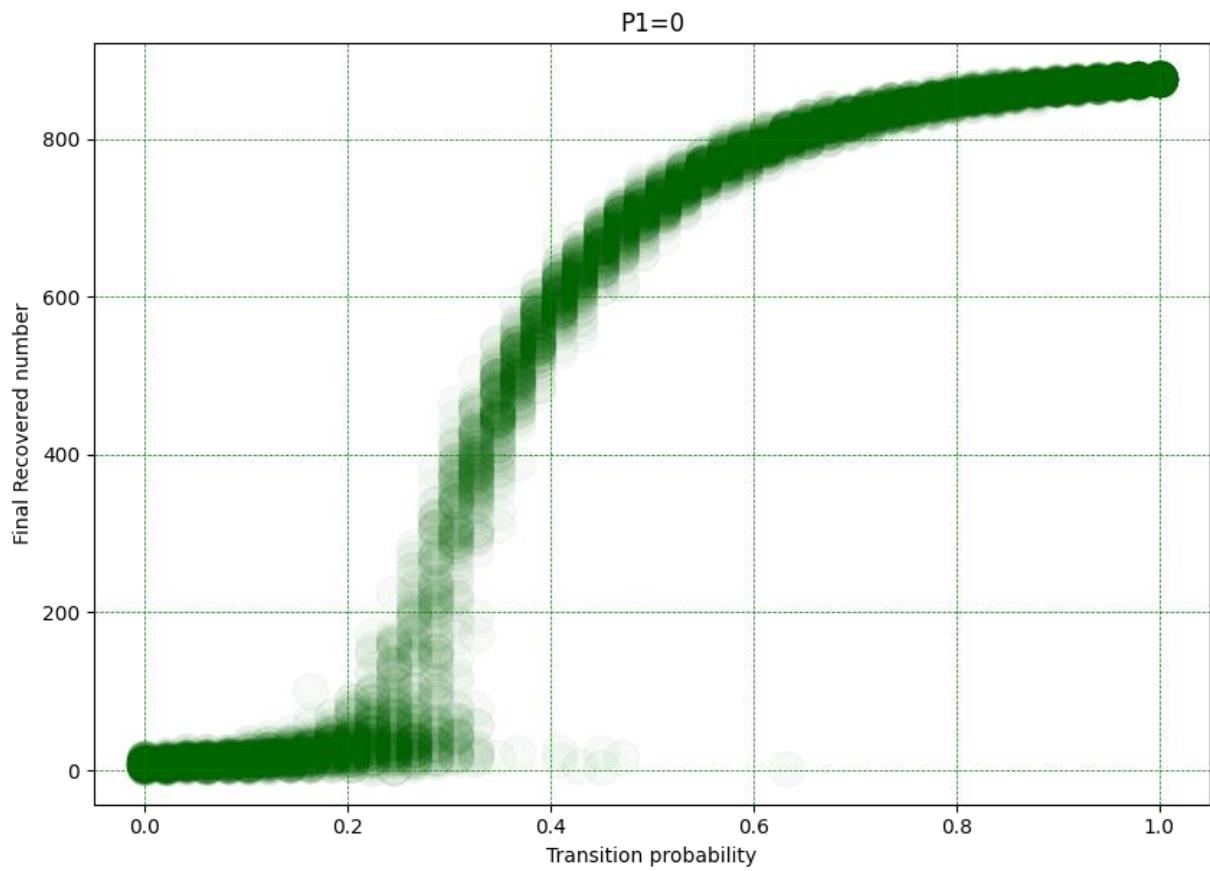
همانطور که قابل انتظار بود رفتارهای دسته های مشترک این حالت با تمام سناریوهای قبلی یکسان بوده تنها این نکات قابل اضافه کردن است. نمودار دو سناریو آخر بسیار شبیه به هم بودند و شباهت خوبی نیز با حالت بدون کنترل داشتند. البته به عنوان مثال در حالت بدون کنترل تغییرات شبیه با سرعت بیشتری رخ داد. و همچنین در سناریو واکسیناسیون تعداد افراد بهبود یافته نهایی کمتر از سایر و تغییرات شبیه آهسته تر رخ می داد.

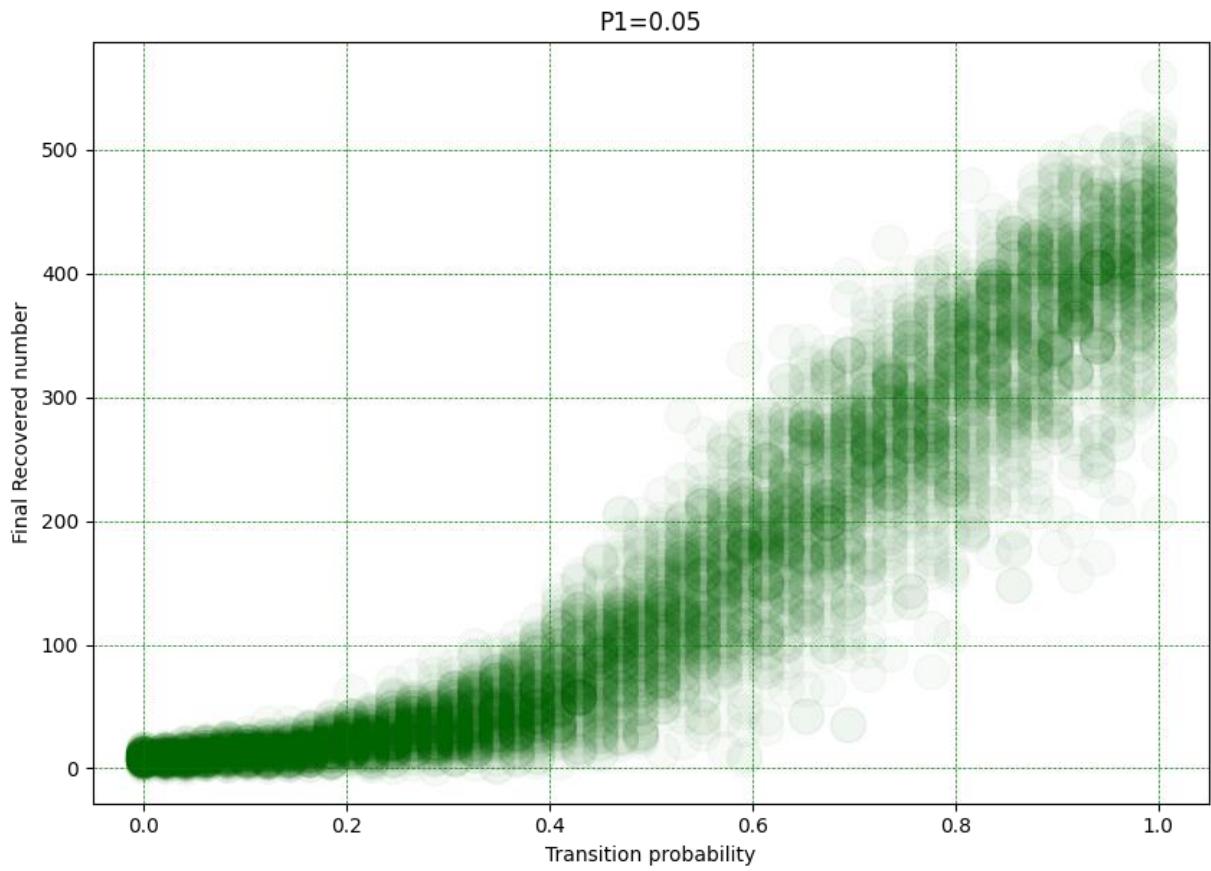
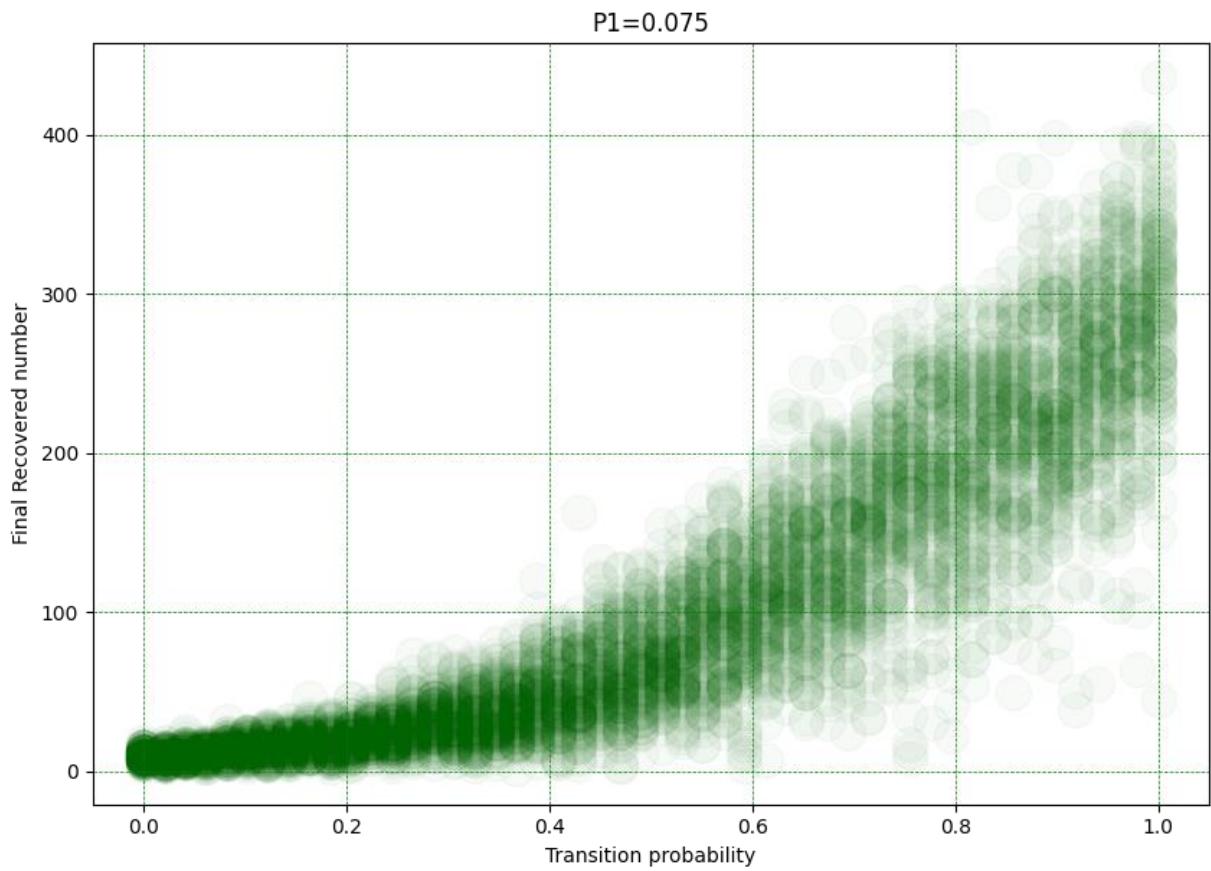
حال به بررسی نتایج و حالات بحرانی برای شبکه های دیگر می پردازیم. قابل ذکر کردن است سبک نمودارها و نکات درمورد آن ها کاملا مشابه نمودارهای قبلی است و تعداد پارامتر ها برای هر پارامتر پنجاه مقدار است و به ازای هر جفت پارامتر دینامیک پنجاه بار ران شده است.

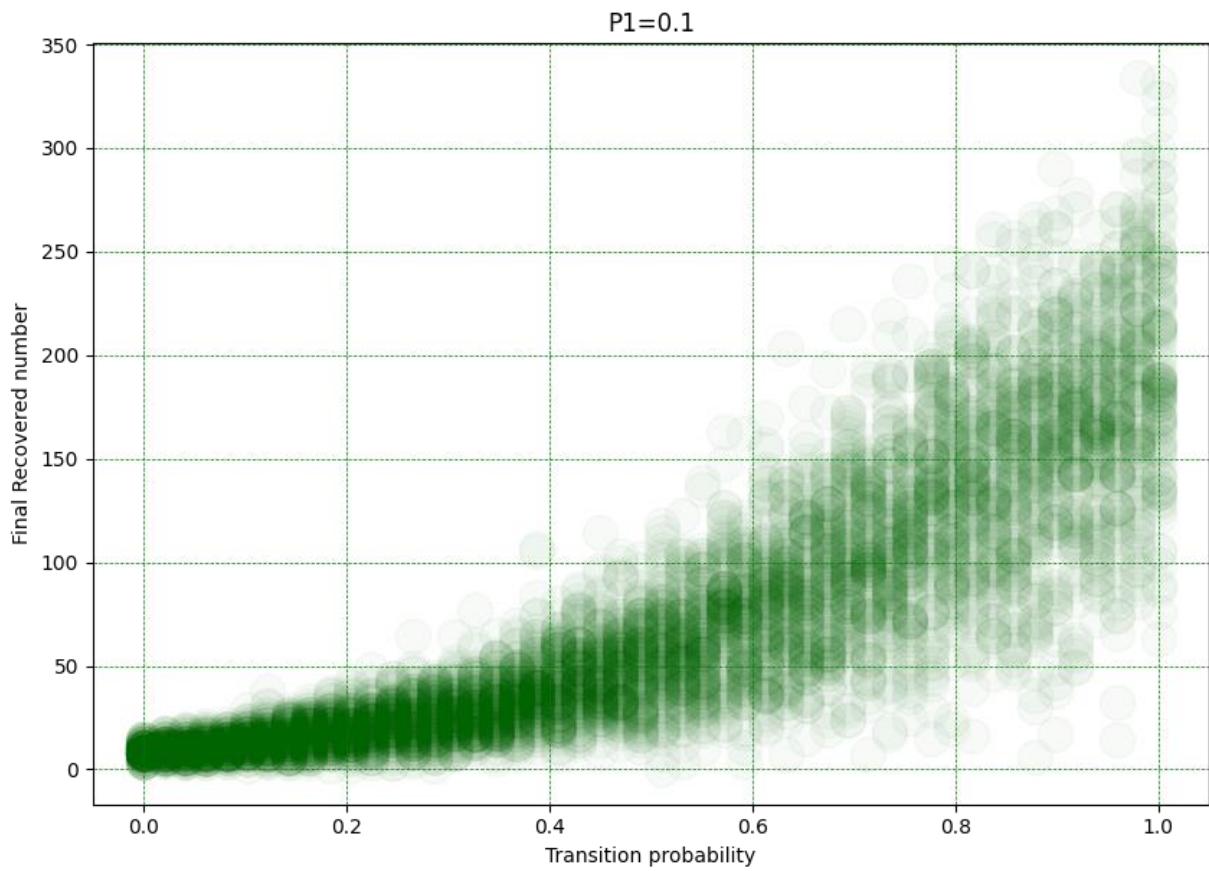
شبکه اردوش-رنی:

سناریو الف:

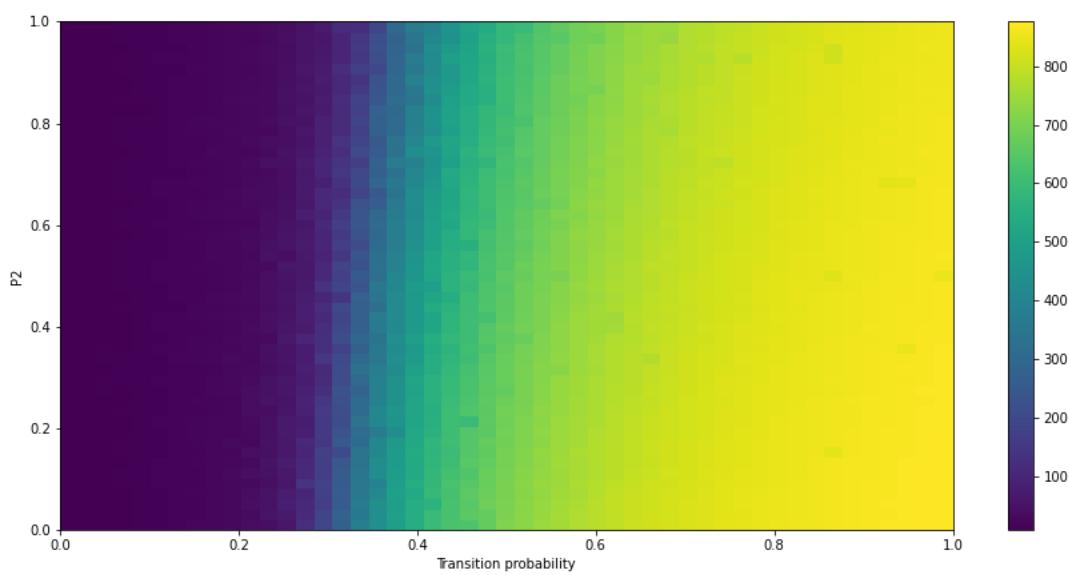


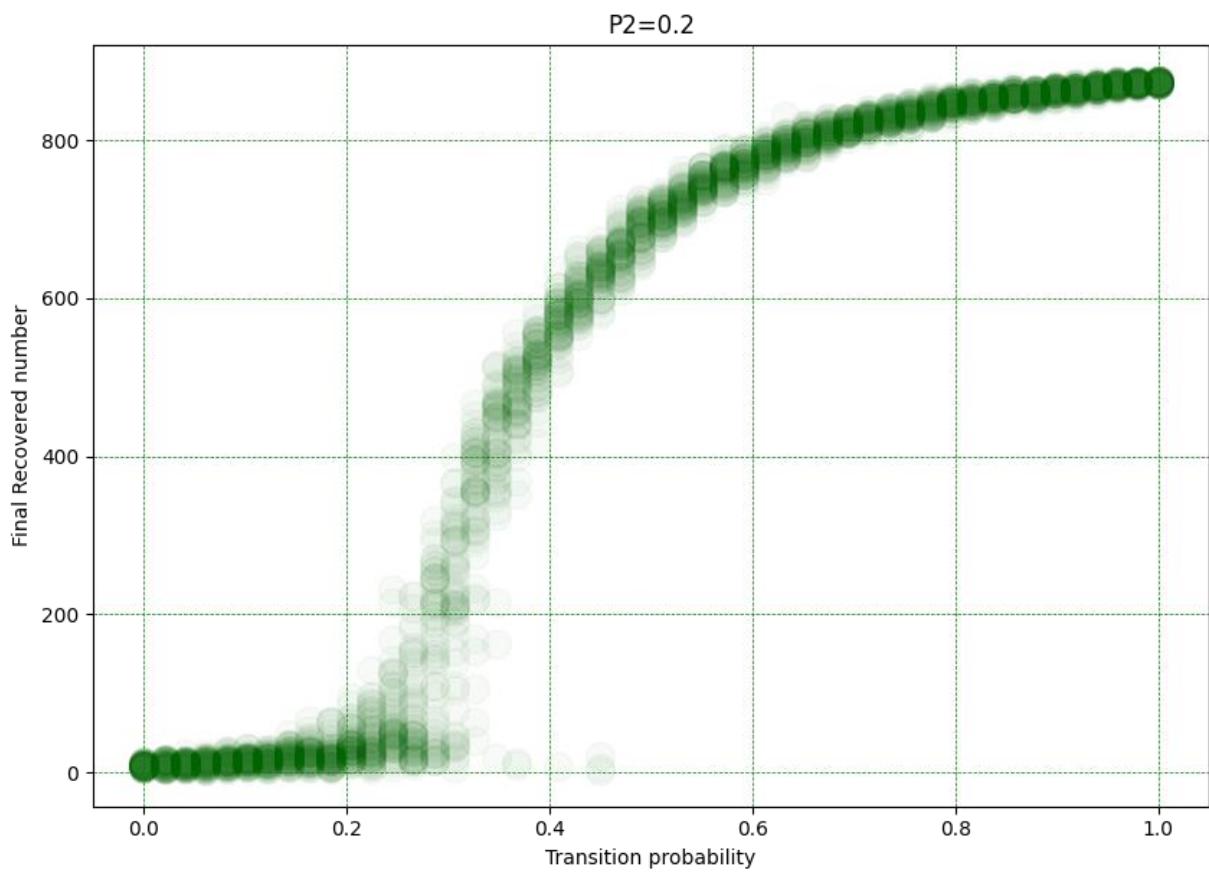
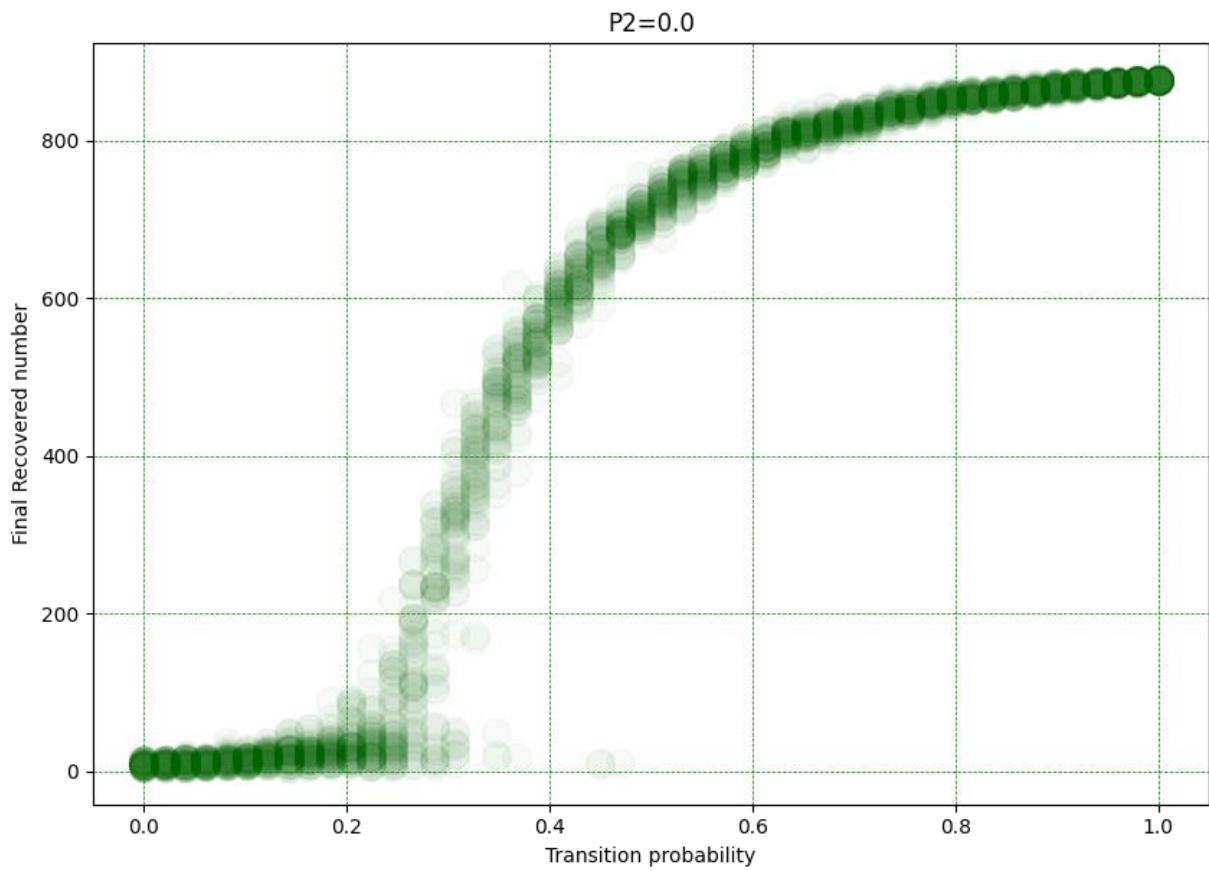


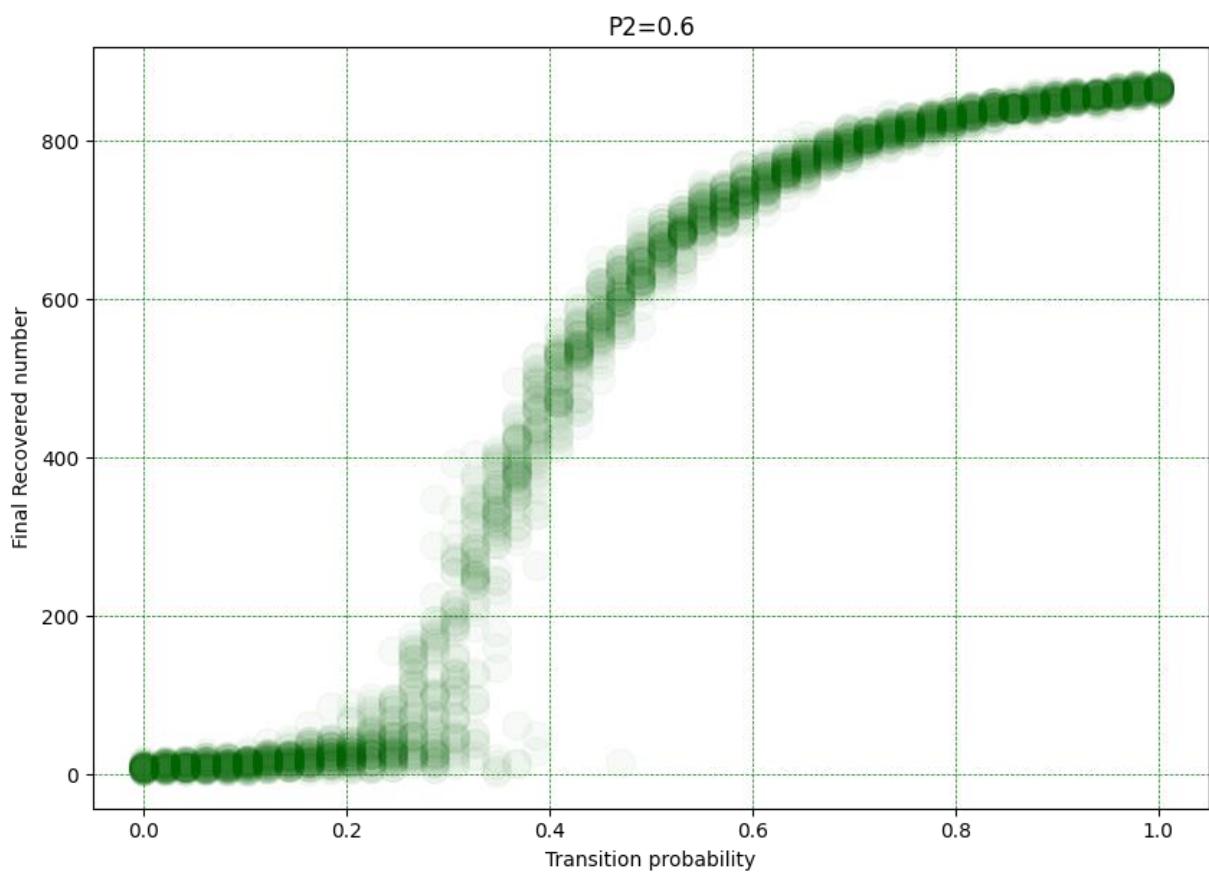
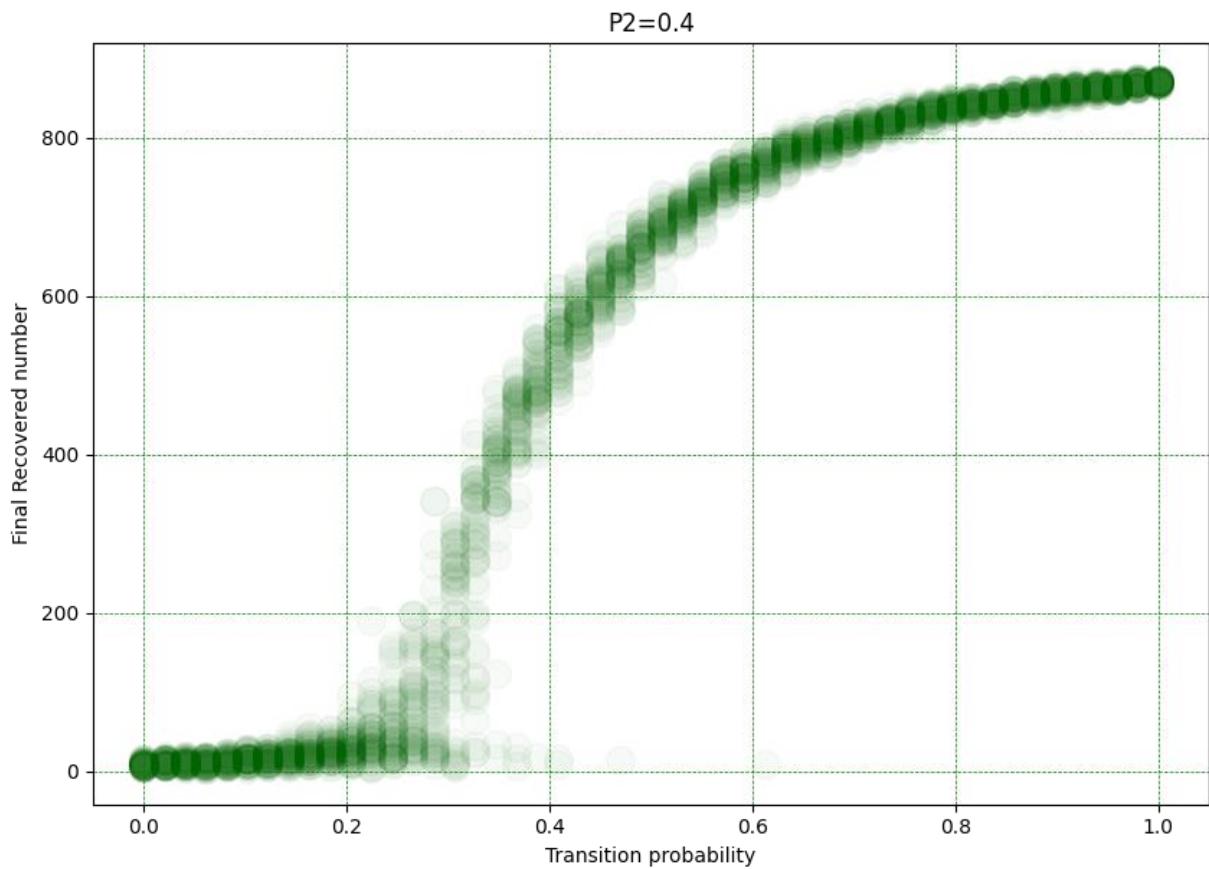


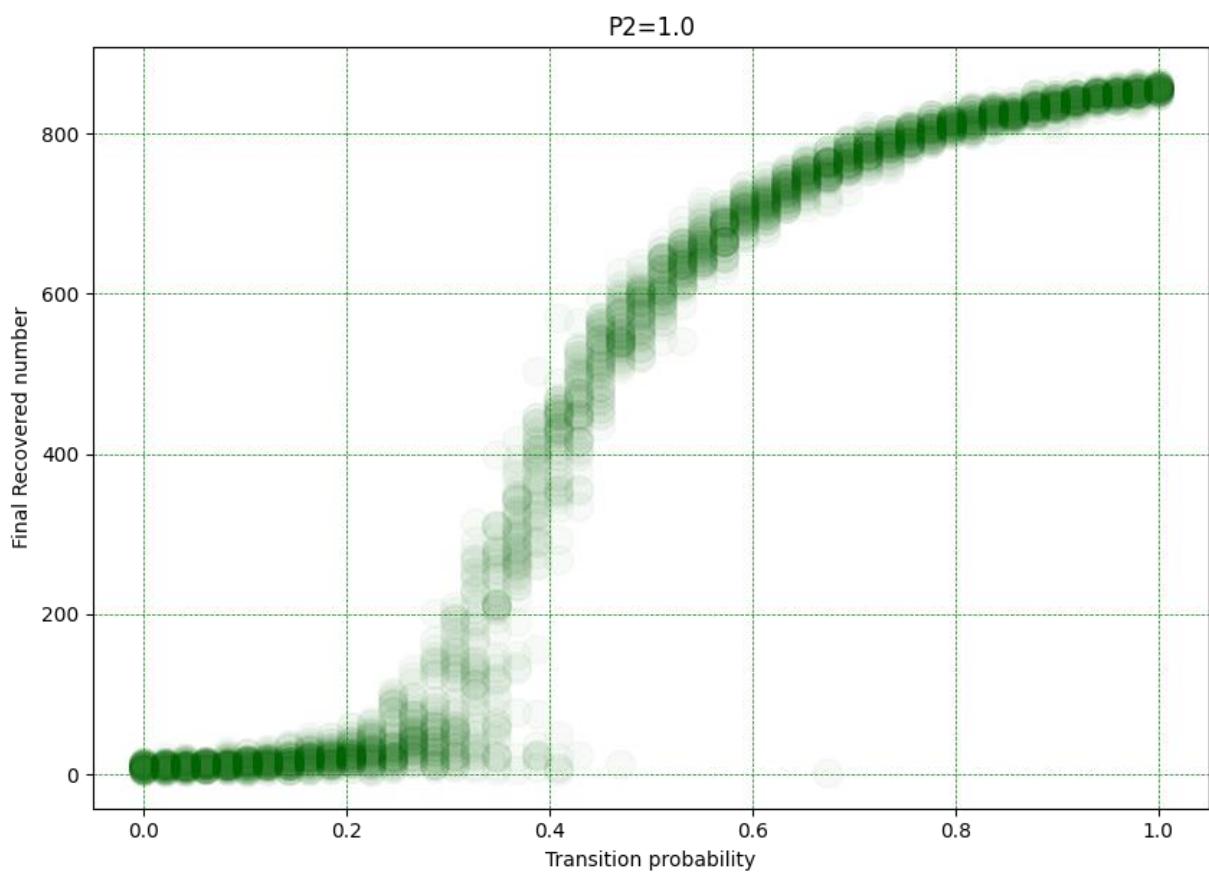
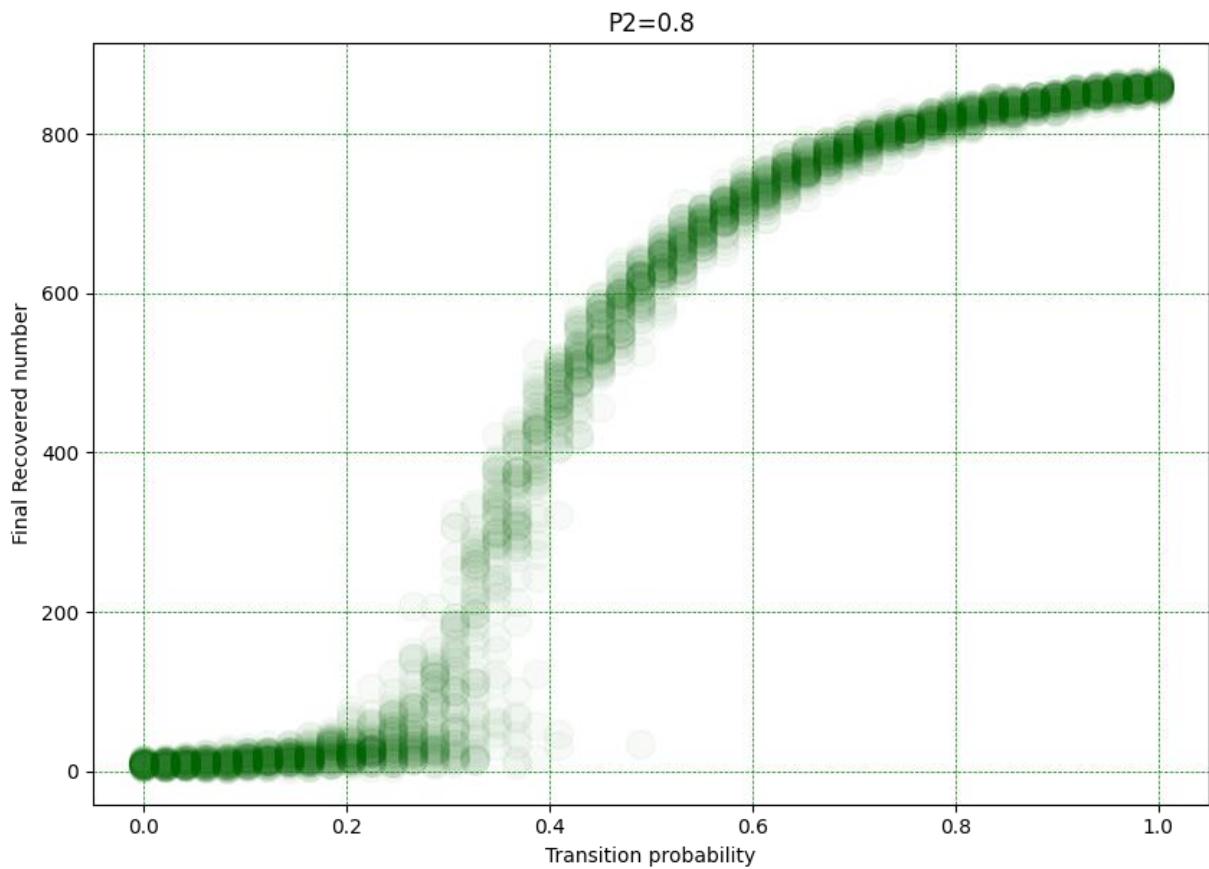


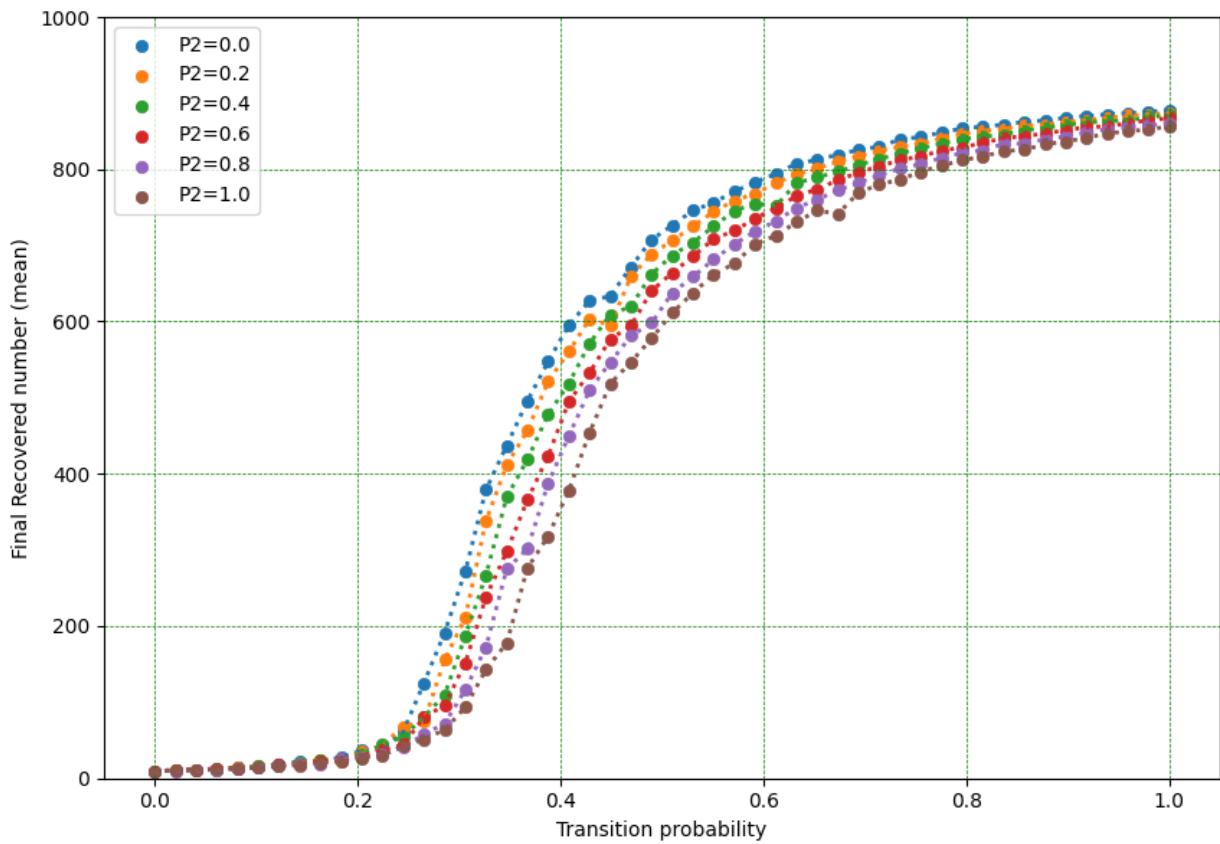
ساريyo ب:



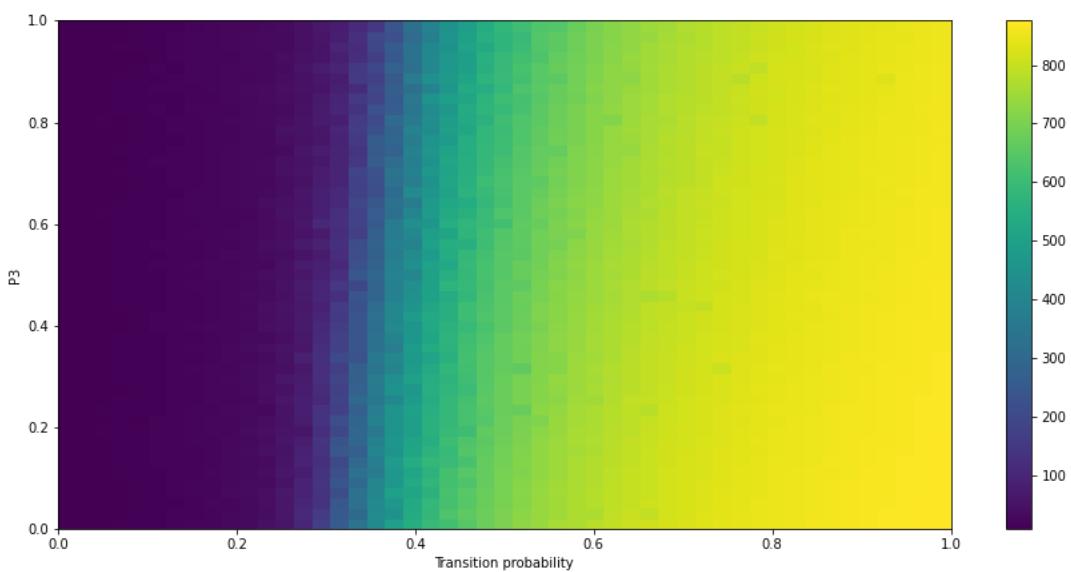


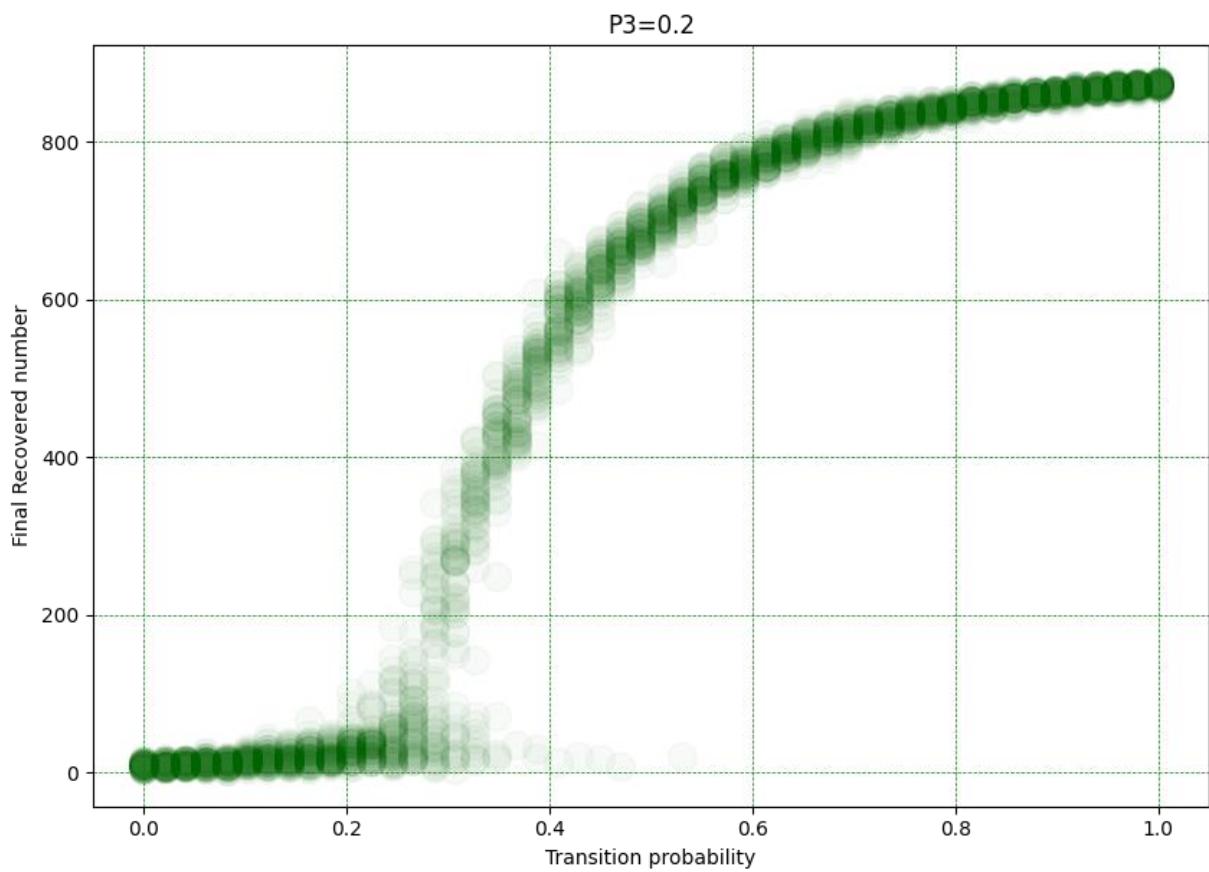
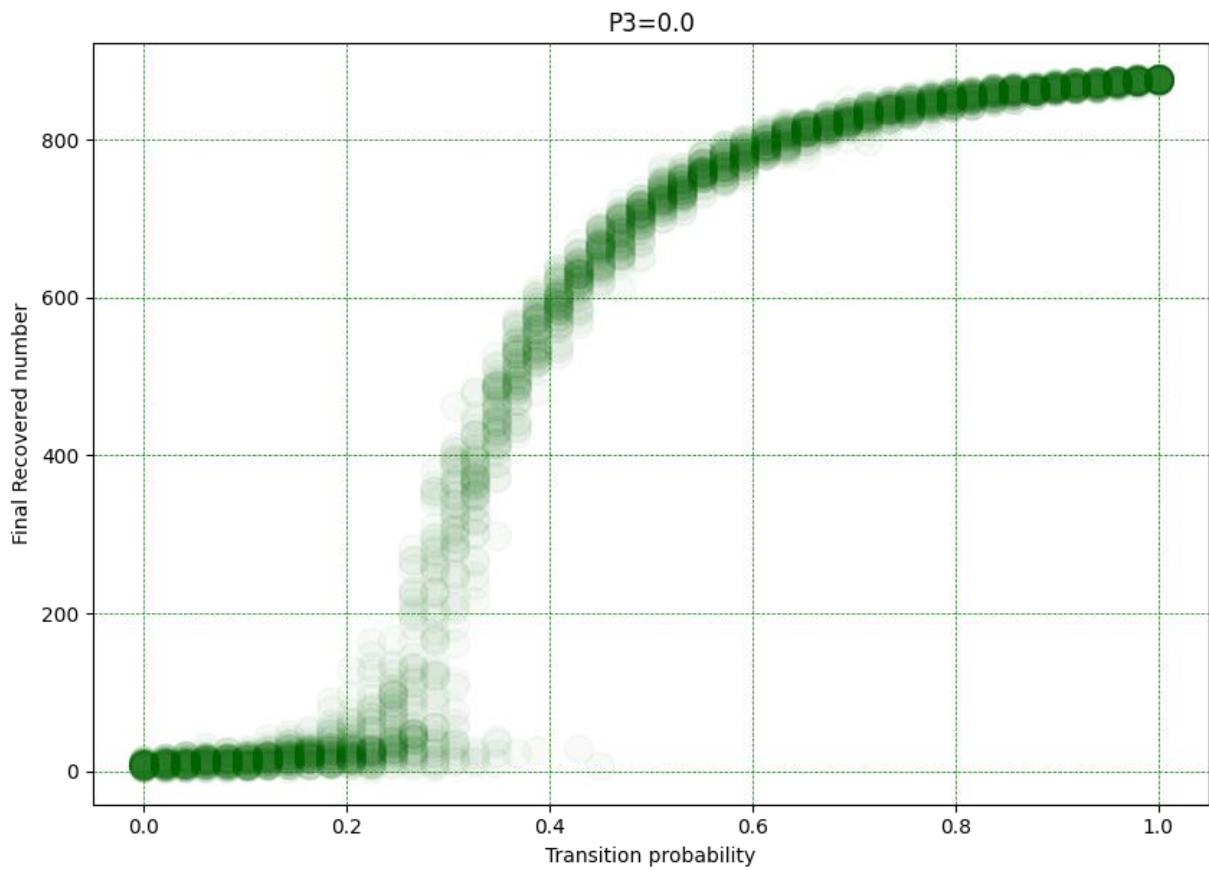


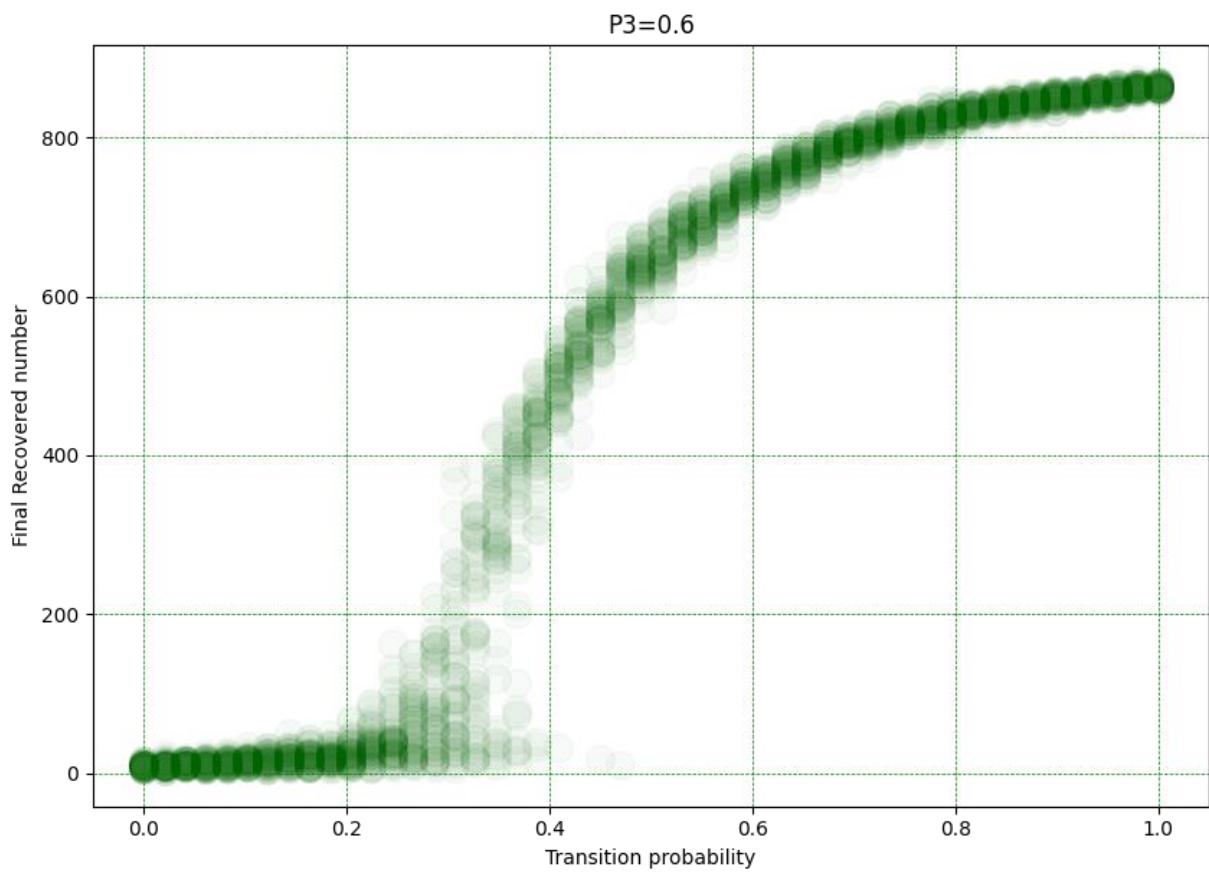
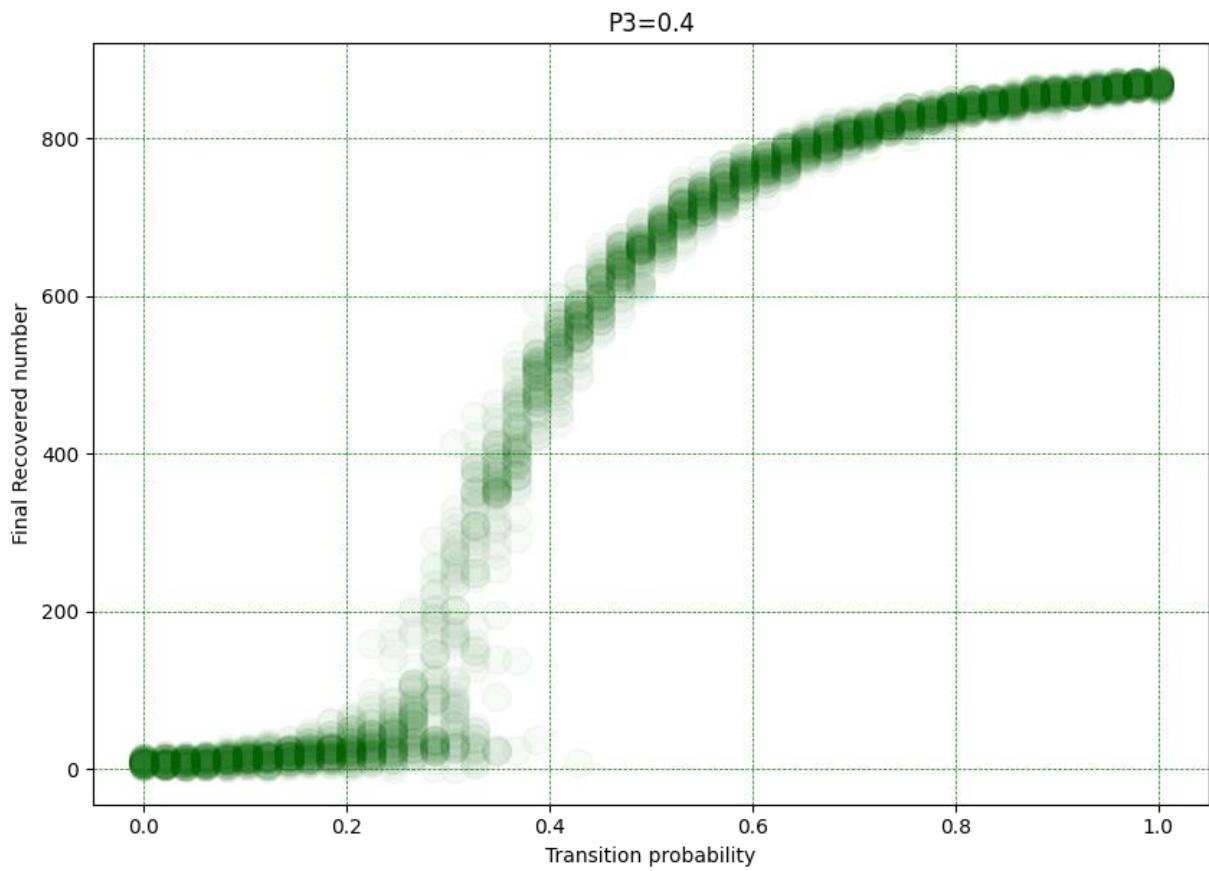


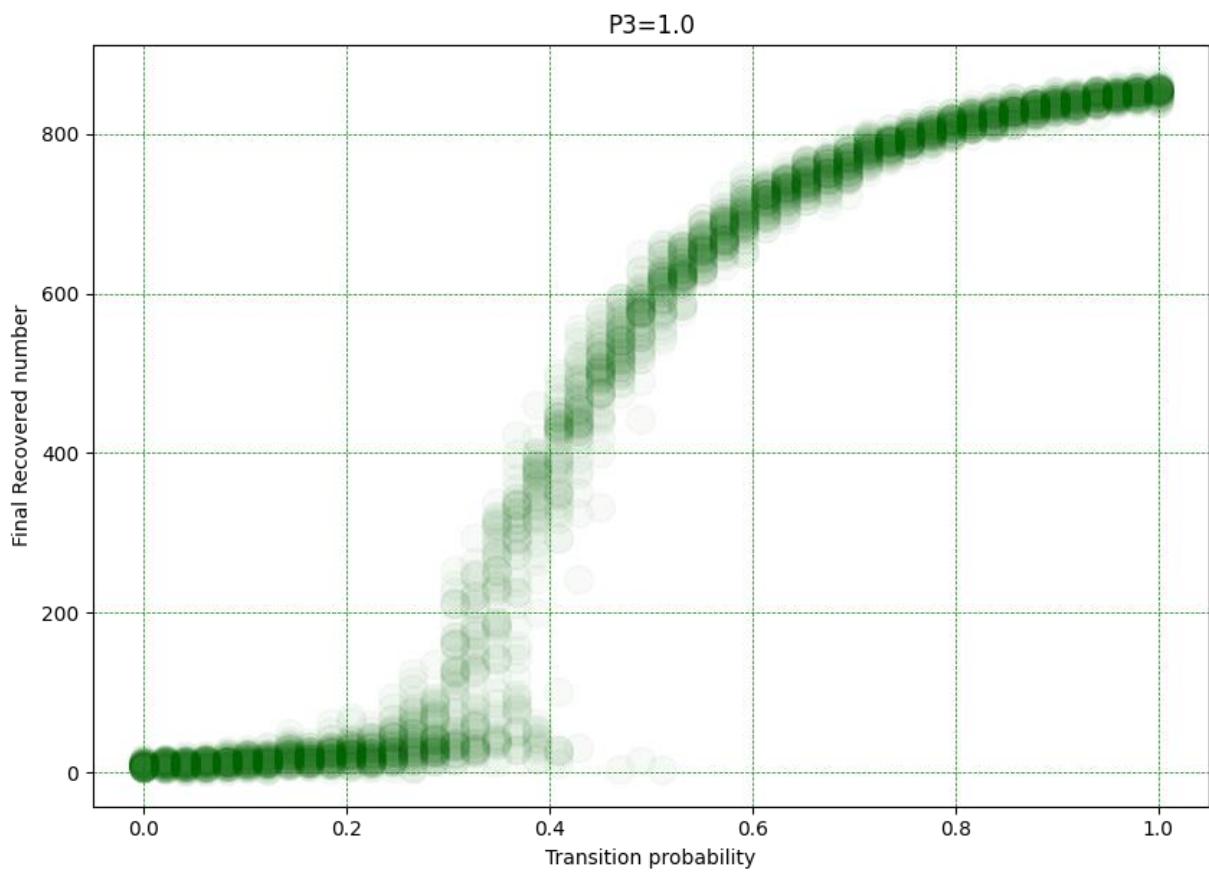
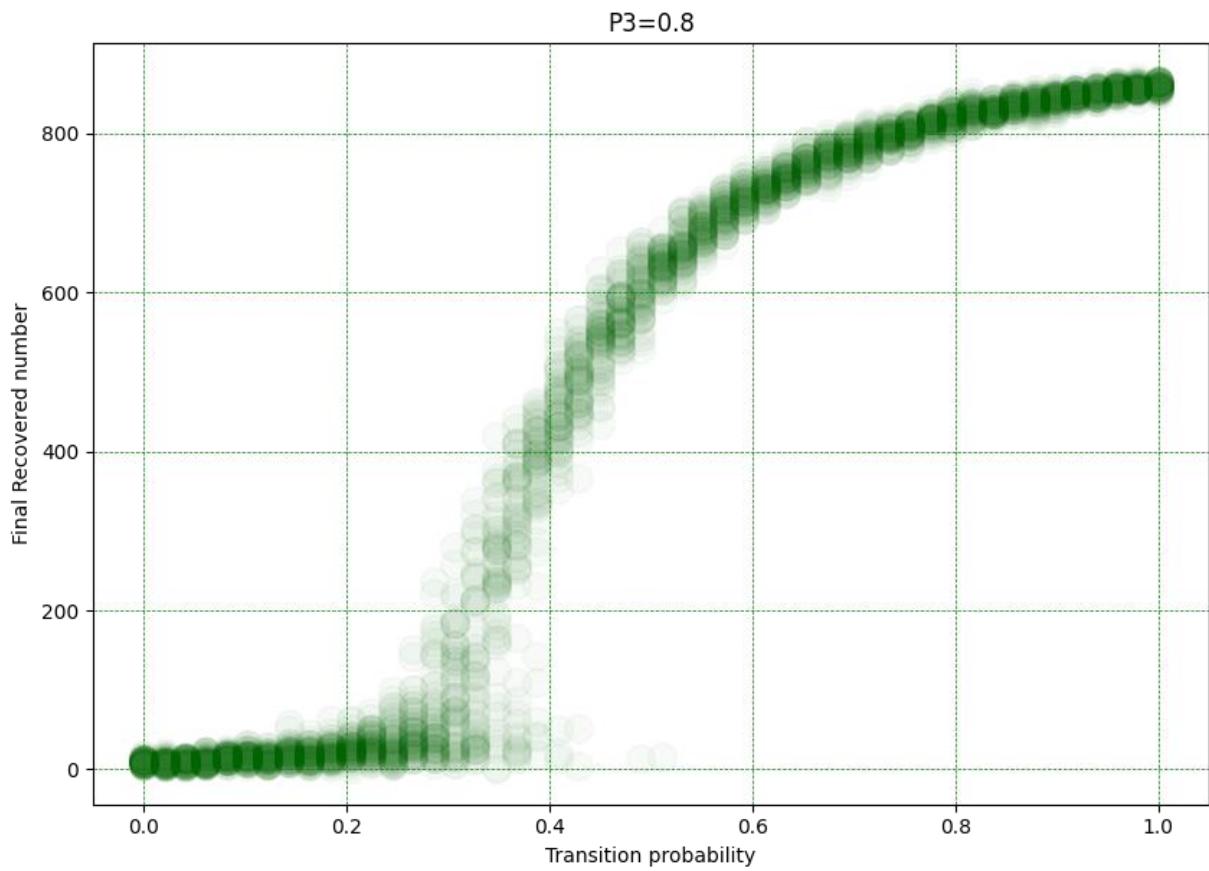


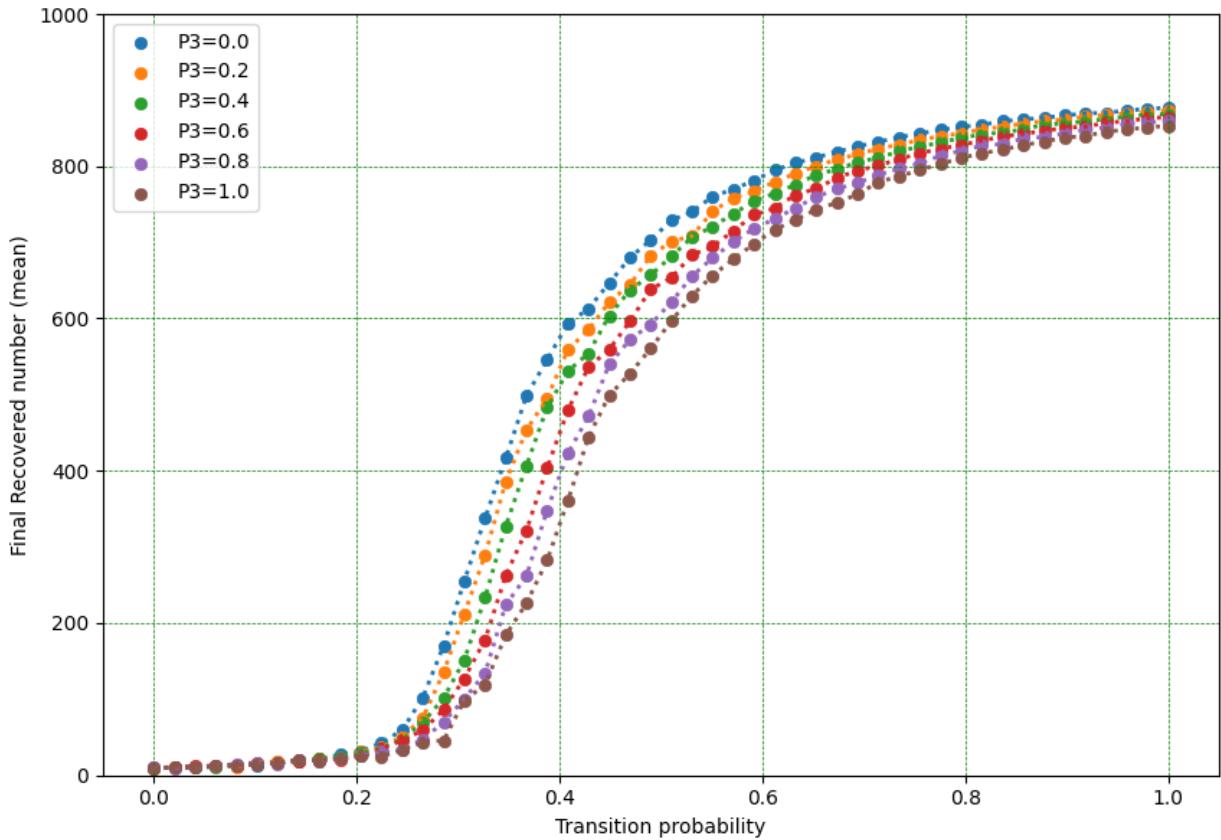
ساريyo ج:









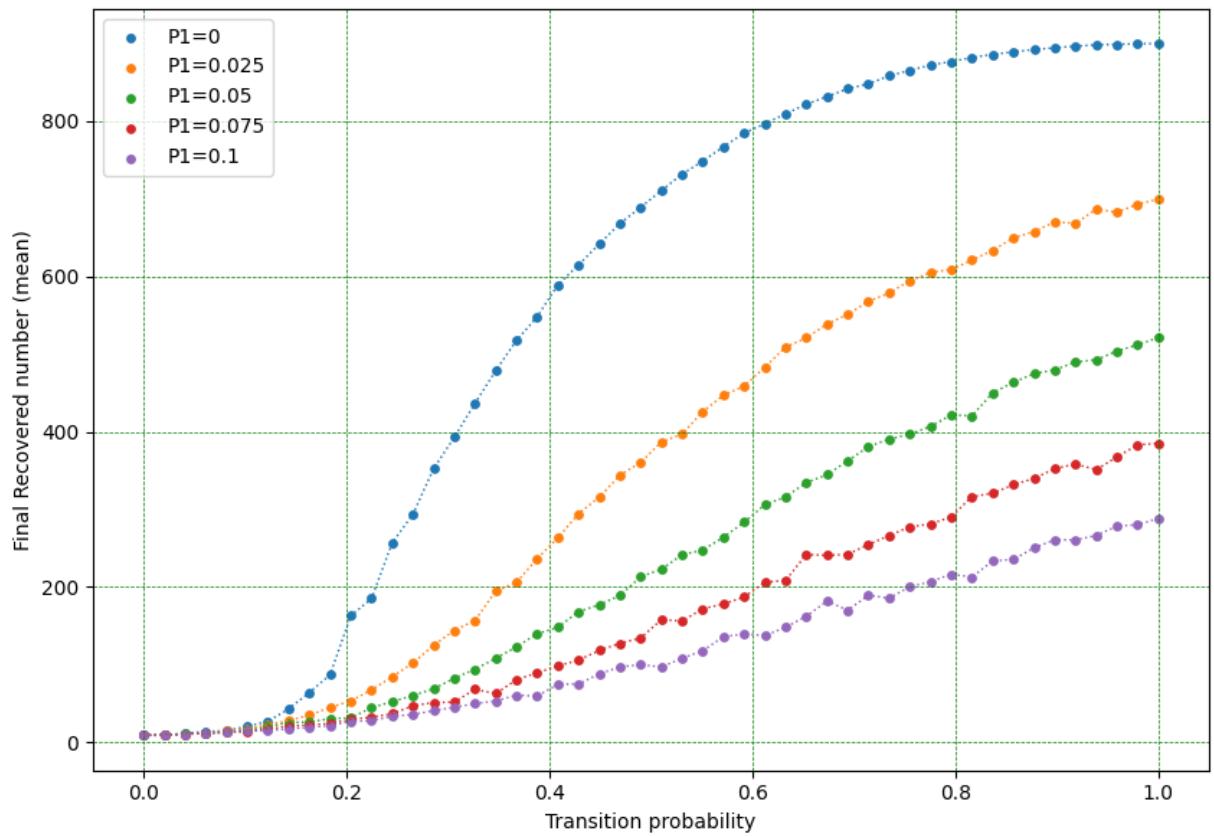
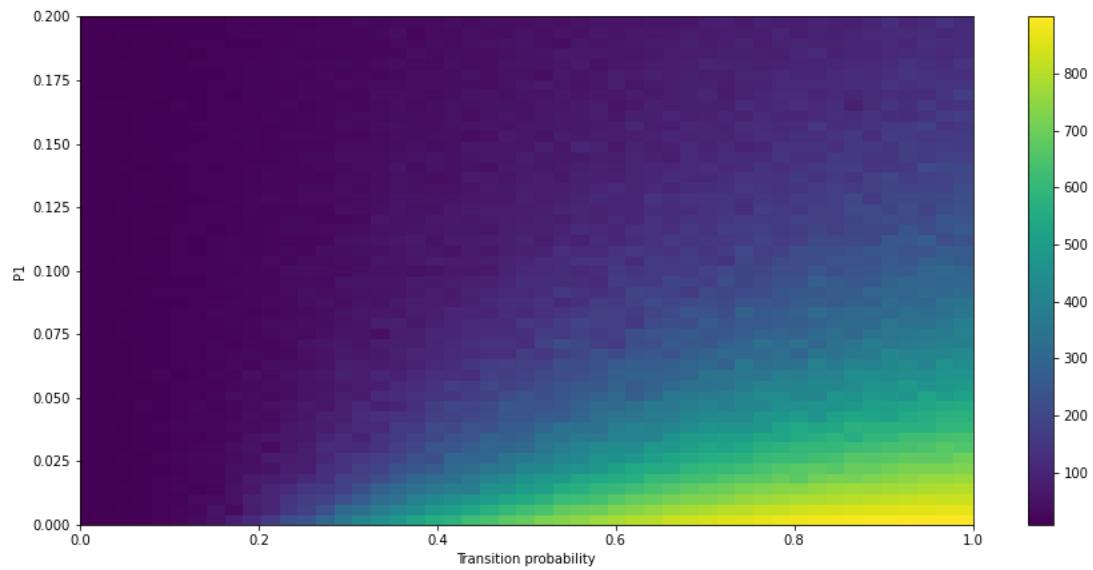


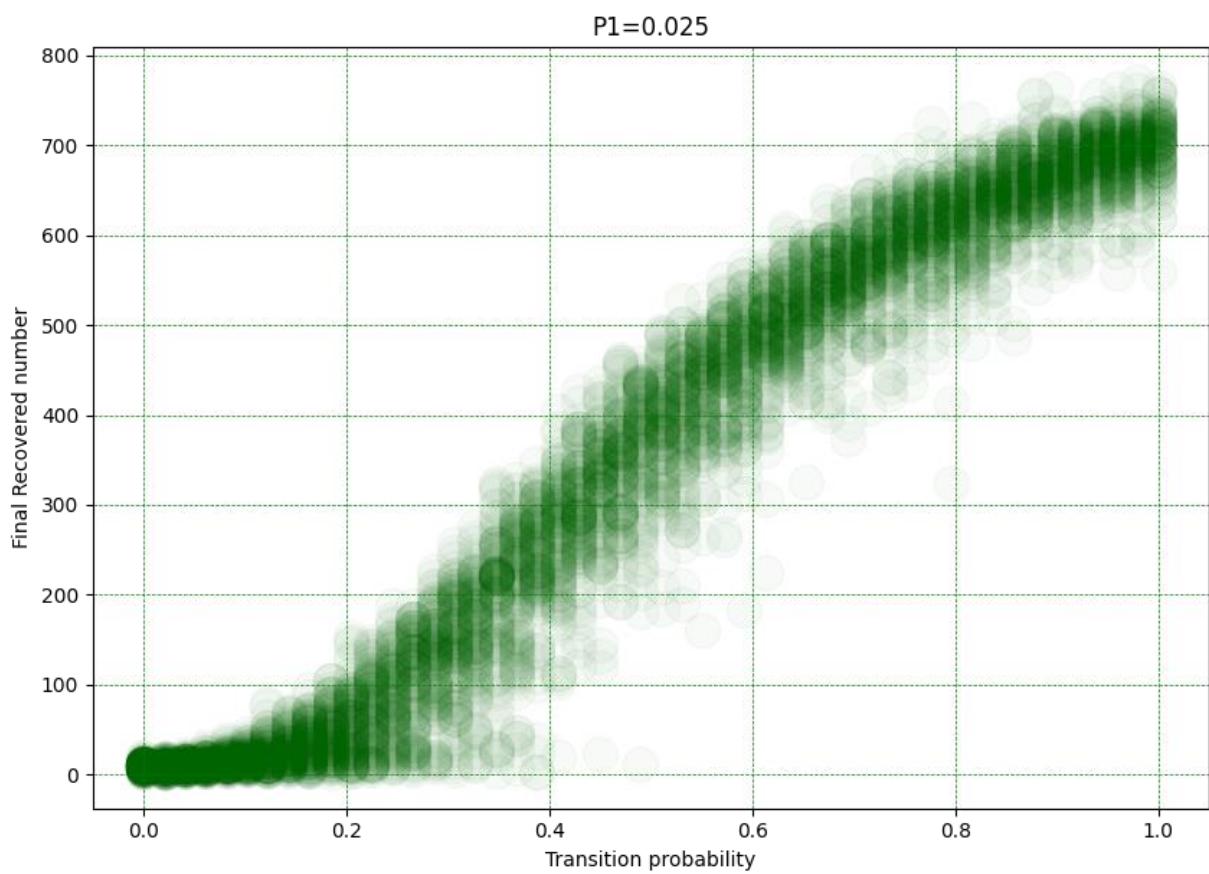
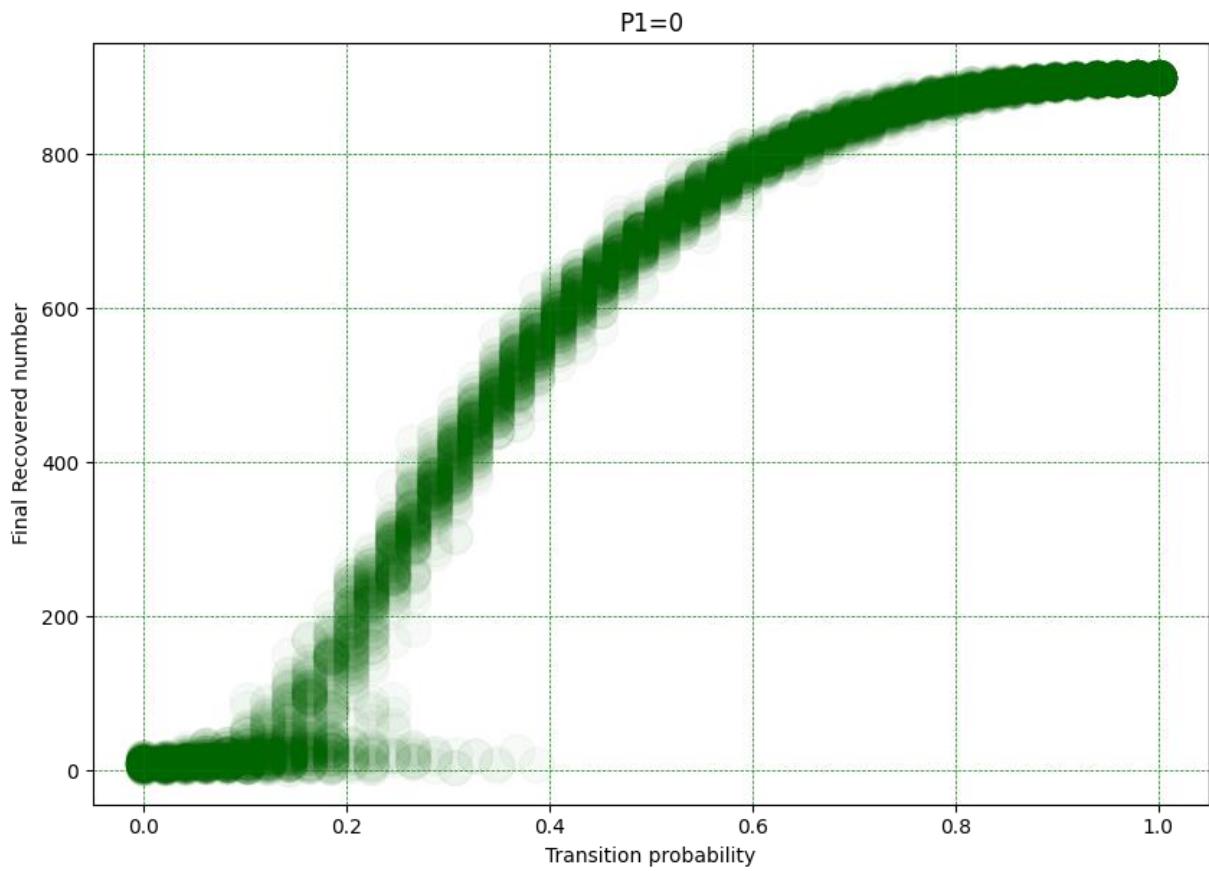
از قیاس نتایج شبیه‌سازی سناریو الف بر روی شبکه لتیس و اردوش-رنی این نتیجه را می‌توان گرفت در شبکه اردوش-رنی گذر فاز زودتر و شدیدتر رخ داده ولی در ادامه تغییرات شبیب نمودارها آهسته‌تر رخ داده (اشاره به نمودار بهبودیافتنگان نهایی برحسب احتمال انتقال). در ضمن با توجه به اینکه در کانتور مقداری بالاتری از تعداد بهبودیافتنگان نهایی در سایر پارامترها دیده می‌شود می‌توان گفت کارایی واکسن در این شبکه نسبت به شبکه لتیس کمتر است و به طور کل احتمال انتقال آستانه زودتر حاصل شده.

در سناریو ب نیز همین نکات دیده می‌شود که گذر فاز سریع تر رخ داده ولی تغییرات شبیب در ادامه به آرامی رخ می‌دهد. در ضمن به همان شکل نیز می‌توان دید کارایی قرنطینه کاهش یافته نسبت به شبکه لتیس. ولی ساختار نمودار کانتور یکی است و با قرنطینه با شبیب کم بر احتمال انتقال آستانه تاثیر می‌گذارد تنها تفاوت این است این اتفاق زودتر رخ می‌دهد همانند سناریو قبل. در ضمن همانند شبکه لتیس سناریو ج و ب تفاوت قابل ملاحظه‌ای ندارند. و ویژگی‌ها و رفتار این سناریو در این شبکه مشابه سناریو ب است.

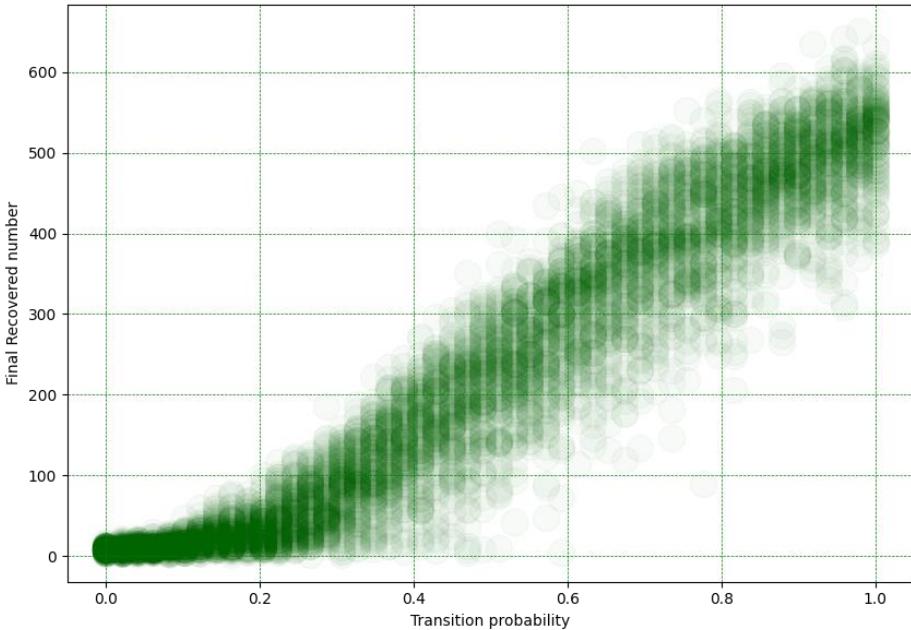
در ضمن در تمامی حالات گذر فاز باشد بیشتر و شبیب بیشتری رخ می‌دهد در ابتدا. تمام این موارد را می‌توان مربوط به رندوم بودن شبکه و خوشگی شدیدا کمتر آن نسبت به لتیس دانست.

شیوه‌سازی روی شبکه بی‌مقیاس:  
سناریو الف:

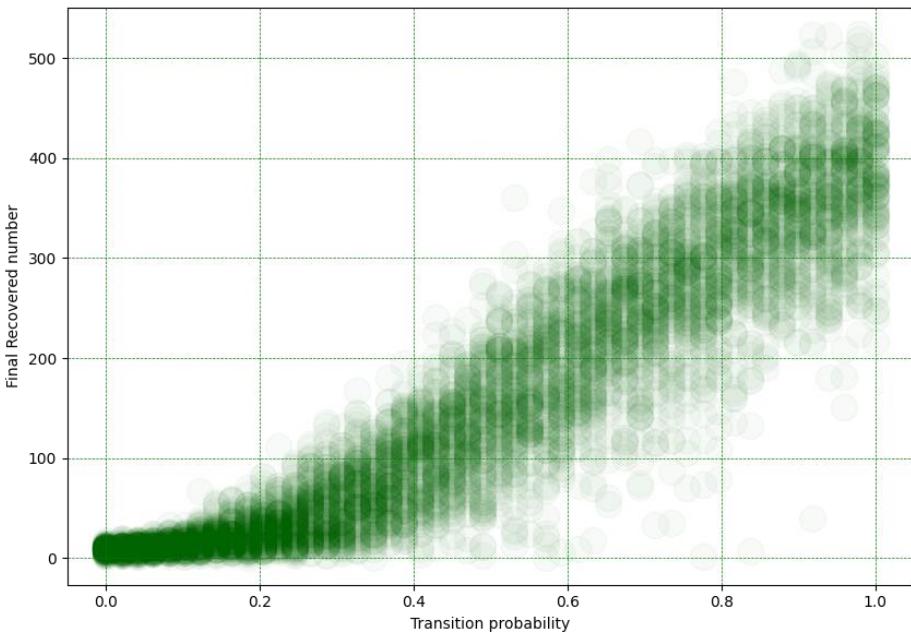




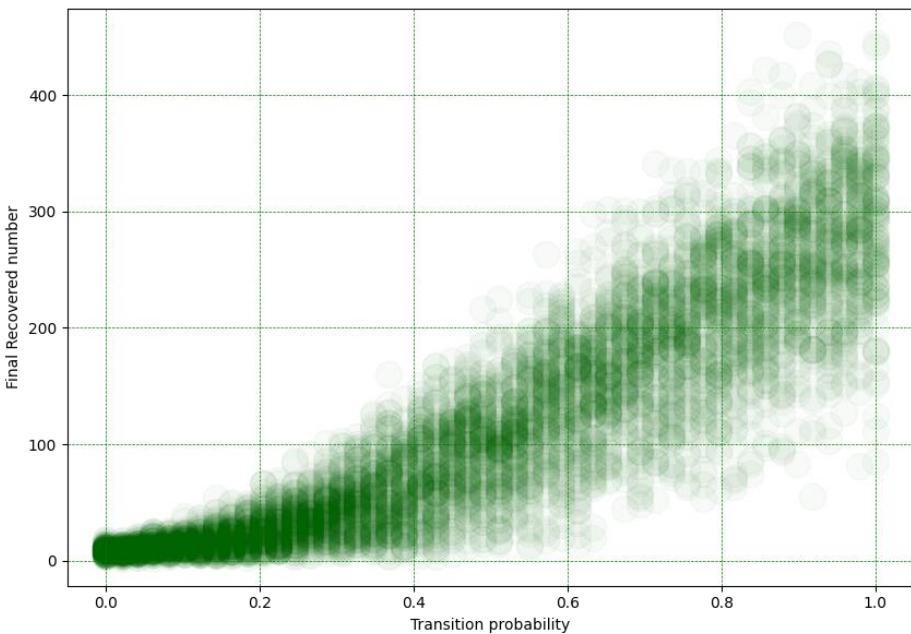
P1=0.05



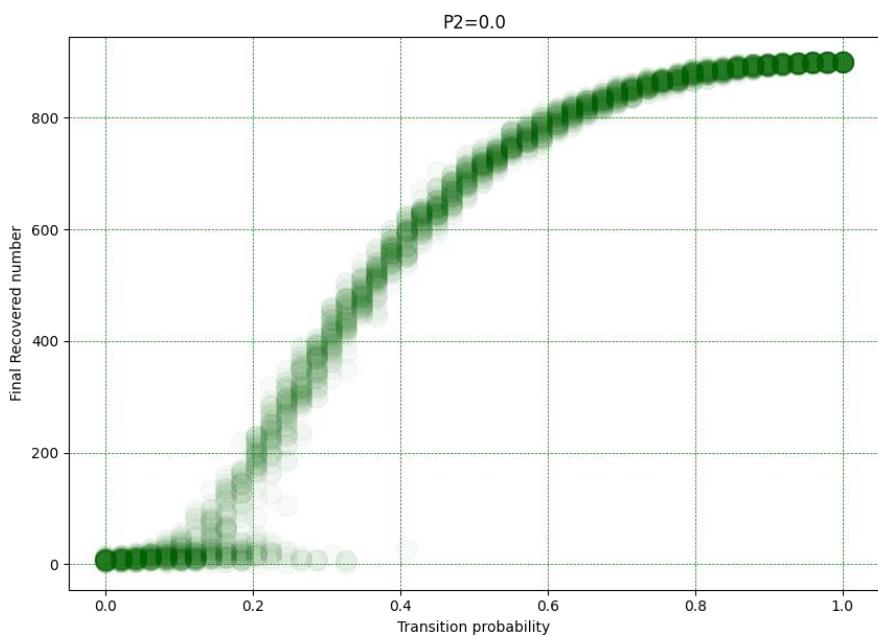
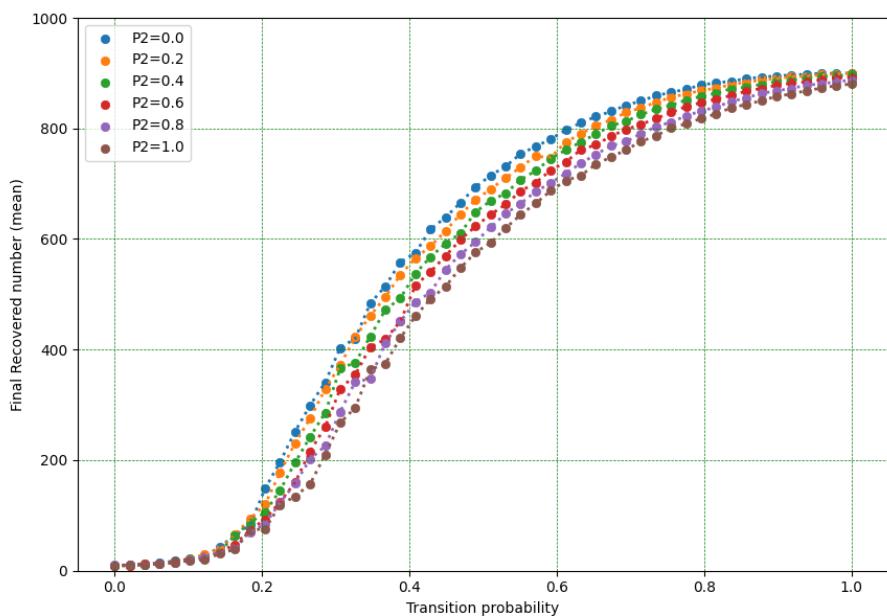
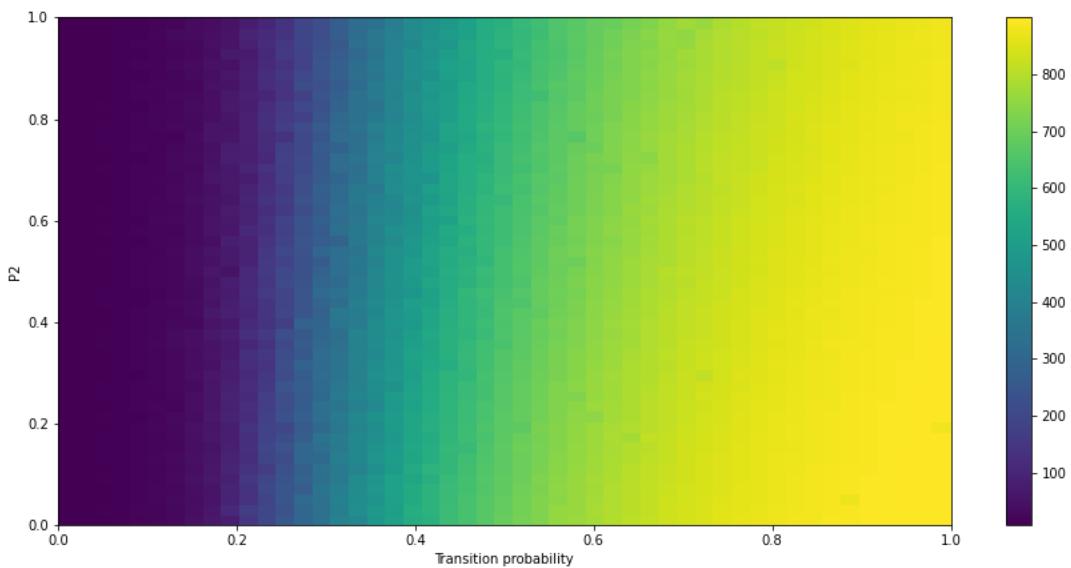
P1=0.075



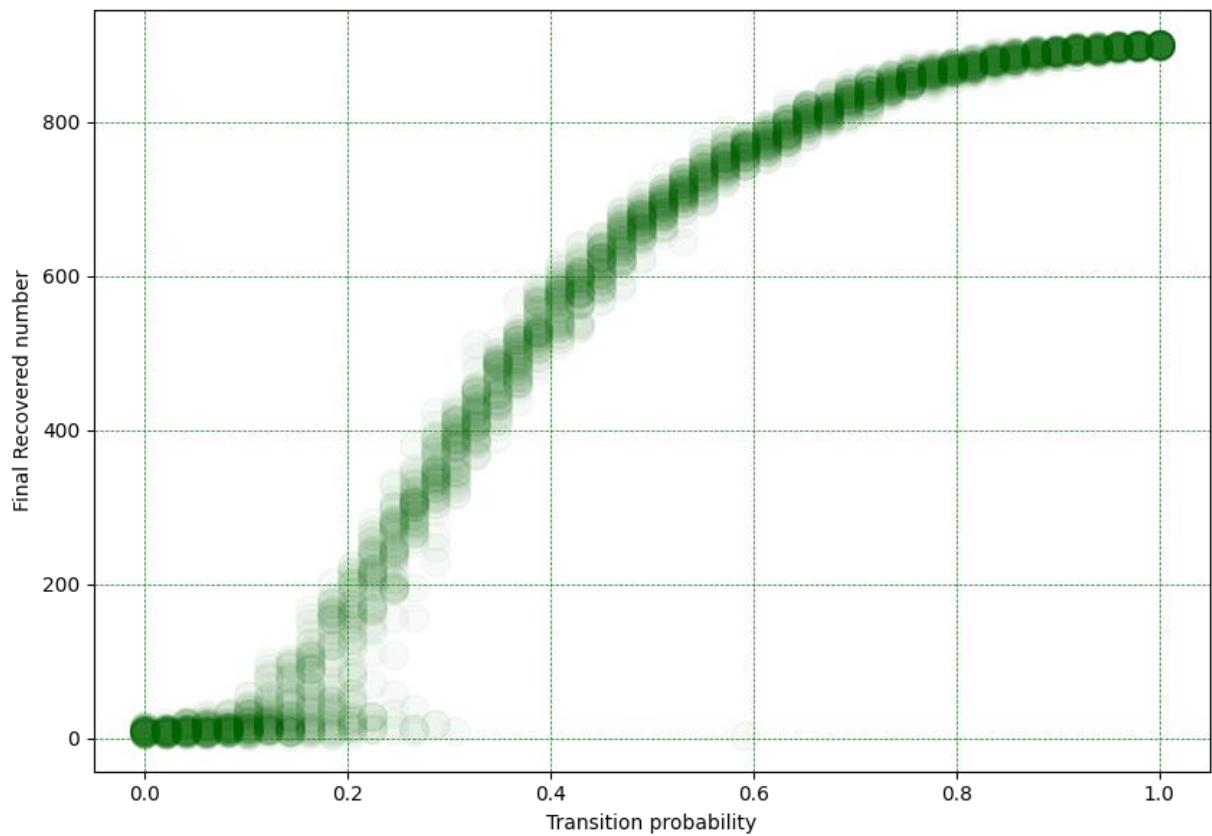
P1=0.1



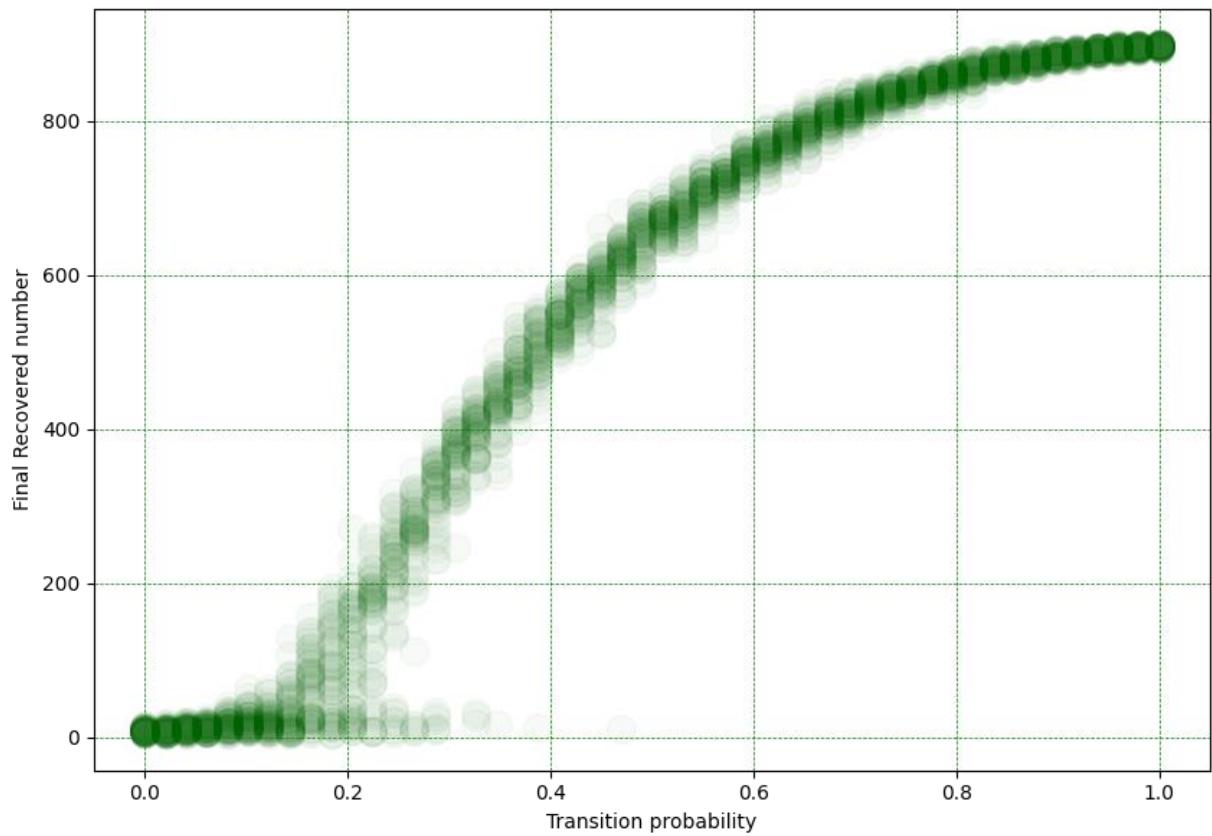
سناريو ب:

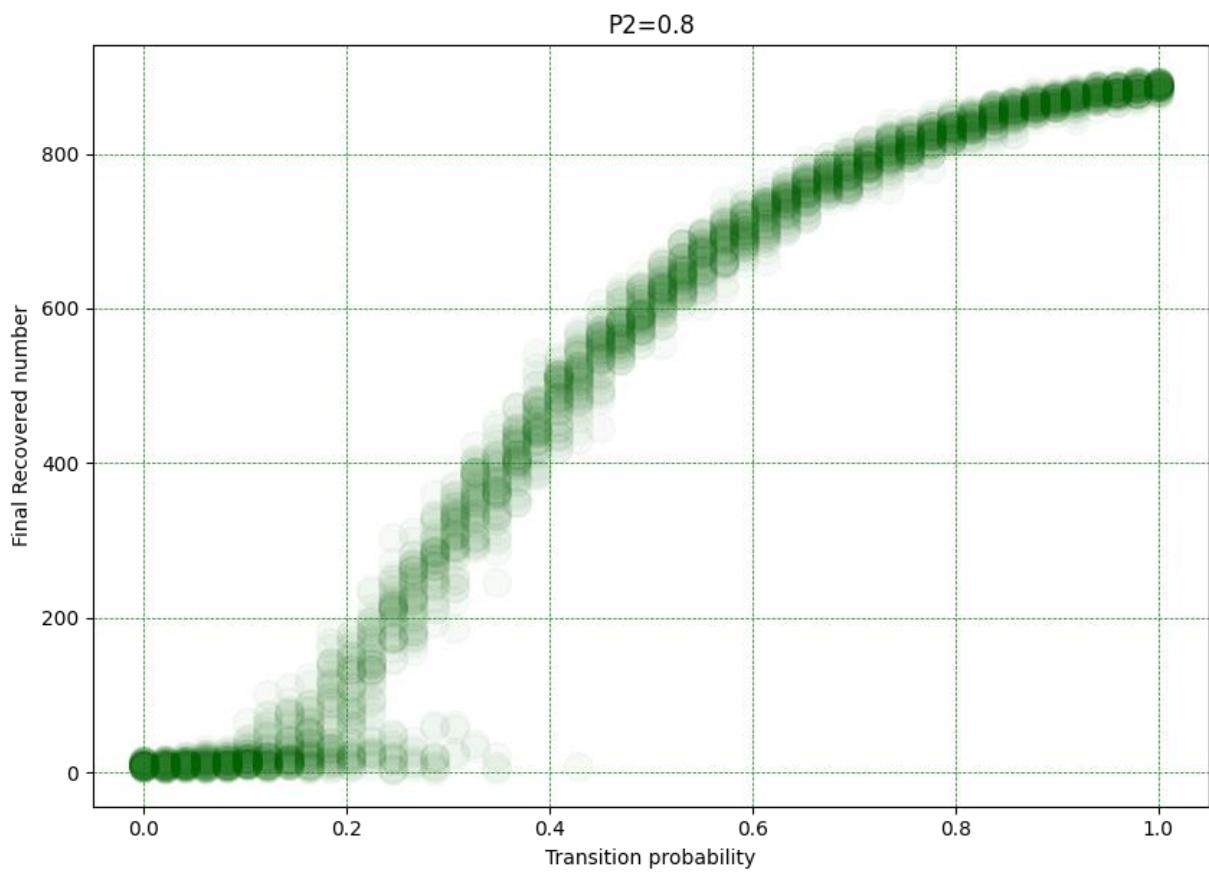
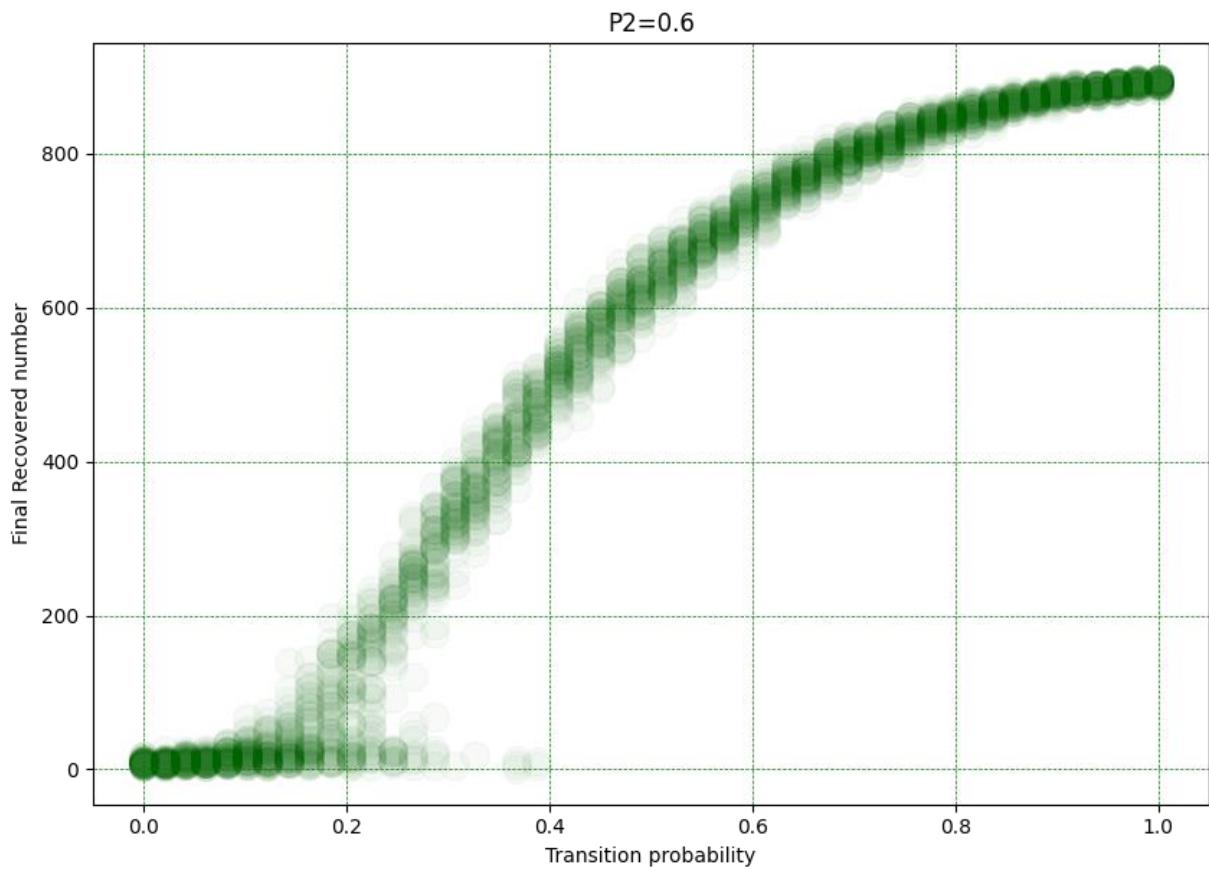


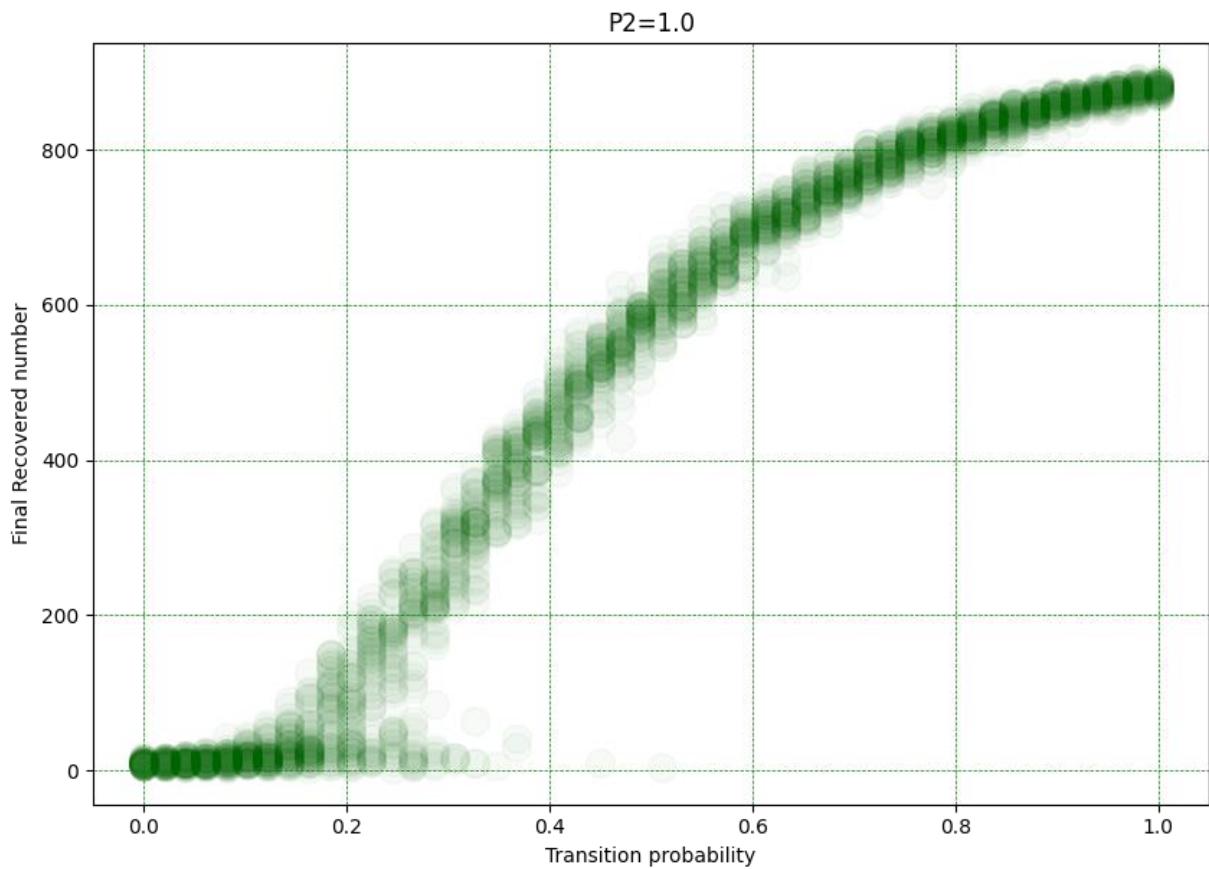
P2=0.2



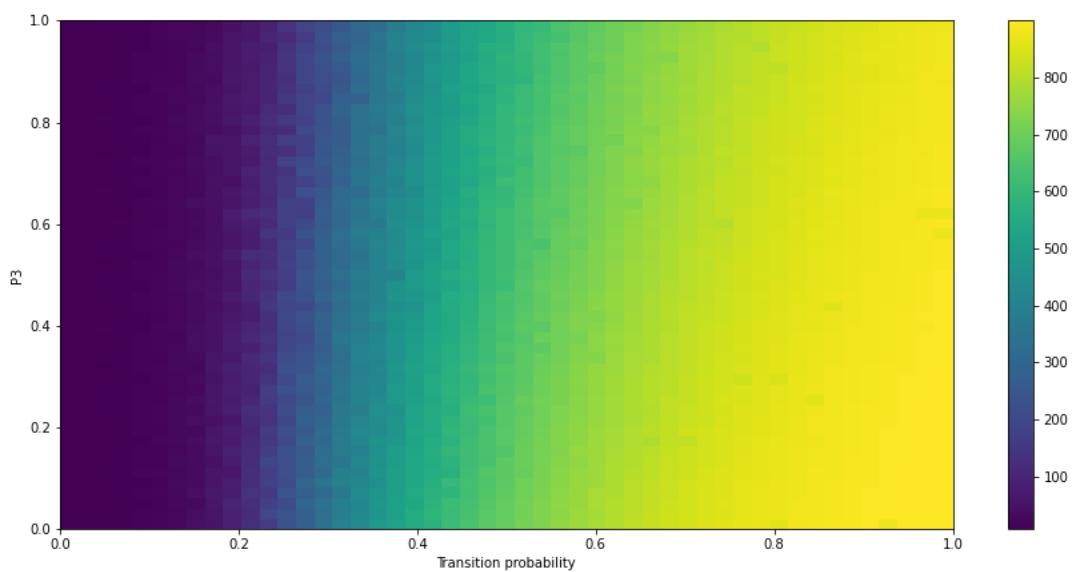
P2=0.4

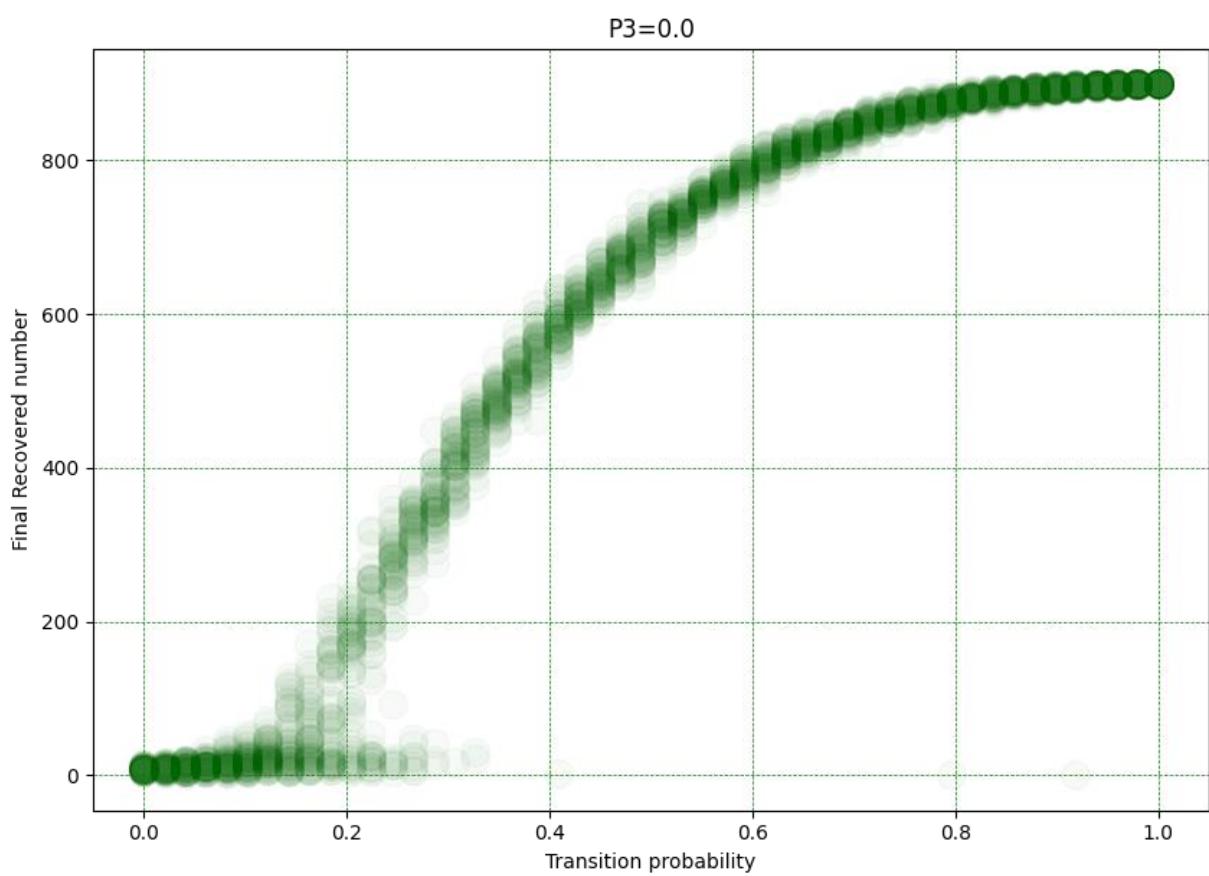
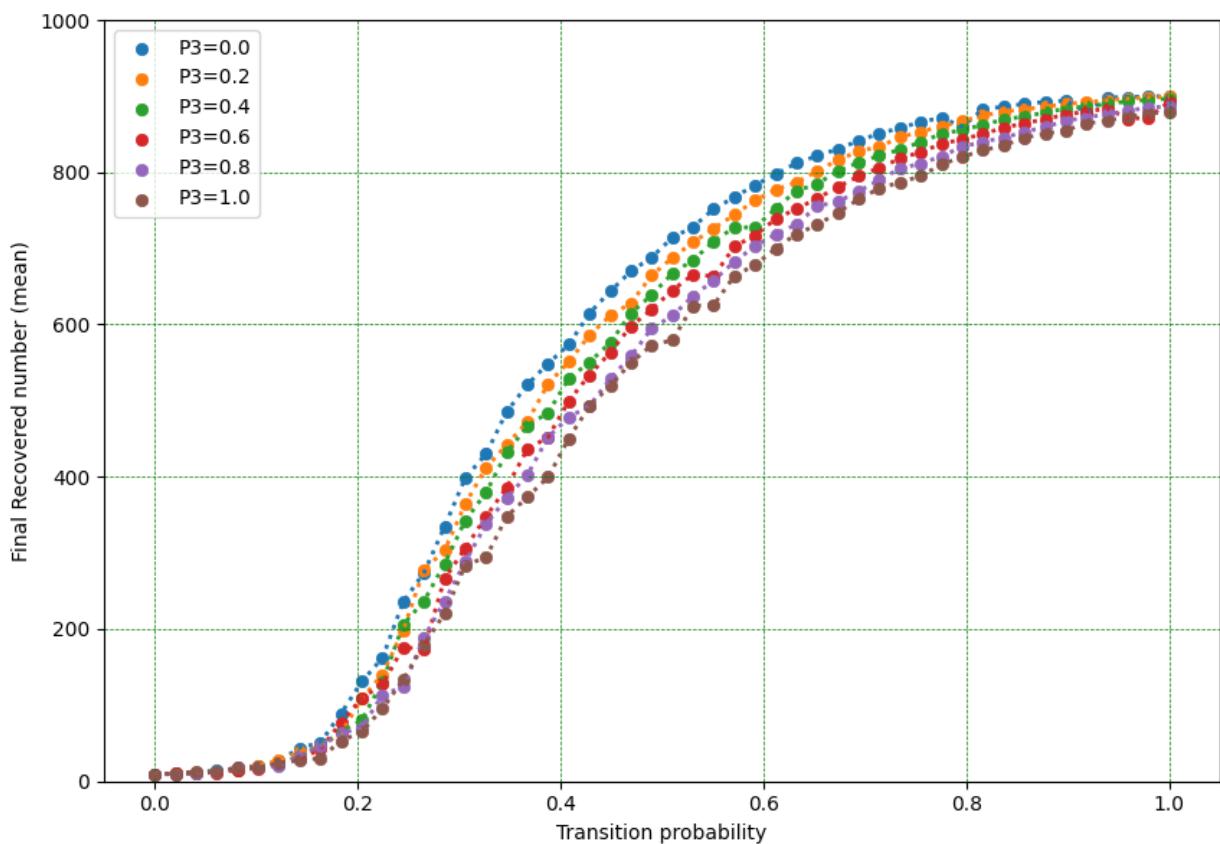


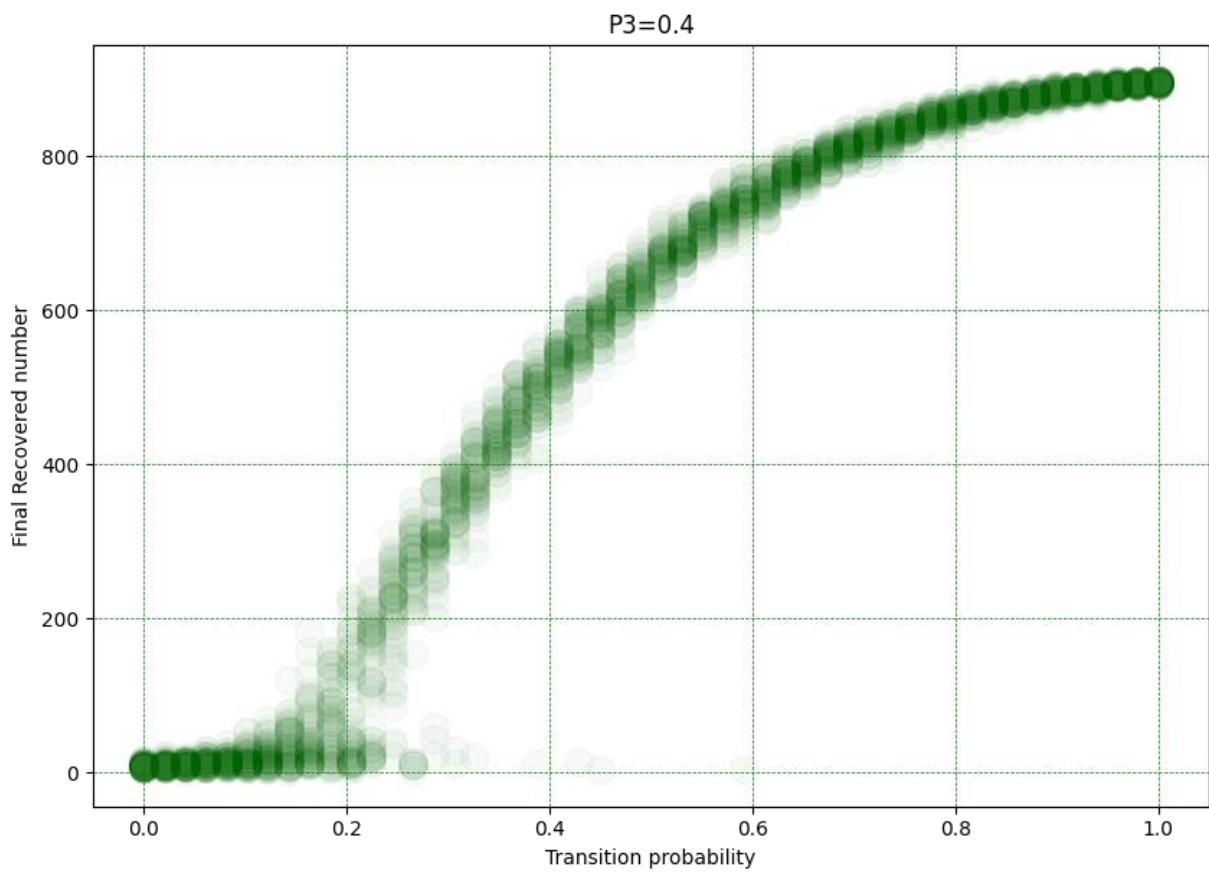
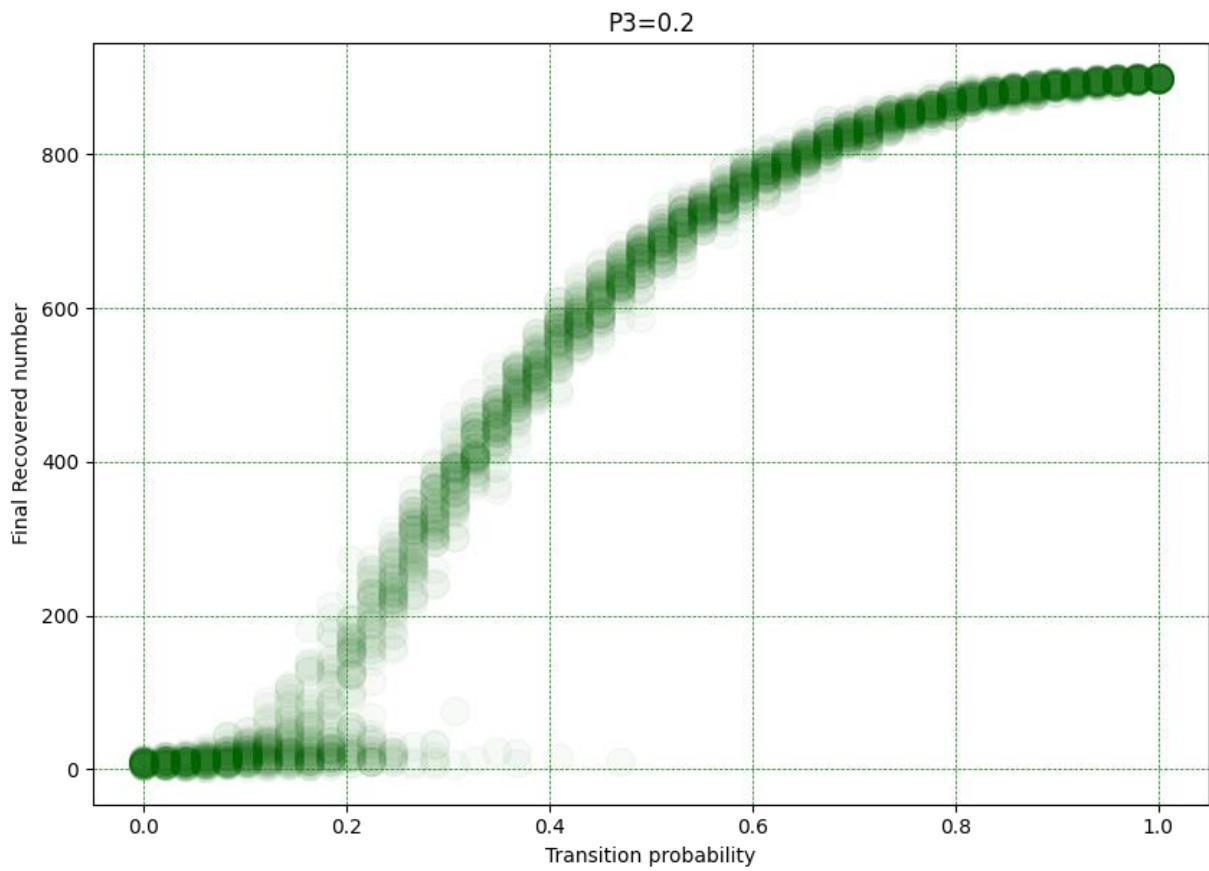


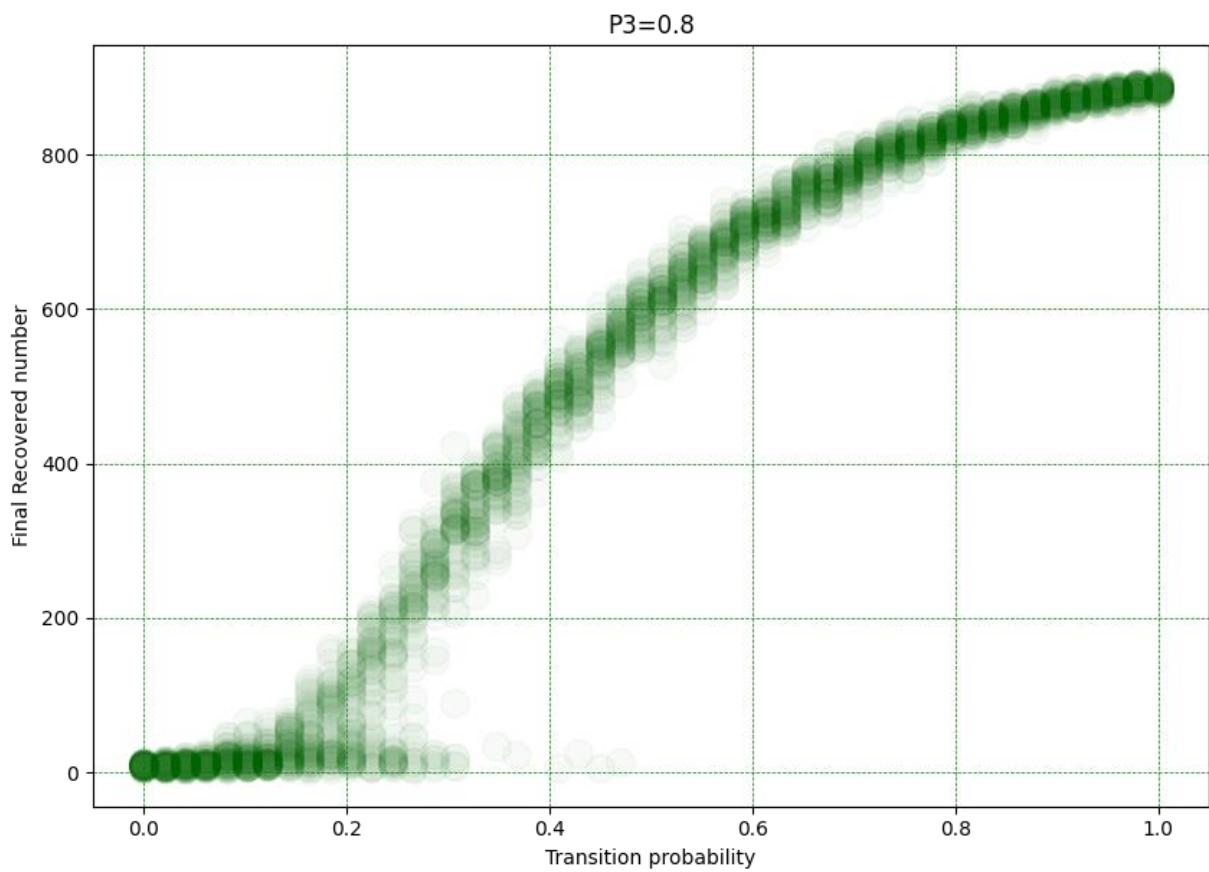
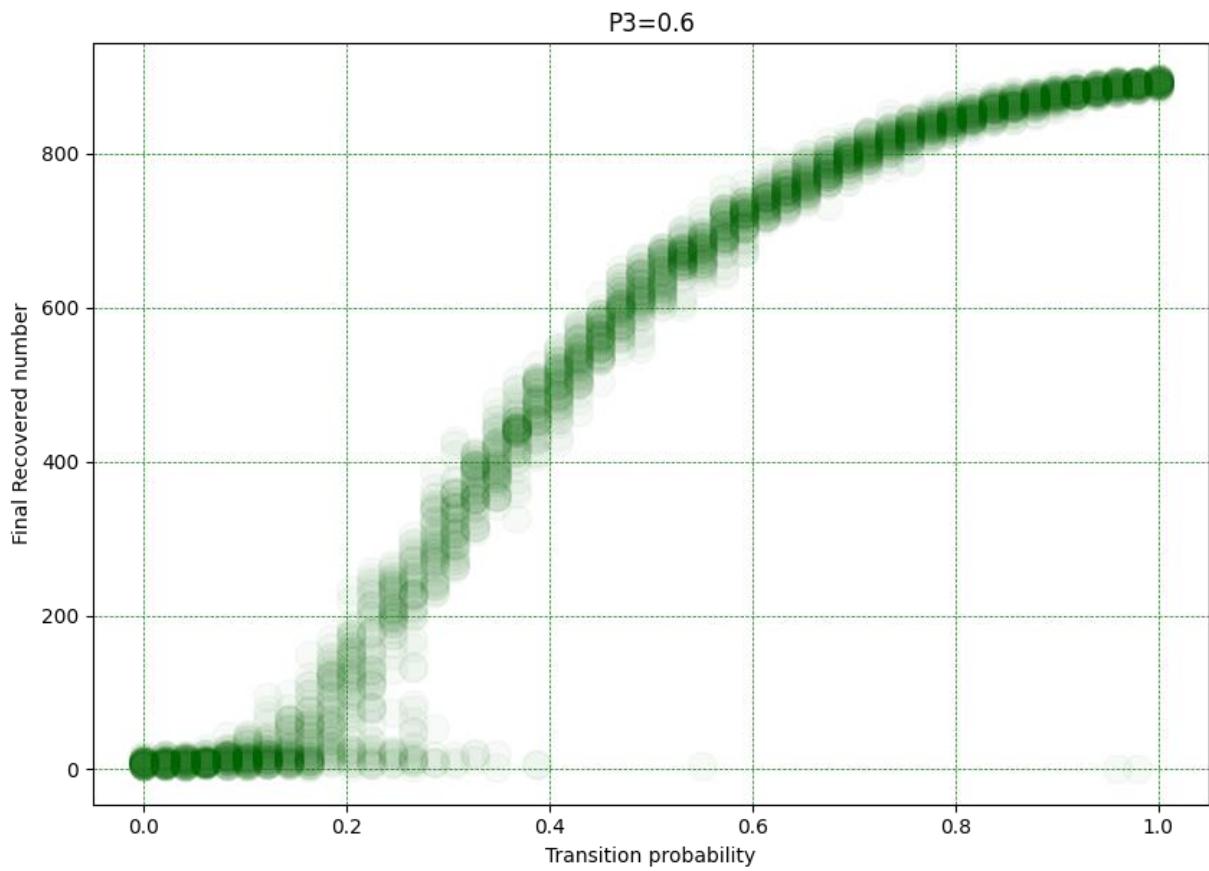


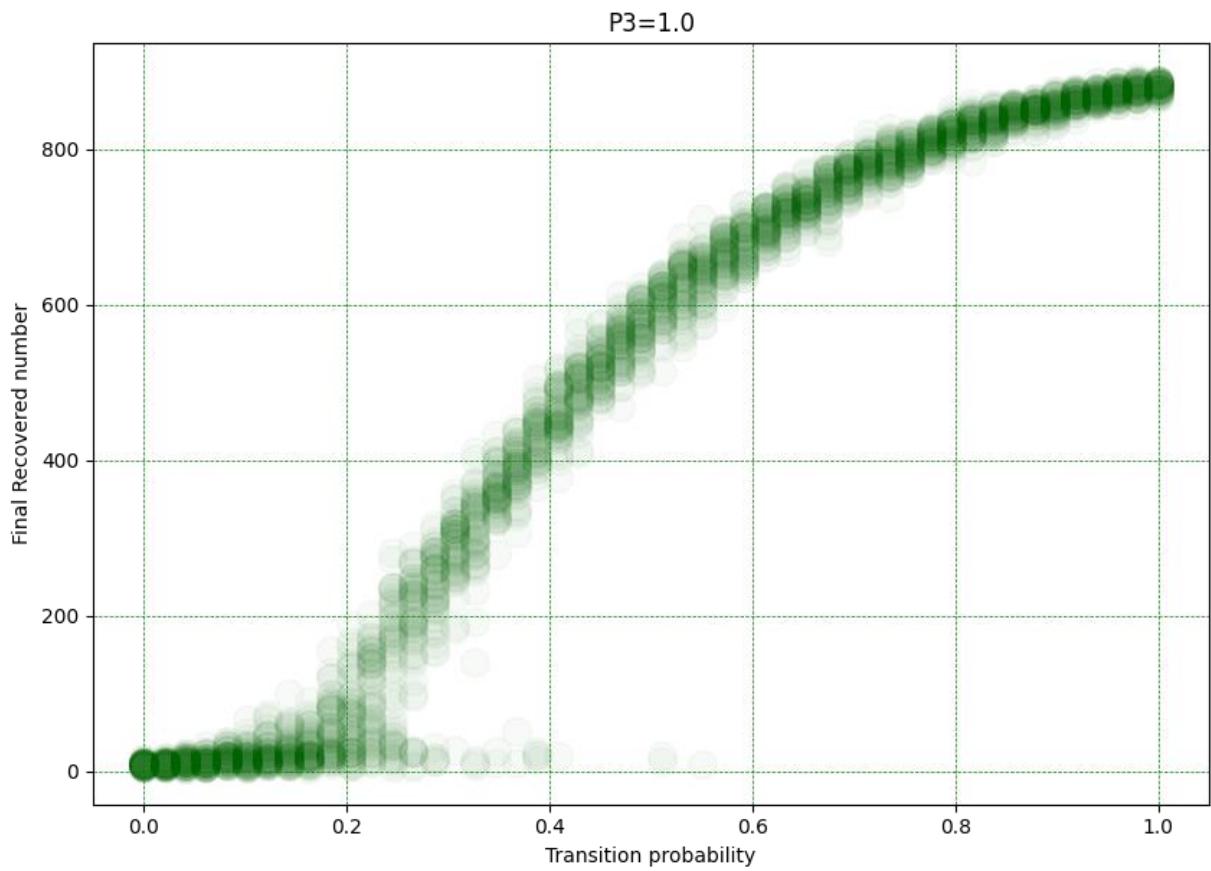
سenario ج:











از قیاس نتایج شبیه‌سازی سناریو الف بر روی شبکه لتیس و بی‌مقیاس می‌توان فهمید که شبکه بی‌مقیاس بسیار زودتر به نقطه بحرانی رسیده و گذرفاز داده. و افزایش شیب آن در ابتدا شدیدتر است. ولی در ادامه شیب به آهستگی تغییر می‌کند و ما شاهد آن هستیم که در بازه‌های نهایی نمودار (احتمال انتقال به تعداد بهبودیافتگان نهایی بدون درنظر گرفتن کنترل) به ازای احتمال انتقال‌های بالاتر در شبکه لتیس ما تعداد بهبودیافتگان بیشتری داریم. با توجه به نمودار کانتور می‌توان فهمید علاوه بر اینکه در این شبکه پخش راحت‌تر و سریع‌تر و گذرفاز زودتر رخ می‌دهد اثربخشی عوامل کنترل همچون واکسن از شبکه اردوش-رنی نیز کمتر است. گرچه کلیات شکل بخش‌های بحرانی یکی است ولی مشاهده می‌کنیم این بخش‌ها زودتر به دست آمده‌اند. در این شبکه نیز سناریو‌های بوج نتایج یکسان داده و همانطور که انتظار داشته ایم از نمودار کانتور می‌فهمیم که گذرفاز به ازای تمامی پارامتر‌ها زودتر رخ داده و اثربخشی قرنطینه نیز کمتر از شبکه لتیس شده است. به طور کل نتایج این شبکه شباهت‌هایی با شبکه اردوش-رنی دارد زیرا ویژگی‌های این شبکه ناشی از عامل مشتر و وجود کمتر خوشگی و رندوم بودن یال‌ها در شبکه است.